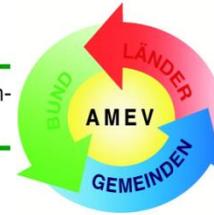




Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

Arbeitskreis Maschinen-
und Elektrotechnik



staatlicher und kom-
munaler Verwaltungen

Kälte 2017

**Hinweise zur Planung, Ausführung
und Betrieb von Kälteanlagen
und Kühlgeräten für öffentliche Gebäude**

Empfehlung Nr. 139

Stand: 06.10.2017

AMEV

Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen

Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb von Kälteanlagen und Kühlgeräten für öffentliche Gebäude

(Kälte 2017)

Lfd. Nr.: 139
Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis
Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher
und kommunaler Verwaltungen (AMEV)
Berlin 2017

Geschäftsstelle des AMEV
im Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat B I 3
Krausenstraße 17, 10117 Berlin
Telefon: (030) 18 - 305-7136
Computerfax: (030) 18-10-305-7136
E-Mail: amev@bmub.bund.de

Der Inhalt dieser Broschüre darf für eigene Zwecke vervielfältigt werden. Eine Verwendung in nicht vom AMEV herausgegebenen Medien wie z.B. Fachartikeln oder kostenpflichtigen Veröffentlichungen ist vor der Veröffentlichung mit der AMEV-Geschäftsstelle zu vereinbaren.

Informationen über Neuerscheinungen erhalten Sie unter <http://www.amev-online.de>
oder bei der AMEV-Geschäftsstelle

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|---|----|
| 0 | Vorwort | 4 |
| 1 | Grundlagen und Anwendungsgebiete | 5 |
| 2 | Kälteerzeugungsarten | 8 |
| 2.1 | Kompressionskältemaschine | 8 |
| 2.1.1 | Direkte Kühlung | 12 |
| 2.1.2 | Indirekte Kühlung | 13 |
| 2.2 | Sorptionskältemaschinen | 14 |
| 2.2.1 | Absorptionskältemaschine | 14 |
| 2.2.2 | Adsorptionskältemaschine | 15 |
| 3 | Kältemittel und Kältemaschinenöle..... | 16 |
| 3.1 | Bezeichnung der Kältemittel..... | 16 |
| 3.2 | Anforderungen an Kältemittel..... | 17 |
| 3.3 | Auswahl von Kältemitteln | 18 |
| 3.3.1 | Auswirkungen der F-Gase-Verordnung..... | 18 |
| 3.3.2 | Umstellung von Bestandsanlagen auf ein neues Kältemittel | 18 |
| 3.3.3 | Kältemittel für Neuanlagen | 20 |
| 3.4 | Kältemaschinenöle | 22 |
| 4 | Weitere Komponenten | 23 |
| 4.1 | Rückkühler | 23 |
| 4.2 | Kältespeicher | 24 |
| 5 | Planung und Ausführung | 28 |
| 5.1 | Auslegungskriterien (Redundanz, Teillast) | 28 |
| 5.2 | Netze und Hydraulik | 32 |
| 5.2.1 | Direkte Kühlung – Direkt verdampfende Systeme..... | 32 |
| 5.2.2 | Kalt und Kühlwasser | 33 |
| 5.3 | Regelung und Automatisierung..... | 35 |
| 5.4 | Bauliche Integration der Kälteanlagen..... | 37 |
| 5.5 | Inbetriebnahme | 40 |
| 5.5.1 | Dokumentation nach VDI 6026 | 41 |
| 5.6 | Beispielhafte Systemlösungen | 42 |
| 5.6.1 | Freie Kühlung..... | 42 |
| 5.6.2 | Wärmepumpen..... | 45 |
| 5.6.3 | Wärmerückgewinnung (WRG) und Anlagen mit Heiz- und Kühlfunktion | 46 |
| 5.6.4 | Fernkälteanlagen | 48 |
| 6 | Betrieb und Monitoring..... | 52 |
| 6.1 | Betreiberpflichten-/verantwortung | 52 |
| 6.1.1 | Energetische Inspektion nach § 12 EnEV..... | 52 |
| 6.1.2 | Betriebssicherheitsverordnung..... | 53 |
| 6.2 | Bedienen von Kälteanlagen | 54 |
| 6.3 | Monitoring | 54 |
| 6.4 | Instandhaltung | 55 |
| 6.4.1 | Unterlagen für den Betrieb von Kälteanlagen | 55 |
| 6.4.2 | Inspektion..... | 56 |
| 6.4.3 | Wartung | 57 |
| 6.4.4 | Instandsetzung | 57 |
| 7 | Anhänge:..... | 58 |
| 7.1 | Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | 58 |
| 7.2 | Begriffe und Definitionen | 59 |
| 7.3 | Zusammenstellung der wichtigsten Vorschriften und Regelwerke..... | 60 |
| 7.4 | Mitarbeiter..... | 64 |

0 Vorwort

Nach dem Inkrafttreten der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung im Jahr 1991 hat der AMEV mit der „Kälte 96“ erstmals eine eigenständige AMEV-Empfehlung für die Planung, Ausführung und Betrieb von Kälteanlagen und Kühlgeräten für öffentliche Gebäude herausgegeben.

Eine erste Anpassung und Überarbeitung erfolgte mit der Vorlage der „Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb von Kälteanlagen und Kühlgeräten für öffentliche Gebäude (Kälte 2007)“.

Vor dem Hintergrund der internationalen Verpflichtungen zum Klimaschutz (KYOTO – Protokoll) wurde unter anderem das Inverkehrbringen und die Verwendung fluorierter Treibhausgase (F-Gase) neu geregelt.

Die vorliegende Überarbeitung gibt dem Anwender auch Hinweise zum Umgang mit den Veränderungen in Bezug auf den Einsatz von Kältemitteln auf Grund der F – Gase Verordnung.

Die „Kälte 2017“ stellt weiterhin die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Kältetechnik und die zugehörigen Vorschriften und Regelwerke zusammenfassend dar. Anwender erhalten praxisorientierte Erläuterungen zur Kältetechnik und Hinweise für die Umstellung vorhandener oder die Installation neuer Kälteanlagen.

Bei Bauten der öffentlichen Hand ist den Maßnahmen zum Umweltschutz und zur Energieeinsparung besonderes Gewicht beizumessen. Andererseits können z. B. architektonische Konzepte mit erhöhten Glasflächenanteilen, zusätzliche innere Wärmelasten infolge vermehrter zentraler und dezentraler IT-Komponenten oder die von einigen Nutzern angestrebten Komfortsteigerungen in zunehmendem Maße zum Einsatz von Kälteanlagen führen.

Vorrang vor einer Optimierung der Wärmeabfuhr nach der „Kälte 2017“ hat weiterhin die Reduzierung der Wärmelasten in den öffentlichen Gebäuden.

Hinweise auf geeignete und ungeeignete Bauweisen im Sinne der Wärmelastreduzierung gibt die „RLT-Anlagenbau 2011“. Die „Kälte 2017“ ist in Verbindung mit dieser AMEV-Empfehlung anzuwenden.

Die „Kälte 2007“ wird mit Erscheinen der „Kälte 2017“ aufgehoben.

Wenisch

Vorsitzender des AMEV

Grunicke

Obmann

1 Grundlagen und Anwendungsgebiete

An öffentliche Gebäude in Deutschland werden verstärkte Anforderungen an Energieeffizienz aber auch zur Erfüllung aller Nutzeranforderungen gestellt. Für viele Zwecke kann auf den Einsatz aktiver Kälteerzeugungssysteme nicht verzichtet werden. Unter aktiver Kälteerzeugung sollen alle jene Verfahren verstanden werden, bei denen unter Einsatz von Elektroenergie oder thermischer Energie Kälteenergie erzeugt wird. Bei der Kälteerzeugung wird Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein so hohes Temperaturniveau gehoben, so dass die Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann. Integraler Bestandteil der Kälteerzeugung sind daher auch die Komponenten der Rückkühlung.

Folgende thermodynamische Prozesse lassen sich unterteilen:

- Kompressionskälteprozess, bei dem mechanische Energie zugeführt wird:
 - Kaltdampfprozess
 - Kaltluftprozess
 - Dampfstrahlkälteprozess
- Sorptionsprozess, bei dem Wärmeenergie zugeführt wird:
 - Absorptionskälteprozess
 - Adsorptionskälteprozess
- Thermoelektrischer Kälteprozess

Die Nutzung der Verdunstungskühlung in raumlufttechnischen Anlagen gehört nicht in den Bilanzkreis dieser Broschüre.

Der ideale Kreisprozess der Kälteerzeugung (theoretisch höchster Wirkungsgrad) lässt sich mittels „linkslaufendem“ Carnot-Prozess im TS-Diagramm abbilden.

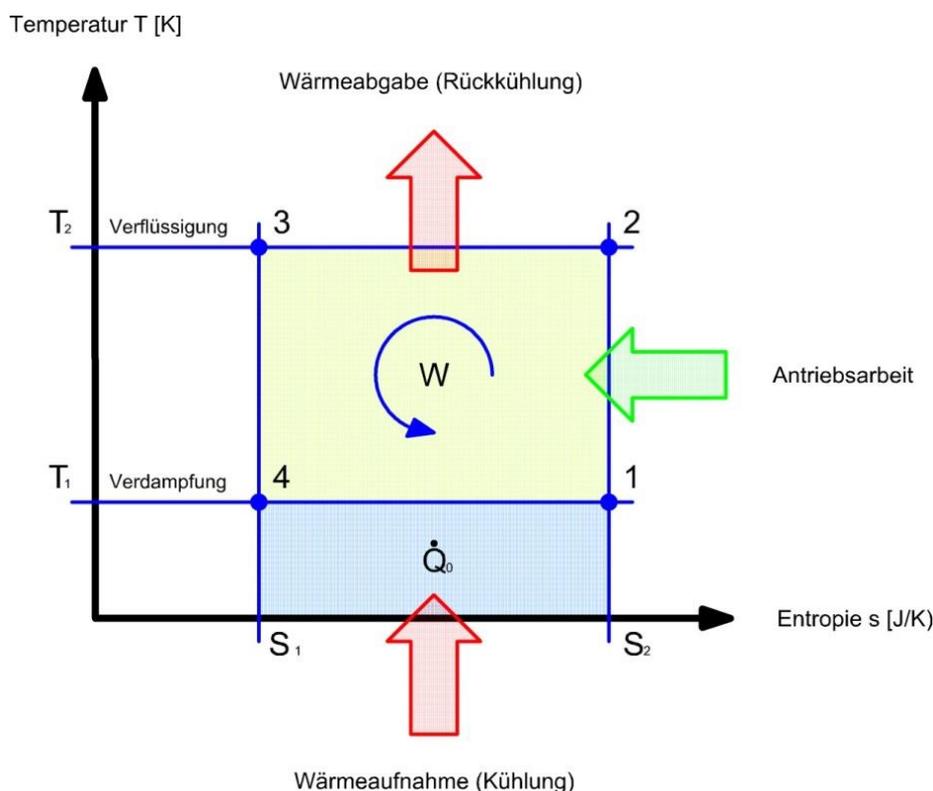


Abbildung 1, „linkslaufender“ Carnot-Prozess

T_1 = Verdampfungstemperatur (Temperatur bei der aus der Umgebung Wärme aufgenommen wird)

T_2 = Kondensationstemperatur (Temperatur bei der Wärme an die Umgebung abgegeben wird).

Die Flächen im TS-Diagramm stellen dabei die von der Umgebung aufgenommene und abgegebene Wärmemengen und die benötigte Antriebsenergie dar.

Für den Wirkungsgrad bzw. Leistungszahl (EER) der Kältemaschine gilt somit:

$$EER = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Zugeführte (elektrische) Leistung}}$$

Aus den Flächenverhältnissen lässt sich leicht ablesen, dass die Leistungszahl:

- **Steigt** bei hoher Verdampfungstemperatur und niedriger Kondensationstemperatur.
- **Fällt** mit niedriger Verdampfungstemperatur und hoher Kondensationstemperatur.

Aufgrund dieser physikalischen Gesetzmäßigkeit sind deshalb zur wirtschaftlichen Planung eines Kälteprozesses eine möglichst hohe Verdampfungstemperatur (Kühltemperatur) und eine möglichst tiefe Kondensationstemperatur anzustreben.

Dabei sind die Investitionskosten gegenüber den Betriebskosten der Anlage abzuwägen.

Die Leistungszahl der Kältemaschine ist ein Produktkennwert, dessen Bestimmung in der DIN EN 14511-2 reguliert ist. Hierin sind die Prüfbedingungen zur Bestimmung der Energieeffizienz (EER, energy efficiency ratio) bei Nennbedingungen angegeben. Dabei wird zwischen Heiz- und Kühlbetrieb unterschieden und die Systeme hinsichtlich der primär- und sekundärseitig anliegenden Medien (Luft, Wasser, Sole) gegliedert. Im Folgenden wird von Wärmeträgern gesprochen.

Aus dem EER bei Nennbedingungen kann mit Hilfe der in der DIN EN 16798-13 dargestellten Methoden die jährliche Energieeffizienz auf Basis eines Stunden- oder Monatsbilanzverfahrens ermittelt werden. Unter Verwendung von Teillastkennwerten (z. B. tabelliert im Anhang der DIN EN 13798-13 oder gemessen nach DIN EN 14825) und der Kühlenergieanforderungen $Q_{C;gen;in}$ pro Zeitintervall werden die benötigte elektrische Energie für den Verdichter $E_{C;gen;el;in}$ bzw. Wärme im Desorber $Q_{H;C;gen;abs;in}$ einer Absorptionsmaschine sowie die Hilfsenergien für Pumpen, Sensoren und Aktoren $W_{C;aux;gen}$ berechnet. Daraus lässt sich die jährliche Energieeffizienz der Anlage $\eta_{C;gen;an}$ gemäß DIN EN 16798-9 durch Summenbildung über alle Zeitintervalle t_{ci} innerhalb eines Jahres wie folgt ermitteln:

$$\eta_{C;gen;an} = \frac{\sum t_{ci} Q_{C;gen;in}}{\sum t_{ci} [f_{w;el} (E_{C;gen;el;in} + W_{C;aux;gen}) + f_{w;th} Q_{H;C;gen;abs;in}]}$$

Hierbei sind $f_{w;el}$ und $f_{w;th}$ Wichtungsfaktoren für die beiden Energieformen.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Anwendung im öffentlichen Bauen werden der Dampfstrahlkälteprozess und der Thermoelektrischer Kälteprozess nicht weiter erläutert.

Neben der Verfahren der aktiven Kälteerzeugung besteht auch die prinzipielle Möglichkeit der Grundwasserkühlung. Die Nutzung von Grundwasser basiert auf der Erschließung von wasserführenden Schichten. Über Saug- und Schluckbrunnen wird das Wasser zuerst gefördert, dann energetisch genutzt und anschließend in das Erdreich zurückgeführt. Nach seiner Förderung steht das Grundwasser mit etwa 12°C zur Verfügung. Durch ein geschlossenes Rohrsystem wird das Wasser zu einem Kühlregister geleitet und dann entweder direkt zur Bauteilaktivierung genutzt oder zuerst über eine Wärmepumpe auf ein tieferes Temperaturniveau gebracht und dann zu Kühlzwecken verwendet.

Für die Nutzung von Grundwasser zu Kühlzwecken ist eine Wasserrechtliche Genehmigung erforderlich (das jeweilige Landesrecht ist zu beachten). Weitere Hinweise siehe AMEV-Empfehlung Heizanlagenbau.

Generell ist eine enge Abstimmung zwischen der Art der Kälteerzeugung und der Nutzung bzw. dem Verbrauch notwendig, um die höchste energetische Effizienz zu erreichen. Insbesondere haben sich die folgenden Anwendungen mit Bedarf an Kühlung herausgestellt:

- Serverräume
- Technologische Kälte
- Gewerbekälte
- Klimakälte

Allgemein sollten bei allen Anwendungen die Minimierung der Kälteleistung Vorrang vor der Optimierung der Kälteerzeugung haben. Dies gilt aber besonders hinsichtlich der Reduzierung der Wärmelasten in den öffentlichen Gebäuden, die Vorrang vor einer Optimierung der Wärmeabfuhr über mechanische Kälteanlagen hat. Hinweise auf geeignete Bauweisen zur Reduzierung des sommerlichen Wärmeeintrages durch beispielsweise kleinere Fensterflächen, Sonnenschutz, freie Lüftungsmöglichkeiten und größere Gebäudespeichermassen gibt u. a. die AMEV-Empfehlung RLT-Anlagenbau.

2 Kälteerzeugungsarten

2.1 Kompressionskältemaschine

Kompressions-Kaltdampf-Kältemaschinen werden in nahezu dem gesamten Anwendungsspektrum der Kälte- und Klimatechnik eingesetzt. Die Ausführung, insbesondere die Verdichterbauart, hängt von der geforderten Leistung ab. Den Kreisprozess einer Kompressionskältemaschine zeigt die folgende Prinzipdarstellung.

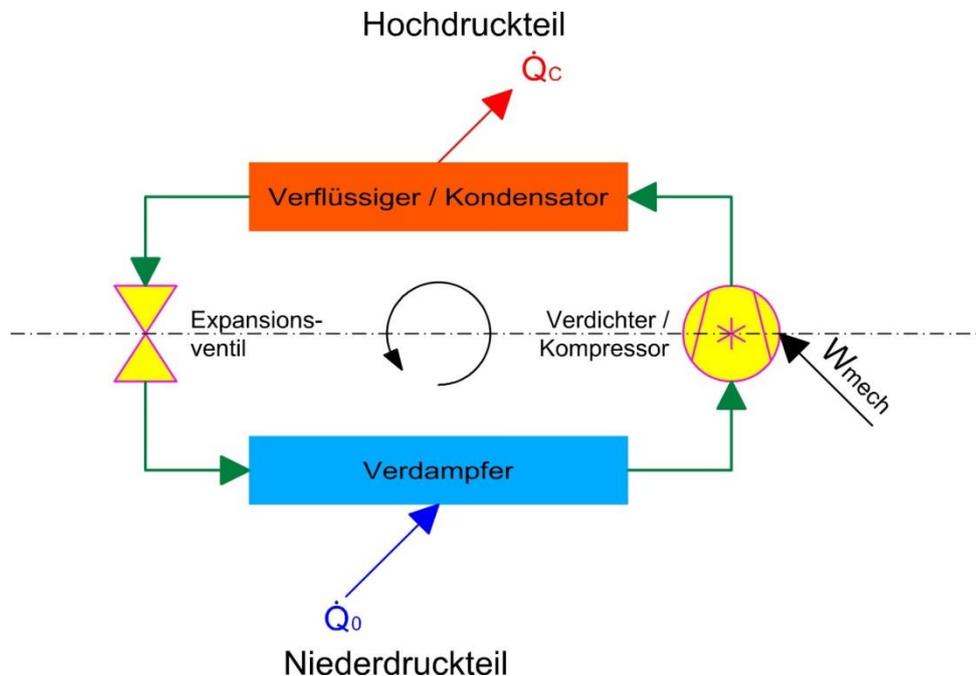


Abbildung 2, Prinzipdarstellung Kompressionskältemaschine

Die einzelnen Komponenten haben dabei folgende Funktionen:

Verdichter

Der Verdichter ist das eigentliche Herzstück der Kältemaschine. Das Kältemittel wird hier komprimiert und weiter transportiert. Dabei wird die hauptsächliche Arbeit verrichtet. Im Verdichter wird das umlaufende Kältemittel bei niedrigem Druck angesaugt und auf einen höheren Druck und somit höherer Temperatur verdichtet. Je nach Art der Verdichtung wird zwischen Hubkolbenverdichter-, Schraubenverdichter-, Scrollverdichter- und Turboverdichter-Kältemaschinen unterschieden. Sie können als offene, halbhermetische (halboffene) oder als hermetische Verdichter ausgeführt werden. Während das Gehäuse eines hermetischen Verdichters verschweißt ist, haben halbhermetische Verdichter abnehmbare Montagekappen, die Reparaturen am Verdichter möglich machen. Beide Bauarten haben weder Welle noch Wellenabdichtung nach außen. Beim offenen Verdichter wird die Antriebswelle hingegen durch das Gehäuse geführt (DIN EN 378). Nur hermetische Verdichter zeichnen sich durch sehr geringe Kältemittelverluste während der Nutzung aus.

Die Auswahl der Verdichterbauform richtet sich nach der benötigten Kälteleistung, dem Lastverhalten und der geforderten Regelgenauigkeit der Kälteanlage.

Die Verdichterbauformen haben folgende Charakteristika:

Scrollverdichter

Scrollverdichter sind in der Konstruktion sehr einfach. Sie bestehen aus zwei ineinander verschachtelten Spiralen, von denen eine statisch und die andere sich exzentrisch in der ersten bewegt. Dabei berühren sich die Spiralen mehrfach und bilden innerhalb der Windungen mehrere ständig kleiner werdende Kammern. Das zu verdichtende Medium gelangt in diesen Kammern bis zum Zentrum, wo es dann seitlich austritt. Die Art der Verdichtung bewirkt, dass die vom Verdichter induzierte Geräuschentwicklung sehr gering ist.

Der Scrollverdichter lässt sich durch das axiale Abheben der Spiralen zueinander regeln wodurch der Ansaug- und Verdichtungsprozess unterbrochen wird. Durch das intermittierende Abheben der Spiralen ist eine Leistungsregelung zwischen 10 und 100 % möglich.

Die Anwendungsgebiete des Scroll-Verdichters liegen vor allem in der Klimatisierung. Es können hohe Kälteleistungszahlen erreicht werden.

Kolbenverdichter

Beim Kolbenverdichter erfolgt die Verdichtung und Förderung durch oszillierende Kolben, die in abgeschlossenen Zylindern arbeiten. Diese werden durch Ventile abwechselnd mit der Saug- und Druckleitung des Verdichters verbunden. Kennzeichnende Größe ist das geometrische Fördervolumen. Hubkolbenverdichter werden für ein breites Anwendungsspektrum eingesetzt und eignen sich auch für den Teillastbetrieb.

Hermetische Kolbenverdichter kommen bei kleineren Kälteanlagen, halbhermetische Kolbenverdichter bei mittleren Kälteanlagen und offene Kolbenverdichter bei großen Kälteleistungen zum Einsatz.

Schraubenverdichter

Schraubenverdichter arbeitet mit rein rotierenden Bewegungen nach dem Verdrängungsprinzip. Er zeichnen sich durch ein Minimum an bewegten Teilen, Robustheit, Kompaktheit, hohe Zuverlässigkeit, geringe Wartungsintervalle und eine lange Lebensdauer aus. Darüber hinaus hat der Schraubenverdichter gegenüber Kolbenverdichtern nur drehende Bewegungen und daher eine fast stetige Förderung, eine große Laufruhe, keine Ventile und ist unempfindlich gegen Flüssigkeitsanfall. Er kann stufenlos mittels Steuerschieber bis auf ca. 20% geregelt werden. Der Steuerschieber ist axial beweglich zwischen den Rotoren angeordnet. Durch das axiale Verschieben des Schiebers wird dabei die wirksame Arbeitslänge der Rotoren verändert.

Turboverdichter

Der Turboverdichter ist eine Strömungsmaschine. Die Verdichtung erfolgt durch Beschleunigung des Gasstromes im Laufrad und anschließende Umsetzung der kinetischen Strömungsenergie in Druckerhöhung. Turbokältesätze werden heute für einen großen Leistungsbereich als kompakte Aggregate gefertigt. Sie werden vorwiegend in der Klimatechnik (Gebäudeklimatisierung) oder für Prozessanlagen mit Kaltwasser- und Soleumlauf mit großen Kälteleistungen bei häufigem Teillastbetrieb eingesetzt.

Neuere Turboverdichter zeichnen sich durch eine reibungsarme Magnetlagerung der Antriebswelle aus. Durch die Magnetlagerung ist es möglich den Verdichter völlig ölfrei zu

betreiben. Hierdurch können Zusatzkomponenten, wie die Ölrückführung und Ölkühlung entfallen. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Wärmeübergang bei reinem Kältemittel höher ist, als der Wärmeübergang von Kältemittel / Öl Gemischen.
 Eine Übersicht der verschiedenen Verdichterbauformen und deren Leistungsbereich zeigt nachfolgende Abbildung.

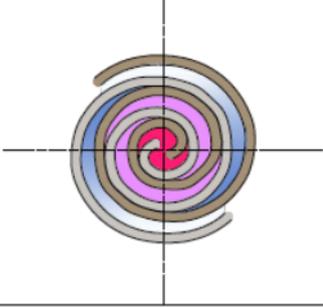
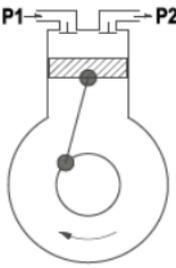
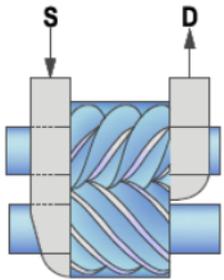
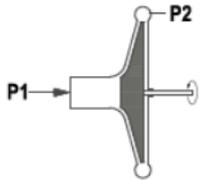
| | | |
|--------------------------------|--------------------------|--|
| kleine und mittlere Leistungen | Scroll- verdichter |  |
| | Kolben- verdichter |  |
| mittlere und große Leistungen | Schrauben- verdichter |  |
| Große Leistungen | Turbo- verdichter |  |

Abbildung 3, Verdichterbauformen mit Leistungsbereichen

Verflüssiger (Kondensator)

Am Verflüssiger wird die im Verdampfer aufgenommene Wärme inklusive der Verdichtungsarbeit an das Kühlmedium abgegeben. Das gasförmige, überhitzte Kältemittel wird auf Verflüssigungstemperatur abgekühlt, verflüssigt und unterkühlt. Die hierbei entstehende Verflüssigungswärme wird anschließend an die Umgebung abgegeben. Verflüssiger gibt es in den üblichen Bauarten luftgekühlt und wassergekühlt.

Luftgekühlter Verflüssiger

Hierbei handelt es sich um die häufigste Bauform bei den Verflüssigern. Der Einsatz erfolgt meist im kleineren Leistungsbereich.

Der Verflüssiger muss frei ansaugen und ausblasen können (Schallschutz beachten).

Merkmale:

- Einsatz bei Kleinanlagen bis zu großen Industriekühlanlagen
- Unkomplizierter Betrieb / keine Hygieneprobleme (Legionellen) durch das Fehlen von Aerosolen
- Relativ leichte, jedoch große Anlagenkomponenten
- Hohe Investitions- und Betriebskosten aufgrund der schlechteren Effizienz speziell im Sommer

Wassergekühlter Verflüssiger

Diese Bauform zeichnet sich durch geringe Investitionskosten aus und wird meist in Kombination mit einem Rückkühlwerk eingesetzt.

Merkmale:

- Niedrige Kondensationstemperatur
- Geringe Anlagekosten
- Betriebskosten abhängig von Wasserbezug und Wasseraufbereitung
- Geringer Wasserverbrauch bei Kombination mit Rückkühlverbund, jedoch Wasseraufbereitung notwendig

Die Möglichkeiten der Rückkühlung werden im Abschnitt 4.1 erläutert.

Verdampfer (Kühler)

Im Verdampfer wird der eigentliche Zweck kältetechnischer Anlagen realisiert. Das zu kühlende Medium gibt Wärme an das im Verdampfer befindliche Kältemittel ab.

Dazu wird das flüssige Kältemittel in den Verdampfer eingespritzt. Die Wärme die das Kältemittel zum Verdampfen braucht, wird dabei dem zu kühlenden Medium entzogen.

Je nach zu kühlendem Medium unterscheidet man zwischen Luftkühler und Flüssigkeitskühler (direkte und indirekte Kühlung).

Des Weiteren unterscheidet man in Trockenverdampfer und überflutete Verdampfer. Heute werden meist Trockenverdampfer eingesetzt welche eine Überhitzung des Kältemittels ermöglichen.

Entspannungs- und Drosselorgane (Expansionsventil)

Das Drosselorgan hat die Aufgabe, die Kältemittelflüssigkeit vom Kondensationsdruck auf den Verdampferdruck zu entspannen.

Man unterscheidet:

- Entspannungsorgane für trockene Verdampfung (Kapillarrohr, thermostatisches Expansionsventil, elektronisches Expansionsventil)
- Entspannungsorgane für überflutete Verdampfung (Hochdruckschwimmerregelung, Niederdruckschwimmerregelung)

Es gibt folgende Bauformen:

- Kapillarrohr
- Thermostatisches Expansionsventil
- Elektronisches Expansionsventil
- Hochdruckschwimmerregelung
- Niederdruckschwimmerregelung

2.1.1 Direkte Kühlung

Nach der Art des Kälteentzugs unterteilt man bei Kompressionskältemaschinen in Maschinen mit direkter Kühlung den Split-Geräten und Maschinen mit indirekter Kühlung den Kaltwassersätzen.

Bei der direkten Kühlung liegt der Kältemittelverdampfer direkt im abzukühlenden Stoffstrom, in der Klimatechnik im Luftstrom. Generell sind diese Anlagen energetisch wirtschaftlicher als indirekte Kühlanlagen, da hier keine Energie für den Transport des Kühlmediums benötigt wird und keine zusätzliche Temperaturdifferenz zwischen Kältemittel, Kühlmedium und Luft erforderlich ist.

Splitgeräte

Die Splitbauweise ist durch die räumlich getrennte Anordnung der vorgefertigten Hauptbaugruppen einer luftgekühlten Kompressionskälteanlage charakterisiert. Die Außeneinheit besteht aus dem Verdichter, einem Wärmeübertrager (Verflüssiger) und einem Ventilator. In der Inneneinheit sind der Verdampfer und ein Ventilator angeordnet.

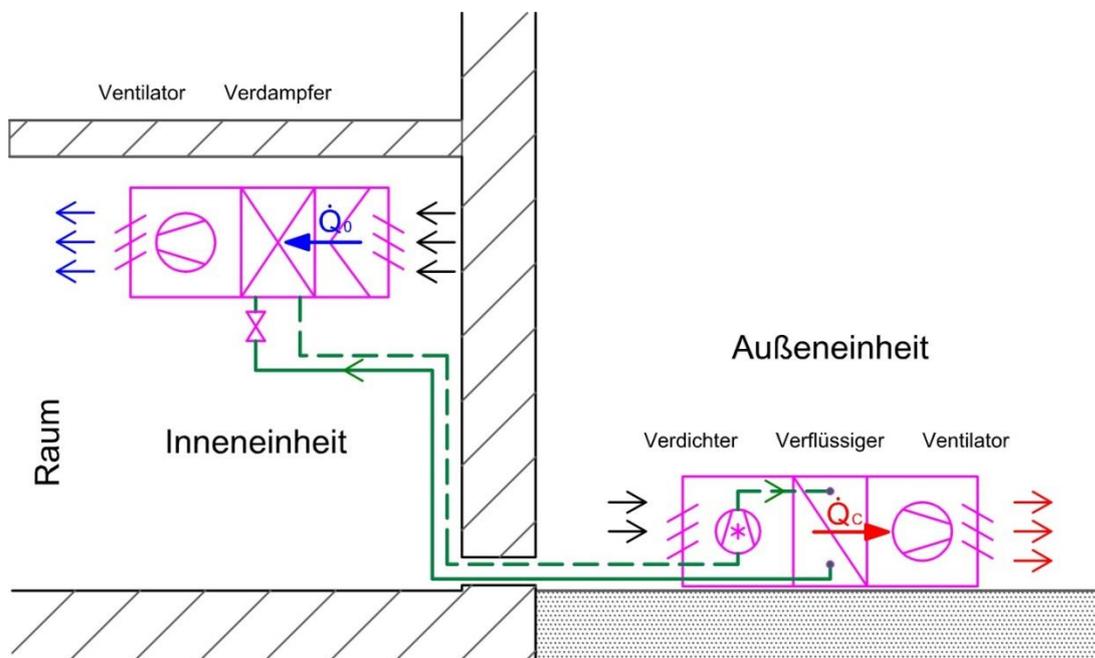


Abbildung 4, Schema einer Splitanlage

Zu unterscheiden sind Monosplitanlagen bei denen an einer Außeneinheit nur eine Inneneinheit angeschlossen ist und Multisplitanlagen an denen an einer Außeneinheit mehrere Inneneinheiten angeschlossen sind.

Multisplitanlagen können nicht nur für Insellösungen, sondern auch für mehrere, dezentrale Klimaanlage, Serverräume und einzelne Besprechungsräume eingesetzt werden.

Merkmale der Mono/Multi-Splitgeräte:

- Leistungsgeregelte Verdichtereinheiten (VRF Variabler Kältemittelmassenstrom)
- Drehzahlgeregelte Ventilatoren mit hoher Luftleistung und niedriger Schalleistung
- Umfangreiche Rohrnetze durch Kältemittel-Volumenstromregelung der einzelner Verdampfer, dadurch erhöhte Gefahr von Undichtigkeiten und größere Kältemittelmengen erforderlich
- In der Planungsphase sind Einschränkungen aufgrund von Rohrleitungslängen und Höhendifferenzen zu beachten
- Zulässiges Füllgewicht der Kälteanlagen durch Vorschriften begrenzt
- Elektronische Einzelraumregelung
- Klimatechnische Regelung muss direkt im Kältemittelkreislauf erfolgen
- Möglichkeit der Nutzung als Wärmepumpe bei entsprechender Ausstattung
- Brandschutztechnische Aspekte aufgrund der verwendeten Kältemittel sind zu beachten
- Funktionseinschränkungen bei niedrigen Außentemperaturen (Winter) sind zu beachten

2.1.2 Indirekte Kühlung

Bei der indirekten Kühlung wird eine als Wärmeträger geeignete Flüssigkeit oder Sole abgekühlt. Der zirkulierende Wärmeträger dient über weitere Wärmeübertrager zur Abführung der Wärmelasten.

Merkmale der indirekten Kühlung:

- Die Leistung wird durch die Änderung des Kaltwasserdurchsatzes und/oder der Kaltwassertemperatur geregelt
- Im Allgemeinen wird mit einer konstanten Vorlauftemperatur gefahren, die möglichst hoch sein soll
- Die Bemessung des Kaltwasserverteilsystems erfolgt analog einem Warmwasserverteilsystem (Heizung, verbreitete Technik)
- Im Vergleich zur direkten Kühlung weist die indirekte Kühlung aufgrund eines zusätzlichen Wärmeübertragers eine geringere Leistungszahl auf
- Es ist ein zusätzlicher Energieaufwand für die Kaltwasser- bzw. Solepumpen notwendig
- Bei indirekten Kühlanlagen zirkuliert das Kältemittel nur in der Kältemaschine, dadurch sind geringere Kältemittelmengen möglich und die Dichtigkeit der Anlage ist besser zu gewährleisten

Indirekte Kühlanlagen mit Wasser als Kältemedium stehen als Wasserkühlsätze (Kaltwassersätze) werkseitig vorgefertigt zur Verfügung.

2.2 Sorptionskältemaschinen

Kältemaschinen mit thermischem Antrieb werden mit einem Heizwärmestrom als Antriebsenergie versorgt. Besonders vorteilhaft ist es, wenn dieser Heizwärmestrom aus wirtschaftlich sonst nicht nutzbarer thermischer Energie (Abwärme, Abdampf, Heißwasser, Solarenergie) entnommen werden kann. Die energetische Bewertung von Kältemaschinen mit thermischem Antrieb wird mit Hilfe des Wärmeverhältnisses (als Effizienzkennzahl von Kältemaschinen mit thermischem Antrieb) vorgenommen. Der apparative Aufwand und somit die Investition ist im Vergleich zu Kältemaschinen mit mechanischem Antrieb größer. Der mechanische Verschleiß ist vergleichsweise gering und die Lebensdauer bei geringem Wartungsaufwand entsprechend höher.

Man unterscheidet bei den Sorptionskältemaschinen zwischen Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen.

2.2.1 Absorptionskältemaschine

Unter Absorption versteht man die Eigenschaft eines Stoffes, gasförmige Stoffe aufzusaugen, bzw. zu absorbieren.

Die Absorptionskältemaschine arbeitet mit einem 2-Stoff-Gemisch oder Arbeitsstoffpaar, bestehend aus dem eigentlichen Arbeitsstoff oder Kältemittel und einem geeigneten Absorptionsmittel.

Während bei Kompressionskältemaschinen die Energiezufuhr zur Erreichung der erforderlichen Kondensationstemperatur in Form von mechanischer Energie im Kältemittelverdichter erfolgt, wird diese in der Absorptionskältemaschine durch Zufuhr von Wärmeenergie erreicht.

Das Kältemittel nimmt bei der Verdampfung Wärme auf. Bei der Verflüssigung wird diese zuzüglich der Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben.

Als Arbeitsstoffpaare werden in Absorbern verwendet:

- Ammoniak / Wasser, mit Ammoniak als Kältemittel, Kühltemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$
- Wasser / Lithiumbromid, mit Wasser als Kältemittel, Kühltemperatur $> 0^{\circ}\text{C}$

Beim Arbeitsstoffpaar Ammoniak / Wasser sind die thermodynamischen Eigenschaften recht günstig, die max. Austreibertemperatur beträgt etwa 200°C , darüber besteht die Gefahr der chemischen Zersetzung. Von Nachteil ist, dass das Kältemittel Ammoniak stark toxisch ist.

Beim Arbeitsstoffpaar Wasser / Lithiumbromid sind Verdampfungstemperaturen unter 0°C nur bedingt möglich. Der gesamte Prozess läuft im Vakuum, die maximale Austreibertemperatur beträgt etwa 160°C .

Für den Anwendungsbereich in der Klimakälte hat sich das Arbeitsstoffpaar Wasser / Lithiumbromid durchgesetzt.

Das Absorptionskälteverfahren kommt zumeist in Systemen der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung zum Einsatz. Des Weiteren stellt die Umweltunbedenklichkeit seiner Arbeitsstoffpaare einen großen Vorteil dar.

Als Nachteil des Absorptionskälteverfahrens sind der höhere Rückkühlbedarf (Wärmeverhältnis $\approx 0,7$ bei einstufiger Absorption) und die höheren Investitionskosten gegenüber der Kompressionskälteerzeugung zu sehen.

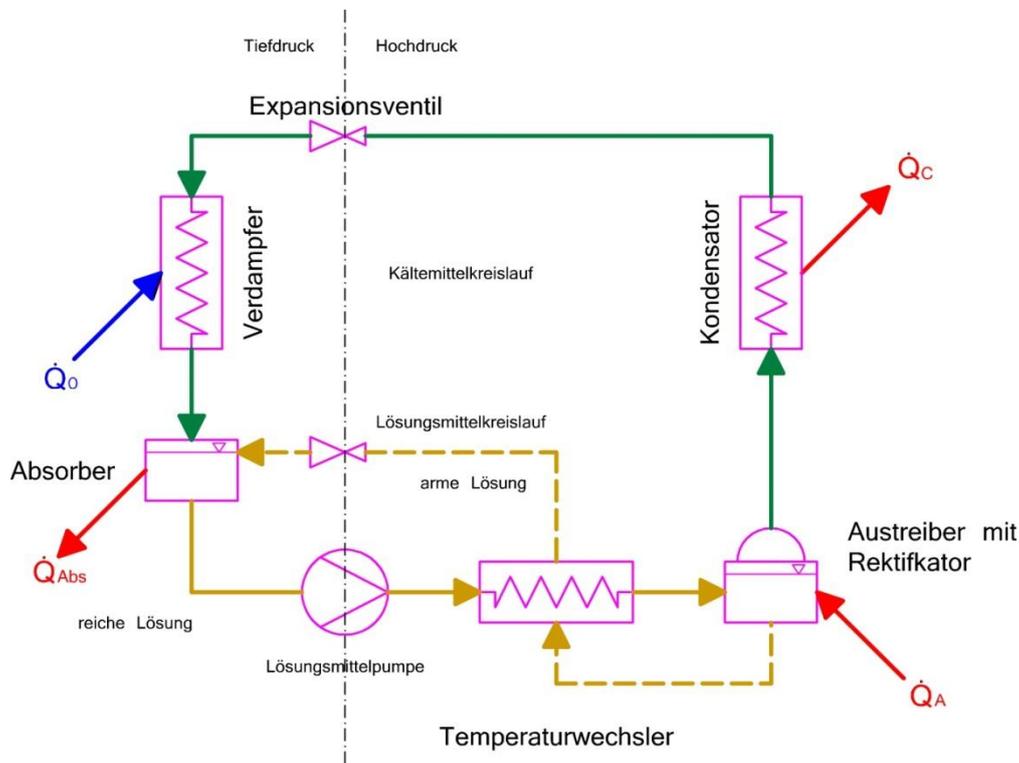


Abbildung 5, Prinzipschaltbild einer Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine

2.2.2 Adsorptionskältemaschine

Bei der Adsorptionskältemaschine wird das in der Absorptionskältemaschine verwendete Lösemittel (Arbeitsstoffpaar) durch einen festen hygroskopischen Stoff (z.B. Silikagel) ersetzt. Der vom Verdampfer kommende Kältemitteldampf wird im Adsorber (Sammler) an der Oberfläche durch physikalische und chemische Bindung adsorbiert. Da sich der Feststoff nicht umpumpen lässt, arbeitet die Adsorptionskältemaschine diskontinuierlich, d.h. es existiert eine zweite Kammer. Im Desorber-Betrieb wird das Kältemittel durch Wärmezufuhr wieder ausgetrieben und dem Verflüssiger/Kondensator zugeführt. Der Prozess verläuft im periodischen Wechsel zwischen Adsorptions- und Austreibungsvorgang. Durch das Verdampfen des Kältemittels unter Vakuum wird dem Wärmeträger Verdampfungswärme entzogen. Als Kältemittel wird häufig Wasser verwendet, das zusammen mit dem Silikagel ein völlig umweltfreundliches Arbeitsstoffpaar bildet. Nachteile der Adsorbertechnik sind die höheren Anlagenkosten und die schwankende Kaltwassertemperatur beim Zykluswechsel.



Abbildung 6, Prinzipdarstellung einer Adsorptionskältemaschine

3 Kältemittel und Kältemaschinenöle

3.1 Bezeichnung der Kältemittel

Der Begriff „Kältemittel“ wird üblicherweise nur für das Arbeitsmedium des Kompressionskälteprozesses verwendet. Bei den Absorptionskältemaschinen spricht man dagegen von einem Arbeitsstoffpaar.

Zur Vermeidung von komplizierten chemischen Stoffbezeichnungen wurde für die Kältemittel ein System der Kurzbezeichnung eingeführt. Dieses besteht aus einem vorangestellten „R“ (Refrigerant), 3 Ziffern und nachgestellten Zusatzzeichen. Die Ziffern bedeuten:

1. Ziffer: Anzahl der Kohlenstoffatome minus 1
2. Ziffer: Anzahl der Wasserstoffatome plus 1
3. Ziffer: Anzahl der Fluoratome

Anorganische Kältemittel haben als erste Ziffer eine 7 (R 7xx).

Außer den Kältemitteln, die aus einem chemischen Stoff bestehen, werden Kältemittelgemische verwendet. Diese bestehen in der Praxis aus 2 bis 5 Einzelkomponenten.

Die zeotropen Kältemittelgemische (Gruppe R 4xx) verdampfen und kondensieren bei einer gleitenden Temperatur.

Die azeotropen Kältemittelgemische (Gruppe R 5xx) verhalten sich praktisch wie ein Einstoffkältemittel.

Die Kurzbezeichnungen werden offiziell vom ASHRAE vergeben. Weitere Hinweise zur Bedeutung der Zusatzzeichen finden sich auch in der DIN 8960.

Die Kältemittel werden aufgrund ihrer Einzelatome auch in folgenden Stoffgruppen zusammengefasst:

- Teilhalogenierte Hydrogen-Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (HFCKW)
- teilhalogenierte Hydrogen-Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFKW)
- vollhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW)
- vollhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe (FKW)
- Kohlenwasserstoffe (KW)

Eine weitere wichtige Einteilung der Kältemittel erfolgt nach Sicherheitsaspekten. Diese ist international einheitlich und berücksichtigt die Brennbarkeit sowie die Toxizität des Kältemittels. Die Sicherheitsgruppen sind z.B. in DIN EN 378-1 beschrieben. Sie besteht aus einem Buchstaben (A oder B) und einer Ziffer (1 bis 3), z.B. „A1“. Der Buchstabe steht für die Klassifikation nach Toxizität und die Ziffer für die Klassifikation nach der Brennbarkeit. Es bedeuten:

- | | |
|---|--------------------------|
| A | geringe Toxizität |
| B | erhöhte Toxizität |
| 1 | keine Flammenausbreitung |
| 2 | geringere Brennbarkeit |
| 3 | größere Brennbarkeit |

Die Gruppe 2 wird in Zukunft noch eine Untergruppe 2L mit geringer Brenngeschwindigkeit enthalten.

3.2 Anforderungen an Kältemittel

An ein Kältemittel werden sehr vielfältige, unterschiedliche Anforderungen gestellt, die alle gleichzeitig erfüllt sein sollen. Die Wichtung der Anforderungen ist dabei abhängig von der kältetechnischen Anwendung. Die Wahl des Kältemittels ist deshalb immer ein Kompromiss zwischen den unterschiedlichen Eigenschaften. Somit existiert auch kein ideales Kältemittel für alle Anwendungen.

Die folgende Liste enthält einige Anforderungen an ein Kältemittel.

Thermodynamische Eigenschaften

- hohe Energieeffizienz (Leistungszahl)
- große spezifische Verdampfungsenthalpie
- große volumetrische Kälteleistung
- geringes Druckverhältnis für den Verdichter
- hohe Wärmeleit- und Wärmeübergangskoeffizienten
- hoher kritischer Druck
- hohe kritische Temperatur
- niedrige Viskosität
- geringer Temperaturgleit bei Verdampfung und Kondensation

Umwelt- Eigenschaften

- kein Ozonzerörungspotential (ODP = 0)
- geringer Beitrag zum globalen Treibhauseffekt (GWP niedrig)

Chemische Eigenschaften

- nicht brennbar
- nicht korrosiv
- mit dem Kältemaschinenöl verträglich
- keine Toxizität
- charakteristische Warnwirkung für giftige Stoffe
- paniksicher
- ohne kanzerogene Wirkung

Sonstige Eigenschaften

- preiswert
- Wartungsaufwand niedrig

3.3 Auswahl von Kältemitteln

3.3.1 Auswirkungen der F-Gase-Verordnung

Aufgrund der internationalen Verpflichtungen zum Klimaschutz (KYOTO-Protokoll) wurde die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. April 2014 über fluoridierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 erlassen.

Diese hat für das Inverkehrbringen von fluoridiertem Kältemittel Auswirkungen in 3 Richtungen.

- a) Für die umweltrelevante Bewertung eines Kältemittels ist das CO₂-Äquivalent entscheidend, d.h. die Füllmenge der Kälteanlage wird mit dem GWP (Treibhauspotenzial: **G**lobal **w**arming **p**otential) des Kältemittels multipliziert.
- b) In einigen kältetechnischen Anwendungen wurden Kältemittel mit zu hohem GWP verboten. Das betrifft Anwendungen, für die bereits Alternativen zur Verfügung stehen. Die Verbote sind in Anhang III der Verordnung aufgelistet. Betroffen sind u.a. bewegliche Raumklimageräte und Mono-Splitklimageräte.
- c) Die Höchstmengen an fluoridierten Treibhausgasen, die in der EU in Verkehr gebracht werden dürfen, sind stark beschränkt. Durch dieses Phase-down-Szenario wird die Menge in CO₂-Äquivalent gerechnet von 2015 bis 2030 auf 21 % abgesenkt.

Die größten Auswirkungen werden durch das Phase-down-Szenario erwartet. Im Jahr 2015 wurden die Kältemittel R134a, R404A/R507, R407C und R410A in ca. 90 % aller Kälteanwendungen verwendet. Diese Kältemittel sind bis 2030 nahezu vollständig durch neue Kältemittel zu ersetzen. Bis zu einem möglichen Verbot ist mit einer Vielzahl von alternativen Produkten zu rechnen, die sich zum Redaktionszeitpunkt dieser Planungshinweise bereits in der Entwicklung befinden.

Durch die Mengenbeschränkung ist in den nächsten Jahren mit steigenden Kältemittelpreisen für diese Stoffe zu rechnen. Das kann zu höheren Wartungskosten führen.

Der Durchschnittswert des GWP aller Kältemittel muss im Jahr 2030 ca. 400 betragen, d.h. Kältemittel mit einem höheren GWP sind nicht zukunftssicher. Bei der Analyse / Bewertung der Tabellen 1-3 ist daher dem GWP eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

3.3.2 Umstellung von Bestandsanlagen auf ein neues Kältemittel

Bestandsanlagen mit R22

Aufgrund der weiten Verbreitung des Kältemittels R22 sind noch Altanlagen in Betrieb. Das Kältemittel R22 ist ein HFCKW und fällt somit unter die Regelungen der EU-Verordnung 2037/2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. Danach ist die Herstellung und Verwendung (z.B. für die Befüllung von Kälteanlagen) des Kältemittels R22 (Neu- und Recyclingware) bereits seit dem 01.01.2015 nicht mehr gestattet. Es sind nur noch Kältemittel ohne Ozonabbaupotential (ODP = 0) zulässig.

Kälteanlagen mit R22 können weiterbetrieben werden, solange das Kältemittel im Kreislauf verbleibt.

Eine Kältemittelumstellung dieser Bestandsanlagen auf ein anderes Kältemittel (z.B. R422D) ist grundsätzlich möglich, aber in den meisten Fällen nicht mehr sinnvoll. Die Kälteanlagen sollten aufgrund des Lebensalters gezielt durch Neuanlagen ersetzt werden.

Bestandsanlagen mit HFKW

Die Umstellung einer Kälteanlage auf ein anderes Kältemittel ist eine wesentliche Änderung der Anlage. Sie erfordert eine erneute Risikobeurteilung. Die notwendigen Schritte sind in DIN EN 378-4 beschrieben. Bei der Auswahl des neuen Kältemittels sind Abschnitt 3.2 und 3.3.1 zu berücksichtigen.

Bei der Umstellung auf ein neues Kältemittel sind grundsätzlich 2 Fälle zu unterscheiden:

1.Fall: Kein Umbau der Kälteanlage (Drop-In)

Die Kälteanlage soll bis zum Lebensende weitgehend unverändert betrieben werden. Das neue Kältemittel muss nahezu gleiche Eigenschaften wie das alte Kältemittel besitzen. Das betrifft insbesondere die Drücke, die spezifische volumetrische Kälteleistung, Druckgastemperatur, die Sicherheitsgruppe des Kältemittels. In der Regel werden nur wenige Bauteile ausgetauscht (Expansionsventile, Dichtungen, Kältemaschinenöl).

Für diesen Fall wurden spezielle Drop-In-Kältemittel entwickelt (Tabelle 1). Diese sind aber nicht zukunftssicher im Sinne der F-Gase-Verordnung. Zu beachten ist ebenso, dass die maximal zur Verfügung stehende Kälteleistung der bestehenden Kälteanlage sich durch den Wechsel auf ein Ersatzkältemittel (Drop-In) reduzieren kann.

Tabelle 1, Ersatzkältemittel Drop-In (Beispiele)

| | Kältemittel | Sicherheitsgruppe | GWP | Zukunftssicher bis 2030 |
|-----|-----------------------------|--------------------------|------------|--------------------------------|
| Alt | R134a | A1 | 1430 | nein |
| Neu | R450A | A1 | 601 | nein |
| | R513A | A1 | 631 | nein |
| Alt | R404A/R507 | A1 | 3922 | nein |
| Neu | R448A | A1 | 1386 | nein |
| | R449A | A1 | 1397 | nein |
| | R452A | A1 | 2141 | nein |
| Alt | R410A | A1 | 2088 | nein |
| Neu | Zurzeit kein Ersatz möglich | | | |

2.Fall: Umbau der Kälteanlage ist möglich

Die Kälteanlage soll noch längere Zeit betrieben werden. Sie besitzt Reserven hinsichtlich der Kälteleistung oder des zulässigen Betriebsdruckes bzw. der Umbau ist möglich. Das neue Kältemittel kann andere Eigenschaften als das alte Kältemittel besitzen. Das betrifft insbesondere die Drücke und die spezifische volumetrische Kälteleistung. Die Umstellung von einem Kältemittel der Sicherheitsgruppe A1 auf brennbare oder toxische Kältemittel ist in der Regel nicht möglich. Für diesen Fall werden spezielle A1-Kältemittel entwickelt (Tabelle 2). Diese sind eingeschränkt zukunftssicher im Sinne der F-Gase-Verordnung, da das Potential zur GWP-Reduzierung beschränkt ist.

Tabelle 2, Ersatzkältemittel Umbau (Beispiele)

| | Kältemittel | Sicherheitsgruppe | GWP | Zukunftssicher bis 2030 |
|-----|-----------------------------|-------------------|------|-------------------------|
| Alt | R134a | A1 | 1430 | nein |
| Neu | R450A | A1 | 601 | nein |
| | R513A | A1 | 631 | nein |
| | AC5X ¹ | A1 | 620 | nein |
| Alt | R404A/R507 | A1 | 3922 | nein |
| Neu | R407A | A1 | 2107 | nein |
| | R407F | A1 | 1825 | nein |
| | R448A | A1 | 1386 | nein |
| | R449A | A1 | 1397 | nein |
| Alt | R410A | A1 | 2088 | nein |
| Neu | Zurzeit kein Ersatz möglich | | | |

3.3.3 Kältemittel für Neuanlagen

Die Auswahl des Kältemittels wird nur durch den Anwendungsfall eingeschränkt. Die Kälteanlage wird für das Kältemittel konstruiert. Die Anforderungen an die Kältemittel nach Abschnitt 3.2 und 3.3.1 sind zu berücksichtigen.

Für Neuanlagen sind sowohl nichtbrennbare, nichttoxische Kältemittel als auch leichtbrennbare sowie natürliche Kältemittel zur Auswahl verfügbar (Tabellen 3 und 4).

Tabelle 3, Ersatzkältemittel Neuanlage (Beispiele)

| | Kältemittel | Sicherheitsgruppe | GWP | Zukunftssicher bis 2030 |
|-----|--------------------|-------------------|------|-------------------------|
| Alt | R134a | A1 | 1430 | nein |
| Neu | R450A | A1 | 601 | nein |
| | R513A | A1 | 631 | nein |
| | R1233zd | A1 | 1 | Ja ² |
| | R1234yf | A2L | 4 | ja |
| | R1234ze | A2L | 7 | ja |
| | R600a | A3 | 4 | ja |
| Alt | R404A/R507 | A1 | 3922 | nein |
| Neu | R448A | A1 | 1386 | nein |
| | R449A | A1 | 1397 | Nein |
| | R454A | A2L | 238 | ja |
| | R454C | A2L | 146 | ja |
| | L-40 ³ | A2L | 285 | Ja |
| | R290 | A3 | 4 | Ja |
| | R717 | B2 | 0 | Ja |
| | R744 | A1 | 1 | Ja |
| Alt | R410A | A1 | 2088 | nein |
| Neu | R32 | A2L | 675 | eventuell |
| | R454B | A2L | 467 | eventuell |
| | HPR1D ³ | A2L | 407 | ja |
| | R290 | A3 | 4 | ja |

¹ Kältemittel ohne „R“ sind noch in der Entwicklung.

² Für Turboverdichter-Kaltwassersätze entwickelt.

³ Kältemittel ohne „R“ sind noch in der Entwicklung.

Folgende natürliche Kältemittel für Kompressionskälteanlagen im Temperaturbereich -40 bis + 15 °C und für Wärmepumpen werden bereits eingesetzt:

Tabelle 4, Natürliche Kältemittel

| Kältemittel | Name | Sicherheitsgruppe | GWP | Anwendungen |
|-------------|--------------|-------------------|-----|-----------------------------------|
| R290 | Propan | A3 | 4 | Wärmepumpe Supermarkt |
| R600a | Isobutan | A3 | 4 | Kühlschrank Gefrierschrank |
| R1270 | Propen | A3 | 4 | Chemieindustrie |
| R717 | Ammoniak | B2 | 0 | Großkälteanlage Großwärmepumpe |
| R718 | Wasser | A1 | 0 | Kaltwassersatz |
| R744 | Kohlendioxid | A1 | 1 | Supermarkt Wärmepumpe |

Obwohl die Kohlenwasserstoffe und Ammoniak industriell hergestellt werden, zählen sie zu den natürlichen Kältemitteln, da sie auch in der Natur vorkommen.

Von den natürlichen Kältemitteln ist R 717 (Ammoniak) das wichtigste Kältemittel in der Industriebranche, insbesondere bei Tieftemperaturanwendungen, worüber langjährige Erfahrungen vorliegen.

Zum Redaktionszeitpunkt dieser Planungshinweise liegen noch keine Langzeitbetriebserfahrungen mit neuen Ersatzkältemitteln vor. Zeitgleich ist festzustellen, dass sowohl für natürliche als auch für neue Ersatzkältemittel der Einsatz für gebäudetechnische Zwecke bislang nicht weit verbreitet ist.

Die Abwägung, welches Kältemittel und welche Kältetechnik für Neuanlagen zum Einsatz kommen soll, muss projektbezogen u.a. unter den Aspekten der Betriebssicherheit, Verfügbarkeit und der Investitions- und Betriebskosten erfolgen. Hinweise zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung werden in Kapitel 5 gegeben.

Die aktuellen Entwicklungen auf dem Kältemittelmarkt sind zu beachten.

Die natürlichen Kältemittel sind unter dem Aspekt der F-Gase Verordnung zukunftssicher.

3.4 Kältemaschinenöle

Die Hauptaufgabe des Kältemaschinenöles ist die Gewährleistung der notwendigen Schmierung der beweglichen Teile des Kältemittelverdichters. Des Weiteren dient es dem Abführen von Wärme und dem Abdichten des Kompressionsraumes und der Ventile.

Um diese Aufgaben erfüllen zu können, muss es auch auf das eingesetzte Kältemittel abgestimmt sein. Meist werden Kältemaschinenöle mit einer guten Mischbarkeit mit dem Kältemittel eingesetzt.

Eine wichtige Kennzahl des Kältemaschinenöles ist die Viskosität (Zähigkeit). Da die effektive Viskosität von der Temperatur und der im Öl gelösten Kältemittelmenge abhängt, stellt die Einstellung der Betriebsviskosität einen Kompromiss zwischen der für die Verdichterschmierung notwendigen Mindestviskosität und der für eine ausreichende Ölzirkulation notwendigen Mindestfließfähigkeit bei tiefen Temperaturen dar.

Nicht zuletzt soll das Kältemaschinenöl eine hohe Alterungsbeständigkeit aufweisen, um lange Ölwechselintervalle zu ermöglichen.

Kältemaschinenöle können auf synthetischen Ölen oder auf Mineralöl basieren. Eine Einteilung der Kältemaschinenöle erfolgt nach DIN 51503 in Gruppen (unter Berücksichtigung der verschiedenen Kältemittel):

- KAA. Nicht mischbar mit Ammoniak, z. B. Mineralöle, Alkylbenzole, Polyalphaolefine
- KAB. Teilweise oder vollständig mischbar mit Ammoniak, z. B. Polyglykole
- KB. Mischbar mit CO₂, z. B. Esteröle, Polyglykole; nicht mischbar mit CO₂, z. B. Polyalphaolefine
- KC. Teilhalogenierte HFCKW, z. B. Mineralöle, Alkylbenzole, Ester- und Esteröl-Komplexe
- KD. Voll- und teilfluorierte FKW/HFKW, z. B. Esteröle und Polyglykole
- KE. Kohlenwasserstoffe, z. B. Mineralöle, Alkylbenzole, Polyalphaolefine, Polyglykole, Esteröle

Prinzipiell sind nur die durch den Verdichterhersteller (für das Kältemittel) vorgeschriebenen bzw. freigegebenen Schmierstoffe zu verwenden.

Dies gilt auch für einen Ölwechsel, da andernfalls Betriebsstörungen oder Schäden bis hin zur Zerstörung des Verdichters auftreten können. Da viele Kältemaschinenöle hygroskopisch sind, ist darauf zu achten, dass angefangene Ölgebinde nicht lange offen stehen bzw. nicht mehrmals verwendet werden.

Bei einem Austausch des Kältemittels ist auch ein Wechsel des Kältemaschinenöls erforderlich.

4 Weitere Komponenten

4.1 Rückkühler

Die Abbildung 7 zeigt die Einordnung der Rückkühler in den Kälteprozess. Die Aufgabe der Rückkühler ist es, die im Verflüssiger abgegebene thermische Leistung über eine einphasige Flüssigkeit (Wärmeträger) über einen Wärmeübertrager an die Umgebungsluft abzugeben. Die Luft wird dabei in der Regel durch Ventilatoren über den Wärmeübertrager gefördert. Da Rückkühler mit Außenluft in Verbindung stehen, sind Frostschutzmaßnahmen im Wärmeträger notwendig.

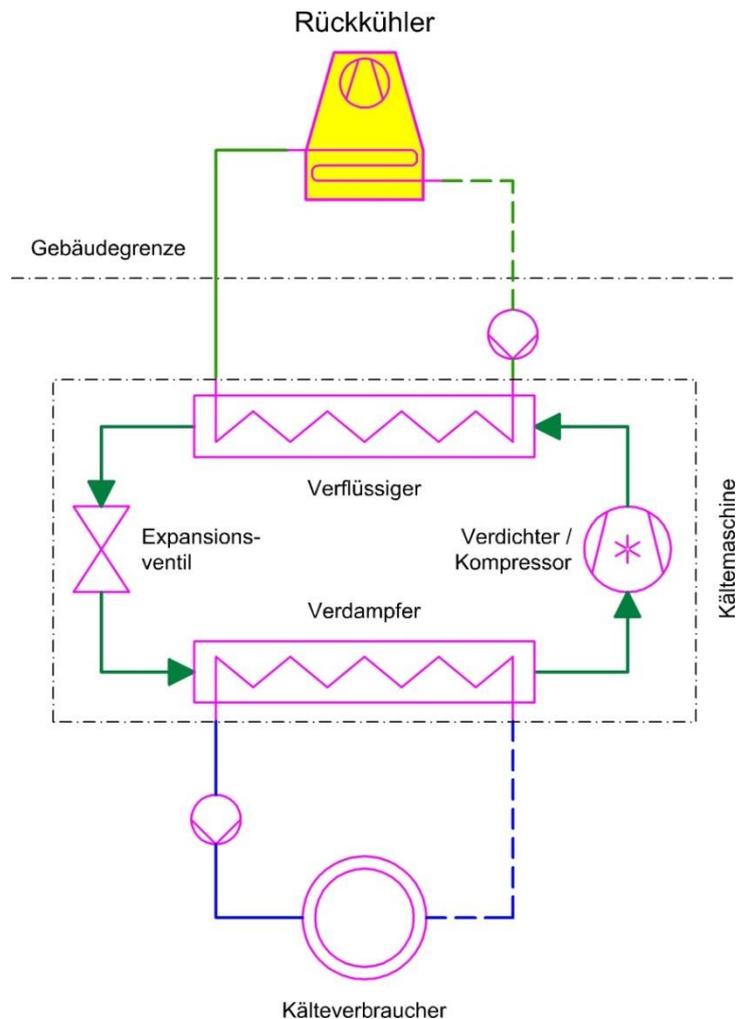


Abbildung 7, Einordnung der Rückkühler

Folgende Arten der Rückkühler sind aus Sicht der Kältetechnik anzutreffen:

- Trockenkühler
- Hybride Trockenkühler
- Geschlossene Verdunstungskühler
- Offene Verdunstungskühler

Trockenkühler

Bei den Trockenkühlern wird die Wärme sensibel an die Umgebung abgegeben. Dabei muss die Temperatur des Wärmeträgers oberhalb der Umgebungstemperatur liegen.

Hybride Trockenkühler

Bei den hybriden Trockenkühlern handelt es sich um einen trockenen Kühler, der zum Zwecke der Leistungssteigerung luftseitig mit Wasser benetzt werden kann.

Bei niedrigen Umgebungstemperaturen wird die Wärme rein sensibel aufgrund der Temperaturdifferenzen übertragen.

Bei höheren Umgebungstemperaturen erfolgt durch die Benetzung der Lamellen mit Wasser eine Verdunstung, so dass ein Teil der Leistung als latente Wärme übertragen wird.

Durch die Benetzung der Lamellen wird die übertragbare Leistung deutlich gesteigert, so dass hybride Trockenkühler weniger Aufstellfläche als reine Trockenkühler benötigen.

Geschlossene Verdunstungskühler

Die geschlossenen Verdunstungskühler nutzen dauerhaft den Effekt der Verdunstung. Der Wärmeträger wird in geschlossenen Rohrleitungen geführt. Auf der Außenseite findet die Verdunstung statt. Dazu wird in der Regel Wasser versprüht.

Offene Verdunstungskühler

Bei den offenen Verdunstungskühlern wird ein Teil des Wärmeträgers zur Verdunstung verwendet. Der zu kühlende Wärmeträger wird verrieselt. Im direkten Kontakt mit der Umgebungsluft wird die Verdunstung realisiert.

Bei allen Rückkühlern, die die Verdunstung nutzen, sind unter dem Aspekt der Legionellen die Anforderungen der VDI 2047 bzw. der in Abstimmung befindlichen 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheider (VerdunstKühIV) – 42. BImSchV) zu beachten.

4.2 Kältespeicher

Durch den Einsatz von Kältespeichern können die installierte Kälteleistung und der elektrische Leistungsbedarf reduziert sowie der Betrieb von Kälteerzeugern im niedrigen und häufig ineffizienten Teillastbereich vermieden werden.

Im Zusammenhang mit dem steigenden Anteil erneuerbaren, fluktuierend erzeugten Stroms können Kältespeicher zur Integration hoher Anteile erneuerbaren Stroms beitragen. Zukünftig wird der Zeitpunkt des Strombezugs eine größere Bedeutung erlangen und der absolute Verbrauch an Bedeutung verlieren, so dass der Bedarf an Kältespeichern wächst.

Mit einem Kältespeicher wird die letztlich benötigte Nutzenergieform Kälte gespeichert, so dass keine weiteren Umwandlungsverluste mehr auftreten.

Durch die Ausnutzung entsprechender Tarifmodelle sowie durch die Minderung der elektrischen Leistungsspitze im Rahmen eines Lastmanagements können Kältespeicher kurze Amortisationszeiten erreichen.

Merkmale von Kältespeichern:

- Reduktion der installierten Kälteleistung möglich
- Bereitstellung hoher Spitzenlasten ohne Vorhaltung einer gleich großen Erzeugungskapazität
- Weniger Schaltzyklen, Vermeidung von Teillastbetrieb und damit bessere Wirkungsgrade der Kälteerzeugung
- Möglichkeit der Abschaltung von Kälteerzeugern (Lastabwurf) im Rahmen eines Lastmanagements
- Möglichkeit der Verschiebung der Kälteerzeugung in Zeiten mit günstigen Rückkühlbedingungen und dadurch Effizienzsteigerung
- Erhöhung der Versorgungssicherheit und Möglichkeit einer Kälte-Notversorgung
- Zusätzlicher Platzbedarf, der durch geschickte Anordnung, höhere Energiedichte (Eis- statt Kaltwasserspeicher) oder Mehrfachnutzungen (Nutzung von Sprinklerbehältern, unterirdische Speicher) minimiert werden kann
- Eventuelle Erhöhung des elektrischen Energieverbrauchs in Abhängigkeit vom Speichertyp (z.B. infolge einer niedrigeren Verdampfungstemperatur bei der Kälteerzeugung) und der Betriebsweise (z.B. Rückkühlbedingungen Tag/Nacht, Teillastbetrieb)

Kältespeicher können auch in Systemen der Wärme-Kälte-Kopplung vorteilhaft eingesetzt werden, um zeitliche Disparitäten des Wärme- und Kältebedarfs auszugleichen und den Anteil der effizienten Wärme-Kälte-Kopplung zu erhöhen. Als Wärme-Kälte-Kopplung wird die parallele Nutzung der von einer Wärmepumpe/Kältemaschine erzeugten Wärme und Kälte bezeichnet. (Flüssig-)Eisspeicher sind aufgrund der Temperaturkonstanz und der hohen Energiedichte in dieser Anwendung vorteilhaft einsetzbar.

Die Auswahl des Kältespeichers sowie die Auslegung (Ein- und Ausspeicherleistung, Speicherkapazität) wird bestimmt durch die verfolgte Zielstellung, wie beispielsweise:

- Lastmanagement
- Erhöhung des Eigenverbrauchs selbsterzeugten Stroms (z.B. PV)
- Nutzung ökonomisch vorteilhafter Strom-Tarifmodelle
- Erhöhung der Versorgungssicherheit

Folgende Arten von Kältespeichern sind in der Kältetechnik bekannt:

- Sensible Kältespeicher (Kaltwasserspeicher)
- Latente Kältespeicher (Eisspeicher)
 - Festeisspeicher
 - Flüssigeisspeicher

Sensible Kältespeicher (Kaltwasserspeicher)

Sensible Kältespeicher nutzen die Temperaturänderung des Speichermediums, i.d.R. Wasser. Durch die geringe nutzbare Temperaturdifferenz besitzen Kaltwasserspeicher eine niedrige Energiedichte, wodurch große Speichervolumina notwendig sind. Bei der in Klimatisierungsanwendungen häufigen Temperaturpaarung 6/12 °C beträgt die Energiedichte 25 kJ/kg bzw. 7 kWh/m³.

Latente Kältespeicher (Eisspeicher)

Latente Kältespeicher nutzen die Energie der Phasenumwandlung fest/flüssig eines Stoffes. Am häufigsten wird Wasser/Eis eingesetzt, wobei die latente Energiedichte 333,5 kJ/kg bzw. 93 kW/m³ beträgt. Vorteilhaft ist die konstante Temperatur des Phasenwechsels. Je nach erforderlicher Kälte-trägervorlauf-temperatur ist zusätzlich der sensible Anteil, analog zum Kaltwasserspeicher, nutzbar.

Eine Einordnung von Eisspeichern kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen. Eine Möglichkeit ist die Unterscheidung in Fest- und Flüssigeisspeicher.

Festeisspeicher

- besitzen einen integrierten Wärmeübertrager, der zumindest für die Einspeicherung (Eisbildung), meist auch für die Ausspeicherung (Aufschmelzen) genutzt wird
- führen zu einer vergleichsweise niedrigen Verdampfungstemperatur des Kältemittels im Kälteerzeuger und damit zu einer Minderung der Effizienz
- Die Größe des Wärmeübertragers, die Eisdicke sowie die Temperaturdifferenz zwischen Eis und Kälte-träger bestimmen die Leistung bei der Ein- und Ausspeicherung
- Die Ausspeicherung erfolgt teilweise über, ggf. gleichzeitige, „externe Schmelze“, d.h. Durchströmung des Behälters mit Wasser auf der „Eisseite“

Typische Bauformen sind:

- Rohrbündel- oder Platten-Wärmeübertrager in einem Behälter
- Eisentstehung auf Rohr-/Plattenaußenseite; Einspeicherung mittels Kälte-träger im Rohr;
- Kälte-träger mit Frostschutzmittel und damit Systemtrennung zum Kaltwassersystem erforderlich
- Verdampfendes Kälte-mittel in Rohrbündel- oder Platten-Wärmeübertrager in einem Behälter
- Einspeicherung mittels Verdampfung von Kälte-mittel auf Rohr-/Platten-Innenseite
Ausspeicherung durch externe Schmelze
- Makroverkapseltes Eis
- Wassergefüllte Kapseln, meist Kugeln, werden als Schüttung in einen Behälter eingebracht
- Durchströmung der Kapselschüttung mit dem Kälte-träger für Ein- und Ausspeicherung; Eisbildung in der verschlossenen Kugel; Kälte-träger mit Frostschutzmittel und damit Systemtrennung zum Kaltwassersystem erforderlich

Flüssigeisspeicher

- Flüssigeis ist eine pumpfähige Mischung aus Wasser und Eispartikeln und kann als Kältespeicher- und/oder Kälte-transportmedium eingesetzt werden
- Vorteilhaft sind u.a. die hohen Entladeleistungen
- Die Nutzung des Flüssigeises als Kälte-träger zur Kälte-vertei-lung ist möglich aber nicht zwingend.
- Vorteile von Flüssigeis als Kälte-träger sind die höhere Energiedichte, kleinere Rohrdurchmesser, geringerer Pumpenaufwand
- Im Vergleich zu direktverdampfenden Split-Systemen ist durch Einsatz von Flüssigeis als Kälte-träger eine Minimierung der Kälte-mittelfüllmenge möglich

- (erleichtert Einsatz natürlicher/brennbarer Kältemittel)
- Keine Einbauten und Wärmeübertrager im Speicherbehälter, hohe Speicherkapazitäten möglich

Hinsichtlich der Eiserzeugung werden unterschieden:

- **Kratzeiserzeugung**
Einsatz im kleinen und mittleren Leistungsbereich; vergleichsweise niedrige Verdampfungstemperatur; anwendungsgerechte Absenkung der Schmelztemperatur durch Additive möglich, z.B. zur Versorgung von Küchen oder Prozesskühlanwendungen
- **Vakuumeis**
Eisentstehung durch Verdampfung des Kältemittels Wasser bei Tripelpunktbedingungen (611 Pa, 0 °C);
Effizienteste Form der Eiserzeugung, da kein Wärmeübertrager zwischen Kältemittel und Eis, somit höchstmögliche Verdampfungstemperatur
Ankopplung an das Kaltwassersystem, kein Frostschutzmittelkreislauf erforderlich; natürliches Kältemittel Wasser (R718)
Anwendung im mittleren und großen Leistungsbereich

5 Planung und Ausführung

5.1 Auslegungskriterien (Redundanz, Teillast)

Nachfolgend sind die wesentlichen Ablaufschritte bei der Planung von kältetechnischen Anlagen dargestellt:

Die Planung und Ausführung kältetechnischer Anlagen muss auf der Grundlage eines fundierten Anforderungsprofils erfolgen.

Wichtige Ausgangsgrößen sind z.B. der geforderte Bereich der Temperatur und Feuchte, vorgegebene innere thermische Lasten (z.B. elektrische Anschlussleistungen mit Gleichzeitigkeiten), innere Feuchtelasten (z.B. Personen und Stoffströme mit Gleichzeitigkeiten), geforderte Regelgenauigkeiten und ggf. Überschreitungshäufigkeiten von Temperatur und Feuchte. Diese Parameter sind in der Regel mit dem Auftraggeber schriftlich zu vereinbaren.

Um Investitions- und spätere Betriebskosten zu optimieren, sollte nur so viel gekühlt werden wie unbedingt nötig. Für die vereinbarten Sollwerte (Temperatur, Feuchte) sind kurzzeitige (Tag-/Nachtbetrieb) und jahreszeitliche (Sommer-/Winterbetrieb) Spielräume auszunutzen und eine gleitende Fahrweise anzustreben.

Die für Lastberechnungen zu verwendenden meteorologischen Daten sind mit dem Auftraggeber ebenfalls zu vereinbaren. Die Ermittlung des Kältebedarfs erfolgt **zwingend** mittels Kühllastberechnung nach VDI 2078 die neben der sensiblen Kühllast auch eine Jahresberechnung des sensiblen Kühlenergiebedarfes bzw. der Überschreitungshäufigkeit des geforderten Temperatursollwertes ermöglicht. Als weiteres Ergebnis der Kühllastberechnung steht eine Jahressimulation zur Verfügung.

Eine ggf. abzuführende Entfeuchtungslast muss unter Berücksichtigung der relevanten Einflußgrößen (Personen, Stofflast, Außenluftwechsel) separat erfolgen.

In normalen Bürogebäuden ist der sommerliche Wärmeschutz durch geeignete bauliche Maßnahmen zu realisieren. Unter dieser Voraussetzung ist der Einsatz maschineller Kühlung wie Teil- oder Vollklimatisierung sowie Kühlung über Bauteilaktivierung bei Räumen mit inneren Lasten von unter 30 W/m² grundsätzlich nicht vorzusehen. In diesem Zusammenhang wird auf die aktuelle AMEV „RLT-Anlagenbau“ und die DIN 4108-2 verwiesen.

Soweit maschinelle Kühlung unumgänglich ist, sind die dafür erforderlichen Anlagen so zu planen und auszuführen, dass sie mit möglichst wenig fossiler Energie betrieben werden können.

Die Systementscheidung für die Art der Kälteversorgung (dezentrale Einzelanlage, zentrale Anlage, Fernkälte o.a.) muss unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten (Betriebs- und Investitionskosten) erfolgen. Insbesondere bei Anlagensystemen mit hohem Kühlenergiebedarf (hohe Laufzeiten und /oder hohe Kälteleistung) amortisieren sich höhere Investitionskosten in eine energieeffiziente Technologie meist deutlich vor Erreichen der technischen Nutzungsdauer (VDI 2067-1). In die Entscheidung müssen auch die geforderte Ausfallsicherheit sowie das Teillastverhalten einfließen. Ausfallsicherheit kann durch redundante Systeme oder durch eine Aufteilung der Gesamtkälteleistung auf mehrere Kältemaschinen erreicht werden. Die Grundlast ist dabei abhängig vom Kühllastverlauf. Praktisch überwiegen bei klimabedingter Kühllast in Deutschland die Kühlstunden mit geringer Kälteleistung. Das Grundlastsystem ist auf einen hohen Nutzungsgrad auszulegen und muss eine hohe Effizienz im Nennbetrieb aufweisen. Das Spitzenlastsystem muss einen sehr großen Teillastregelbereich und ein gutes Teillastverhalten aufweisen.

Die Verordnungen EU 2016/2281 und EU 2015/1095 definieren verbindliche Effizienzkennwerte für Komfortkühler und Prozesskühler im Sinne der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG. Tabelle 5 zeigt die Mindestwerte des primärenergetischen Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrades $\eta_{s,c}$ für Komfortkühler und Tabelle 6 die Mindestwerte der Jahresarbeitszahlen SEPR für Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur.

Tabelle 5, Mindestwert des primärenergetischen Raumkühlungs-Jahresnutzungsgrades ($\eta_{s,c}$) für Komfort-Wasserkühler mit Elektromotor nach EU 2016/2281

| Wärmeübertragungsmedium — kondensationsseitig | Nennkälteleistung | $\eta_{s,c}$ [%] Mindestwert ab 01.01.2018 | $\eta_{s,c}$ [%] Mindestwert ab 01.01.2021 |
|---|-------------------------------|--|--|
| Luft | $P_A < 400$ kW | 149 | 161 |
| | $P_A \geq 400$ kW | 161 | 179 |
| Wasser | $P_A < 400$ kW | 196 | 200 |
| | 400 kW $\leq P_A < 1500$ kW | 227 | 252 |
| | $P_A \geq 1500$ kW | 245 | 272 |

Tabelle 6, Mindestwert der Jahresarbeitszahl (SEPR) für Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur nach EU 2016/2281

| Wärmeübertragungsmedium — kondensationsseitig | Nennkälteleistung | SEPR- Mindestwert ab 01.01.2018 | SEPR- Mindestwert ab 01.01.2021 |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Luft | $P_A < 400$ kW | 4,5 | 5,0 |
| | $P_A \geq 400$ kW | 5,0 | 5,5 |
| Wasser | $P_A < 400$ kW | 6,5 | 7,0 |
| | 400 kW $\leq P_A < 1500$ kW | 7,5 | 8,0 |
| | $P_A \geq 1500$ kW | 8,0 | 8,5 |

Für gewerbliche Kühllagerschränke, Schnellkühler/-froster, Verflüssigungssätze und Prozesskühler mit mittleren und niedrigen Betriebstemperaturen gelten bereits ab 01.07.2016 verbindliche Mindesteffizienzwerte gemäß EU 2015/1095, die ab 01.07.2018 noch einmal verschärft werden. Tabelle 7 zeigt die Mindestwerte der Jahresarbeitszahlen JAZ für Prozesskühler mit mittlerer und niedriger Betriebstemperatur.

Tabelle 7, Mindestwert der Jahresarbeitszahl (JAZ) für Prozesskühler nach EU 2015/1095

| Wärmeübertragungsmittel auf der Verflüssigungsseite | Betriebs- temperatur | Nennkälte- leistung PA | JAZ- Mindestwert ab 01.07.2016 | JAZ- Mindestwert ab 01.07.2016 |
|---|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Luft | Mittel | $P_A \leq 300$ kW | 2,24 | 2,58 |
| | | $P_A > 300$ kW | 2,80 | 3,22 |
| | Niedrig | $P_A \leq 200$ kW | 1,48 | 1,70 |
| | | $P_A > 200$ kW | 1,60 | 1,84 |
| Wasser | Mittel | $P_A \leq 300$ kW | 2,86 | 3,29 |
| | | $P_A > 300$ kW | 3,80 | 4,37 |
| | Niedrig | $P_A \leq 200$ kW | 1,82 | 2,09 |
| | | $P_A > 200$ kW | 2,10 | 2,42 |

Für Prozesskühler mit einem Kältemittel-Fluid, dessen Treibhauspotenzial GWP weniger als 150 beträgt, dürfen die Werte für JAZ um höchstens 10 % niedriger als die angegebenen Werte sein.

Darüber hinaus sind unter Beachtung der F-Gase-Verordnung (EU 517/2014) zukunftsichere Kältemittel einzusetzen (→ Kapitel 3).

Bei der Festlegung der Einzelkomponenten der Anlage ist eine effiziente Übergabestrategie zu berücksichtigen.

Die Trennung von Lüftung und Kühlung mit Luft-Wassersystemen führt zu hohen spezifischen Kühllasten. Gleichzeitig muss nur der hygienisch erforderliche Außenluftanteil abgekühlt werden. Die Trennung von Kühlung und Entfeuchtung ist unter dem Aspekt der Energieeffizienz zu bewerten.

Die Aufstellorte und Aufstellbedingungen für die Anlagentechnik sind so wählen, dass ungünstige mikroklimatische Bedingungen die Funktionsweise nicht negativ beeinflussen.

Hauptziel der Auslegung muss es sein, möglichst hohe Verdampfungstemperaturen und möglichst niedrige Kondensationstemperaturen im Auslegungspunkt und unter den variablen Betriebsbedingungen zu erreichen. Grundsätzlich führt eine Erhöhung der Kaltwassertemperaturen und eine Absenkung der Kühlwassertemperaturen zu einer Steigerung der Leistungszahl EER (Energy Efficiency Ratio) und damit zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs. Abbildung 8 zeigt den theoretisch möglichen Verbesserungseffekt für einen Kaltwassersatz mit Kaltwasser 6/12°C und Kühlwasser 31/37°C.

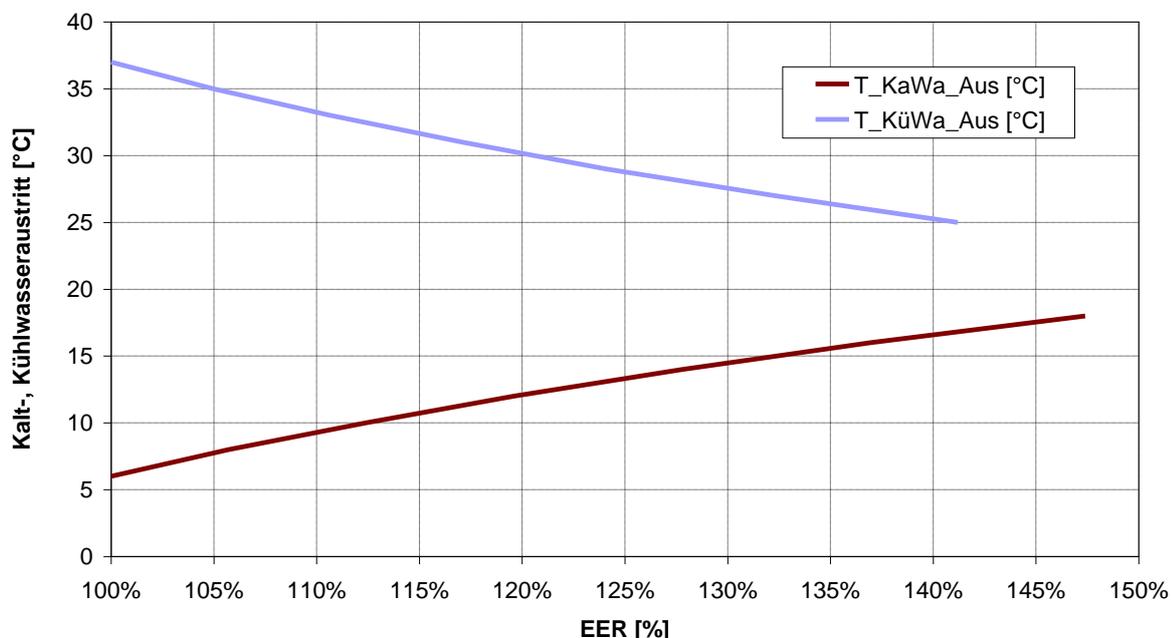


Abbildung 8, Einfluss der Systemtemperaturen auf die Leistungszahl einer Kältemaschine im Bereich der Komfortanwendung (Carnot-Umrechnung)

Die Berechnung von Jahresleistungszahlen SEER und damit energetische Systemvergleiche für verschiedene Arten von Kälteerzeugungssystemen mit unterschiedlichen Systemtemperaturen und Betriebsweisen ermöglicht DIN EN 16798 in den Teilen 9 bis 15.

Für Ausschreibung und Vergabe gilt die VOB in ihrer aktuellen Fassung. Kälteanlagen sind unter DIN 18379 Raumlufthtechnische Anlagen berücksichtigt. Neben den klassischen Auslegungsparametern und den Ecodesign-Mindesteffizienzwerten müssen verbindlich einzuhaltende energetische Kennwerte in der Leistungsbeschreibung vereinbart werden.

Weiterhin müssen zusätzlich zu den technischen Regeln auch Gesetze und Verordnungen beachtet werden, die den Schutz der Umwelt sicherstellen sollen. In diesen Zusammenhang sind exemplarisch das Wasserhaushaltsgesetz und die Gefahrstoffverordnung zu nennen.

Nachfolgend sind die möglichen Ablaufschritte bei der Planung von kältetechnischen Anlagen dargestellt:

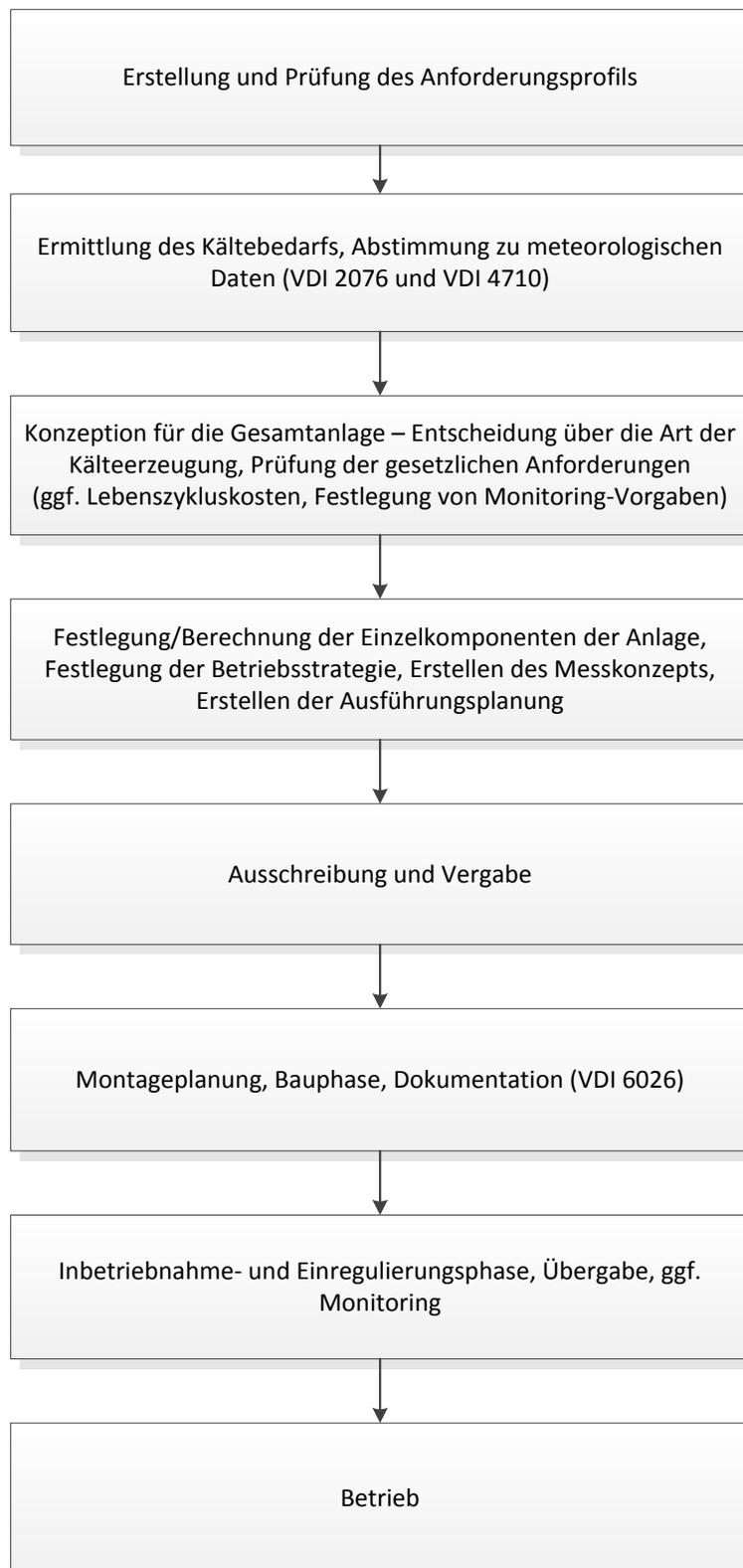


Abbildung 9, mögliche Ablaufschritte bei der Planung einer kältetechnischen Anlage

5.2 Netze und Hydraulik

5.2.1 Direkte Kühlung – Direkt verdampfende Systeme

Die Netze der direkt verdampfenden Systeme sind auf Basis der Herstellerangaben auszulegen.

Für den Betrieb von Kälteanlagen stellen die Rohrleitungen eine wichtige Baugruppe dar. Fehler in der Auslegung sowie in der Installation führen zu Funktionsstörungen und zu Schäden an der Kälteanlage.

Ein typisches Rohrmaterial für Kältemittelleitungen ist Kupfer nach DIN EN 12735. Es dürfen nur Kupferrohre verwendet werden, die dieser Norm entsprechen. Ab DN 32 unterliegen druckbeaufschlagte Rohrleitungen immer der Druckgeräterichtlinie und der Betriebssicherheitsverordnung. Es wird empfohlen die Rohrleitung durch nicht lösbare Verbindungen (Hartlötungen) zu verbinden. Lösbare Verbindungen sind auf ein Minimum zu beschränken. Bei der Verarbeitung ist darauf zu achten, dass nur saubere und staubfreie Rohre verwendet werden.

Bei der Dimensionierung von Rohrleitungen ist darauf zu achten, dass der Druckverlust innerhalb des Systems gering ist. Bei Rohrleitungen mit dampfförmigen Kältemitteln muss sichergestellt werden, dass der Öltransport erfolgen kann (Sauggasgeschwindigkeit 4 – 8 m/s). Weiterhin sind die maximal zulässigen Rohrlängen und Höhenunterschiede entsprechend des gewählten Systems einzuhalten.

Nach Abschluss der Installation ist das Gesamtsystem einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen. Der Nachweis ist vom Anlagenerrichter zu übergeben.

Alle Rohrleitungen incl. Einbauten sind zu isolieren. In diesen Zusammenhang ist ein besonderes Augenmerk auf die Befestigungen (Rohrbefestigungen mit ausreichender Dämmeinlage) und Rohrdurchführungen zu legen. Des Weiteren ist bei der Rohrinstallation auf einen ausreichenden Verlegeabstand zu achten (DIN EN 378). Mangelhafte Isolierungen führen zu Wärmeverlusten bzw. zur Bildung von Tauwasser auf der Oberfläche.

Flüssigkeits- und Gasleitungen dürfen nicht gemeinsam isoliert werden. Bei der Auswahl des Isoliermaterials sind sowohl die max. auftretenden Systemtemperaturen (Dämmung mit schwerentflammbarem Material) als auch die Umgebungtemperaturen zu beachten. Üblicherweise kommt ein geschlossenzelliges (diffusionsdichtes), flexibles, synthetisches Kautschukmaterial in schwerentflammbarer Ausführung zum Einsatz.

Die DIN 2405, „Rohrleitungen in Kälteanlagen und Kühleinrichtungen – Kennzeichnung“, legt unter anderem fest, wie Rohrleitungen mit Kältemittel, Kühlmittel und Kälteträger, die außerhalb eines geschlossenen Bausatzes verlegt sind, zu kennzeichnen sind.

Arbeiten an kältemittelführenden Systemen dürfen nur von qualifizierten Fachfirmen durchgeführt werden. Die Qualifikationen sind vorzulegen.

5.2.2 Kalt und Kühlwasser

Im Unterschied zu Warmwassersystemen werden Kalt- und Kühlwassernetze mit geringen Temperaturdifferenzen ausgelegt. Es sind daher erheblich höhere Volumenströme erforderlich und Abweichungen bzw. Temperaturänderungen haben eine deutlich höhere Auswirkung auf die Leistung der Kälteverbraucher. Die Hydraulik von Kalt- und Kühlwassernetzen ist somit wesentlich empfindlicher als die von Warmwassersystemen und bedarf daher einer sehr gründlichen Planung und Ausführung.

Beim Aufbau von Kaltwassersystemen sind unbedingt die Anforderungen an die Kälteerzeuger zu beachten. Die Hersteller geben für jede Kältemaschine einen bestimmten Kaltwasser-Volumenstrom an. Um einen störungsfreien Betrieb der Anlage zu gewährleisten, sind in allen Betriebszuständen die geforderten Werte zwingend sicherzustellen. Meist werden nur geringe Abweichungen der Durchflussrate zugelassen, so dass bei vielen Anlagen der Volumenstrom konstant gehalten werden muss. In diesem Fall dürfen keine Pumpen mit bedarfsgerechter Volumenstromanpassung eingesetzt werden. Neuere Maschinenregelungen lassen zum Teil auch größere Abweichungen zu, die auch variabel geregelt werden können. Es sind jedoch immer die vom Hersteller festgesetzten Grenzwerte einzuhalten.

Auch die Anforderungen an die Verbraucher haben Einfluss auf den Systemaufbau. Bei Luftkühler mit Entfeuchtungsfunktion ist zur Leistungsregelung eine Veränderung der Kühler-Durchflussrate notwendig (Mengenregelung). Als hydraulische Schaltung ist hier z.B. eine Umlenk- oder eine Drosselschaltung geeignet.

Soll jedoch nicht entfeuchtet werden, ist zur Leistungsregelung eine Veränderung der Vorlauftemperatur (Temperaturregelung) günstiger. Als hydraulische Schaltung ist dann z.B. eine Beimischschaltung zu empfehlen.

Einfache Anlagen können als Ein-Kreis System aufgebaut werden.

Hier fördert die Kaltwasserpumpe durch die Kältemaschine und Kälteverbraucher gleichzeitig. Es ist darauf zu achten, dass im Teillastbetrieb der Volumenstrom durch den Verdampfer nicht gedrosselt wird. Entsprechend sind die Anbindungen der Verbraucher mit primär konstantem Durchfluss auszuführen, wie z.B. mit einer Umlenkschaltung. Bei der Pumpenauslegung muss immer der Mindestvolumenstrom der Kältemaschine berücksichtigt werden.

Komplexe Anlagen oder Anlagen mit mehreren Kälteerzeugern sollen als Zwei-Kreis System mit hydraulischer Entkopplung (z.B. einer hydraulischen Weiche, Speicherbehälter oder Bypassleitung) aufgebaut werden. Hier haben Erzeuger- und Verbraucherkreislauf jeweils separate Kaltwasserpumpen, die unabhängig voneinander arbeiten. Die Regelung der Verbraucher hat keinen Einfluss auf den Volumenstrom durch die Kälteerzeuger. Im Verbraucherkreis sind Schaltungen mit primär variablem Durchfluss zu bevorzugen z.B. mit einer Drosselschaltung. In Verbindung mit drehzahlgeregelten Pumpen kann dann bei sinkendem Kältebedarf der Durchfluss so verringert werden, dass nur der unbedingt notwendige Volumenstrom gefördert wird. Folglich wird der Energieverbrauch der Pumpen reduziert und es stellen sich höhere Rücklauftemperaturen ein, die nahe bei den

Auslegungstemperaturen liegen. Sie bieten verschiedene Vorteile in der Systemplanung und ermöglichen die wirtschaftliche Einbindung einer freien Kühlung oder einer Wärmerückgewinnung.

Anlagen mit mehreren Kälteerzeugern werden im Erzeugerkreis parallel geschaltet und jeder Kühlmaschine wird eine separate Pumpe zugeordnet. Entsprechend der Leistungsanforderung werden die Erzeuger einzeln zu- oder abgeschaltet.

Die Auslegung der Kalt-/Kühlwassernetze erfolgt unter Beachtung der Druckverluste, Wassergeschwindigkeiten und Kosten des Systems. Bei Kühlwassersystemen mit offenem Kühlturm ist zusätzlich die statische Höhe zu berücksichtigen. Bei der Wahl der Rohrleitungsmaterialien ist auf den Betriebsdruck, die Wirtschaftlichkeit und die Korrosionsbeständigkeit zu achten z.B. müssen wegen dem erhöhten Sauerstoffanteil in offenen Systemen nicht rostende Rohre verwendet werden. Werden Rohrleitungen im Außenbereich verlegt, sind unbedingt Frostschutzmaßnahmen notwendig. Wird aus diesem Grund die Anlage mit einem Wasser-Glykolgemisch gefüllt, ändert sich die spez. Wärmekapazität, die Viskosität und die Dichte des Kühlmediums. Bei allen hydraulischen Berechnungen vor allem bei der Pumpenauslegung muss das berücksichtigt werden.

Aufgrund der niedrigen Temperaturen im Kaltwassernetz kann es an den Rohroberflächen zu Kondensatbildung kommen. Die entsprechenden Leitungen und Einbauteile sind daher diffusionsdicht mit Vinylkautschuk oder Schaumglas auszuführen. Auf den Korrosionsschutz der Rohroberfläche und auf eine thermische Entkopplung der Befestigungen ist besonders zu achten.

Bei der Inbetriebnahme der Netze ist auf Basis der Rohrnetzrechnung ein hydraulischer Abgleich durchzuführen. Nur ein abgeglichenes Netz gewährleistet die Versorgung der einzelnen Anlagenteile mit dem erforderlichen Volumenstrom.

5.3 Regelung und Automatisierung

Leistungsregelung für Teillastbetrieb

Kälteanlagen werden für eine maximale Last bzw. für eine maximale Außentemperatur ausgelegt. Die Anlagen arbeiten jedoch im großen Teil der Zeit im Teillastbetrieb. Aus diesem Grund muss das Regelungskonzept so gewählt werden, dass ein störungsfreier und energieeffizienter Betrieb sowohl im Vollast- als auch im Teillastbetrieb gewährleistet ist. Dies kann durch eine Leistungsregelung der Anlage sichergestellt werden. Dafür sind Regelbare Komponenten wie

- Verdichter bzw. Kaltwassersatz
- Ventilatoren bzw. Rückkühlwerke und
- Pumpen

notwendig (je nach Anwendungsfall). Neben der Drehzahl- bzw. Leistungsregelung der Komponenten ist auch eine Kaskadenschaltung (bei mehreren Kaltwassersätzen oder Verdichtern) für die Leistungsregelung geeignet.

Regelung der Nebenaggregate

Die Regelung von Nebenaggregaten wie z. B. Begleitheizungen (Abtau-, Ölsumpf-, Rahmenheizung) müssen auf das Gesamtkonzept abgestimmt werden. Einfache Zeitsteuerungen sind nicht zu empfehlen, da diese sich nicht an neue Anforderungen anpassen und oftmals einen unnötig hohen Energieverbrauch verursachen.

Betriebsstrategie

Um einen reibungsfreien Betrieb gewährleisten zu können, muss der Planer und/oder der Betreiber eine detaillierte Betriebsstrategie in der Planungsphase erarbeiten, auf deren Basis anschließend die Automatisierung der Anlage erfolgen kann. In einer Betriebsstrategie sollten unter anderem die folgenden Punkte festgelegt werden:

- Ein-, Aus- und Umschaltpunkte für Kältemaschinen, freie Kühlung, Abwärmenutzung, Wärmepumpenbetrieb
- Sollwerte für Kalt- und Kühlwasser | evtl. Bedingungen für gleitende Sollwerte
- Strategie zur Speicher Be- und Entladung
- Strategie zur Regelung im Teillastbetrieb für Kältemaschinen, Pumpen, Rückkühlwerke und Verbraucher | evtl. auch freie Kühlung
- Betriebsstrategien zur Maximierung der Energieeffizienz (Speicherbeladung bei Nacht und niedrigen Außentemperaturen)
- Bei Bedarf eine Betriebsstrategie zur Maximierung des Eigenstromverbrauchs (relevant bei lokaler Stromproduktion z. B. durch Photovoltaikanlagen)
- Sperrzeiten

Automationskonzept

Die Automatisierung von Anlagen kann grundsätzlich auf zwei unterschiedliche Weisen erfolgen. Eine, vor allem in kleinen Kälteanlagen zur Lebensmittelkühlung und Klimatisierung verbreitete Variante ist die Verwendung von vorgefertigten Reglern, die eine einzelne Regelaufgabe (z.B. die Drehzahlregelung des Verdichters) oder die Regelung eines Teilsystems wie z.B. einer Kühlstelle übernehmen.

Die zweite Variante zur Automatisierung wird häufig in größeren Anlagen angewendet. Diese werden mit Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) automatisiert. Diese Variante bietet hinsichtlich eines späteren Anlagenmonitorings den Vorteil, dass die Automatisierung bzw. Datenerfassung nahezu beliebig erweiterbar ist.

Die Vor- und Nachteile beider Konzepte sind in der folgenden Tabelle gegenübergestellt.

Tabelle 8, Vor- und Nachteile von Einzelreglern und Automationsstationen

| Vorgefertigte Einzelregler | | Automationsstationen (SPS) | |
|----------------------------|--|---|---|
| Vorteile | Nachteile | Vorteile | Nachteile |
| vorkonfiguriert | wenig flexibel | flexible Automations-Struktur | Regler müssen individuell programmiert werden |
| einfache Anwendung | Feldbus Schnittstellen nicht immer vorhanden | jederzeit erweiterbar | Evtl. höhere Investitionskosten |
| kostengünstig | abgeschlossenes System | offene, standardisierte Busprotokolle | |
| | Herstellerbindung bei Erweiterung | offene Programmierung | |
| | Herstellerbindung bei Datenlogger | flexible Einbindung in Gebäudeleittechnik | |
| | nur bedingt geeignet für Anlagenmonitoring | sehr gut geeignet für Anlagenmonitoring | |

Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Konzepte sind für jeden Anwendungsfall individuell abzuwiegen.

Weitere Hinweise sind der AMEV-Empfehlung Gebäudeautomation zu entnehmen.

Dokumentation der Automatisierung für den Betrieb

Die Dokumentation und Beschreibung der Automatisierung sollte nach „VDI 3814 Blatt 6“ erfolgen. Die Automatisierung sollte durch

- Funktionsbeschreibung
- Automationsschema
- Funktionsliste
- Zustandsgraph
- Ablaufdiagramm und
- Zuordnungstabelle

beschrieben und dokumentiert werden.

5.4 Bauliche Integration der Kälteanlagen

Die baulichen Anforderungen an die Aufstellung einer Kälteanlage richten sich sowohl nach dem Aufstellungsbereich in dem die Kälteanlage untergebracht ist, als auch nach Eigenschaft und Menge des eingesetzten Kältemittels (siehe Kapitel 3).

Die Aufstellbereiche werden dabei in die folgenden Klassen unterteilt:

- a) Allgemeiner Aufstellbereich
- b) Überwachter Aufstellbereich
- c) Aufstellbereich zu denen nur befugte Personen Zutritt haben

Aus diesen Faktoren und der Menge und Art des eingesetzten Kältemittels ergeben sich nach DIN EN 378 die Anforderungen an den Aufstellungsort der Kälteanlage.

Generell können kältetechnische Komponenten außerhalb des Gebäudes im Freien oder in einem speziell gekennzeichneten Maschinenraum oder in Aufenthaltsräumen (mit und ohne Personen) aufgestellt werden.

Zur Vermeidung von Körperschallübertragung sind für die Verdichter und Kühlsätze schwingungs- und geräuschkämmende Unterlagen ebenso wie flexible Wasseranschlüsse und elastische Rohraufhängungen erforderlich.

Verkleidungen der Wände und der Decke des Maschinenraumes mit schallabsorbierendem Material können bei hohen Schalleistungspegeln erforderlich werden. Berechnungen des resultierenden Schalldruckpegels sind durchzuführen. Die Vorgaben der TA-Lärm sind einzuhalten.

Für die Aufstellung von Kältetechnischen Komponenten im Freien gelten folgende Forderungen:

Bei einer Aufstellung im Freien bzw. auf dem Dach darf bei einer Leckage kein Kältemittel in Belüftungsöffnungen, Türöffnungen oder ähnliche Öffnungen eindringen. Die Gefährdung von angrenzenden Gebäuden oder andere Gefahren für Personen sind zu vermeiden.

Des Weiteren gelten die Anforderungen gemäß dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG).

Die wichtigsten Forderungen zur Einhaltung des WHG sind:

- Abschaltung der Anlage im Leckagefall durch eine typgeprüfte Sicherheitseinrichtung.
- Füllstandsüberwachung
- Öl-Glykolauffangwanne
- Gassensoren
- Doppelrohrsysteme

Bei einer Aufstellung von Kältetechnischen Komponenten in einem Maschinenraum gelten folgende Forderungen:

Ein Maschinenraum gilt als vollständig umschlossener Raum oder Gehäuse mit mechanischer Belüftung, der nur befugten Personen zugänglich ist und zur Aufstellung von Teilen der Kälteanlagen oder der gesamten Kälteanlage dient. Der Maschinenraum muss die Anforderungen der DIN EN 378 – 3 erfüllen und muss als Maschinenraum gekennzeichnet sein. Bei Kältemittelmengen über dem nach DIN EN 378 – 1 definierten

„Praktischen Grenzwert“ muss der Maschinenraum als „besonderer Maschinenraum“ ausgebildet werden.

Maschinenräume für kältetechnische Komponenten dürfen auch für andere Einrichtungen genutzt werden, wenn es sich nicht um einen besonderen Maschinenraum handelt.

Maschinenräume sollten nicht als Personen-Aufenthaltsbereiche genutzt werden. Der Gebäudeeigentümer oder –betreiber muss sicherstellen, dass der Zugang nur durch entsprechend unterwiesenes Personal erfolgen kann.

Generell sind die baulichen Anforderungen an Maschinenräume entsprechend der Landesbauordnung zu beachten.

Wichtige Anforderungen an Maschinenräume:

- Kältemittel darf nicht in benachbarte Räume, Treppenaufgänge, Höfe, Gänge oder Entwässerungssysteme des Gebäudes gelangen, entweichende Gase müssen nach außen abgeführt werden.
- Wände, Boden und Decken müssen feuerbeständig und dicht sein.
- Es sind Vorkehrungen zu treffen, die bei einem Notfall das sofortige Verlassen des Maschinenraumes ermöglichen.
- Mindestens ein Notausgang erforderlich (unter Beachtung der Landesbauordnung)
- Die Türen müssen feuerfest, dicht, selbstschließend und nach außen zu öffnen sein (Anti-Panik-System).
- Befinden sich Verbrennungsanlagen oder Druckluftherzeuger im Maschinenraum, so muss deren Luftzufuhr so ausgeführt sein, dass kein Kältemittel angesaugt werden kann.
- Die Abschaltung der Kälteanlage muss außerhalb des Maschinenraumes in der Nähe seiner Tür über einen Not-Fernschalter möglich sein. Ein gleicher Schalter ist auch im Maschinenraum an geeigneter Stelle vorzusehen.
- Kältemaschinenräume müssen mit einer mechanischen Belüftung ausgestattet sein. Die Lüftung muss von außerhalb des Raumes schaltbar sein und für übliche Betriebsbedingungen und auch Notfallsituationen ausgelegt sein.
- Zur Abfuhr der Verdichterwärme ist in der Regel eine Maschinenraumbelüftung notwendig. Hier gilt: In der Regel ist der erforderliche Luftvolumenstrom zum Abführen der Abwärme des Flüssigkeitskühlsatzes wesentlich größer, als der nach DIN 378-3 aufgrund der Kältemittelfüllmenge notwendige Luftwechsel.
- Rohrleitungen und Kanäle die durch den Maschinenraum führen müssen dicht sein, dies gilt ebenfalls für ihre Durchführungen.
- Maschinenräume müssen so bemessen sein, das für Aufstellung und Instandhaltung genügend Platz vorhanden ist.
- Abblaseleitungen dürfen an ungefährdeter Stelle abblasen oder in einen geeigneten Absorptionsstoff geleitet werden. Kältemittel der Klasse A1 dürfen in den Maschinenraum abblasen, wenn ihr Grenzwert nicht überschritten wird.

Für Kältemaschinen mit Kältemittel der Gruppen A2, A3, B2, B2L und B3 gelten für den Maschinenraum weitere Anforderungen.

Aufstellung von Kältetechnischen Komponenten in Aufenthaltsräumen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die maximale Füllmenge (G_{zul}) an Kältemittel in Abhängigkeit vom Aufstellort für eine indirekte Anlage (Auszug aus der DIN EN 378-1). Gegebenenfalls ist eine weiterführende Risikoanalyse unter Beachtung länderspezifischer Vorschriften für Gebäude durchzuführen.

Tabelle 9, maximale Füllmenge an Kältemittel in Abhängigkeit vom Aufstellort

| Aufstellbereich Aufstellort | Allgemeiner Aufstellbereich | Überwachter Aufstellbereich | Aufstellbereich, zu dem nur befugte Personen Zutritt haben |
|--|---|---|--|
| | Klasse a | Klasse b | Klasse c |
| In einem Personen Aufenthaltsbereich der kein Maschinenraum ist. | Gilt als direktes System. Max. Füllmenge = praktischer Grenzwert * Rauminhalt $G_{zul} = P_L * V_R$ | Gilt als direktes System. Max. Füllmenge = praktischer Grenzwert * Rauminhalt $G_{zul} = P_L * V_R$ | In Unter- und Ober- geschossen ohne Notausgänge wie Klasse a. Ansonsten keine Einschränkung der Füllmenge. |

G_{zul} = Maximale Füllmenge [kg] ; P_L = praktischer Grenzwert [kg/m³] ; V_R = Rauminhalt (kleinster Raum) [m³]

Hinweise für die Aufstellung von Kälteanlagen mit Ammoniak (R717) als Kältemittel

Durch das Inkrafttreten der F-Gase-Verordnung gewinnen Anlagen mit R717 als Kältemittel (Gruppe L2) auch im Klimakältebereich zunehmend an Bedeutung. Aufgrund der toxischen Eigenschaften von Ammoniak ist der Maschinenraum besonders sorgfältig zu planen.

Der Maschinenraum kann neben Räumen mit Publikumsverkehr liegen, wenn die Anlage als indirekt geschlossenes System arbeitet und alle kältemittelführenden Teile im Maschinenraum untergebracht sind.

Generell sind die baulichen Anforderungen an Maschinenräume entsprechend der jeweils gültigen Landesbauordnung zu berücksichtigen.

Allgemein ist bei Ammoniak-Kälteanlagen zu beachten:

- Bei luftgekühlter Verflüssigung ist die Aufstellung im Freien vorzuziehen
- Generell ist die Aufstellung des Hochdruckteils nur im 1. U.G. und darüber zulässig
- Wenn kein besonderer Maschinenraum vorhanden ist, darf die Füllmenge von 50 kg in der Anlage nicht überschritten werden
- Verbrennungsanlagen und Druckluftkompressoren sind im selben Raum mit R717-Anlagen nicht erlaubt
- Betreten der Anlage nur für befugte Personen
- Es ist eine Be- und Entlüftung des Maschinenraumes gemäß DGUV-Regel 100 – 500 Kap. 2.35 § 17 vorzusehen, wobei die Abluft unter der Decke abzusaugen ist (Ammoniak ist leichter als Luft, ein Großteil der Kältemittel ist schwerer als Luft)
- Für den Leckagefall ist ein Abblasen der Maschinenraumluft gefahrungsfrei ins Freie vorzunehmen
- Kann das Abblasen der Maschinenraumluft nicht gefahrungsfrei geschehen, so ist diese durch ein Absorbersystem zu leiten und gereinigt dem Maschinenraum wieder zuzuführen
- Eine Einrichtung zur Augenspülung muss vorgehalten werden, ab 1.000 kg Füllmenge muss eine Notdusche vorhanden sein

5.5 Inbetriebnahme

Vor Inbetriebnahme einer neu errichteten oder einer wesentlich veränderten Kälteanlage müssen gemäß EU-Recht folgende Dokumente beim Betreiber vorliegen:

- Konformitätserklärung des Anlagenerstellers/ Herstellers entspricht der CE-Kennzeichnung
- Betriebsanleitung des Herstellers
- Fachunternehmererklärung (inkl. aller erforderlichen Nachweise wie z. B. Dichtigkeitsprüfung)

Durch das Anbringen der CE-Kennzeichnung bestätigt der Hersteller, dass das Produkt produktspezifischen europäischen Richtlinien und Normen entspricht. Bei Kälteanlagen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Die CE-Kennzeichnung bestätigt die Einhaltung der gesetzlichen Mindestanforderungen. Ebenso erstellt der Hersteller eine Konformitätserklärung.

Soweit erforderlich ist für diese Konformitätsbescheinigung eine benannte Stelle einzubeziehen. Sie erfolgt anhand harmonisierter europäischer Normen, bei Kälteanlagen z.B. auf Grundlage der DIN EN 378.

Der Betreiber erstellt auf der Grundlage seiner Gefährdungsbeurteilung sowie der Betriebsanleitung des Herstellers die Betriebsanweisung. Er sorgt dafür, dass Kälte- und Kühlanlagen als technische Arbeitsmittel vor Ihrer ersten Inbetriebsetzung durch eine befähigte Person einer Dichtheitsprüfung unterzogen werden. Ebenso ist der ordnungsgemäße Zustand festzustellen.

In der Betriebsanweisung müssen Informationen zum verwendeten Kältemittel, den Druck- und Temperaturstufen, Notfallanweisungen, Warnhinweise, zur Schutzausrüstung sowie zu Erste Hilfe Leistungen enthalten sein.

Bei überwachungsbedürftigen Anlagen gemäß § 2 Absatz 7 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz, ist die Prüfung der Anlage von einer zugelassenen Stelle vorzunehmen.

5.5.1 Dokumentation nach VDI 6026

Hinweise zum Betrieb finden sich in der VDI 3810, in der DGUV-Regel 100 – 500 Kapitel 2.35 sowie in der DIN EN 378 Teil 4, hier sind auch die notwendigen Dokumentationen (u.a. Betriebsbücher) für die Betriebsphase gelistet.

Der Umfang der Dokumentation zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme wird in der VDI 6026 „Dokumentation der Technische Gebäudeausrüstung“ auch für den Bereich der Kälteanlagen – Kostengruppe 434 der DIN 276 - definiert.

Sie beschreibt die Erstellung der notwendigen Planunterlagen von der Vorentwurfsphase einer Baumaßnahme bis zu Ihrem Abschluss, insbesondere auch den Umfang der Revisionsunterlagen (im Abschnitt 4.7). Im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen des Facility-Managements wurde 2015 das Blatt 1.1 als Weißdruck veröffentlicht.

Neben dem Anlagenschema ist auch das GA-Automationsschema und die GA-Funktionsliste nach VDI 3814 Blatt 1 einzufordern. Ggf. sind die Steuerungsaufgaben zusätzlich nach VDI 3814 Blatt 6 zu beschreiben.

Für Liegenschaften der Bundeswehr wurde der sogenannte Checklistenmaster entwickelt, der auf Grundlage einer Datenbank anwendungsbezogenen konkrete Anforderungen an den Umfang der Dokumentation stellt. Die entsprechenden Leistungsmerkmale müssen rechtzeitig im Rahmen der Ausführungsplanung zwischen dem Betreiber und der Bauverwaltung vereinbart werden (www.fib.de). Damit lassen sie sich problemlos in die Ausschreibung integrieren.

5.6 Beispielhafte Systemlösungen

5.6.1 Freie Kühlung

Mit der freien Kühlung erfolgt die Kaltwassererzeugung durch Ausnutzung der kalten Außenluft ohne Betrieb der Verdichter. Einsatzgebiete sind Anlagen mit ganzjährigen Kühllasten und relativ hohen Kaltwassertemperaturen wie sie z.B. in EDV-Betriebsräumen, Telekommunikationsanlagen oder in der Prozesskühlung anzutreffen sind. In der Klimatechnik können Kühldecken oder Bauteilaktivierung sehr wirtschaftlich betrieben werden.

Sinkt die Außentemperatur unter die Nutztemperatur des Kaltwasserkreislaufs kann vom Kältemaschinenbetrieb auf freie Kühlung umgeschaltet werden. Je nach Anlagenkonfiguration ist auch ein Parallelbetrieb möglich.

Die erzielbaren Energieeinsparungen sind abhängig von den Auslegungstemperaturen des Kaltwasserkreislaufs, den Anlagenbetriebszeiten sowie vom jahreszeitlichen Lastprofil. Mit hohen Kaltwassertemperaturen und langen Betriebszeiten lassen sich die höchsten Einsparungen erzielen.

Freier Kühlbetrieb mit wassergekühlten Verflüssigern

Die vorhandenen Rückkühlwerke der Kaltwassersätze werden mit Umschaltventilen in den Kaltwasserkreis eingebunden. Im Freikühlbetrieb erfolgt die Kälteerzeugung direkt über den Rückkühler. Ein Parallelbetrieb von Rückkühler und Kältemaschine ist nur in Anlagen mit mehreren Rückkühlwerken möglich.

Aufgrund der Einfriergefahr im Winter müssen für alle gefährdeten Anlagenteile Schutzmaßnahmen getroffen werden. Meist werden deshalb Kühlturm und Rohrleitungen mit einem Gemisch aus Wasser und Glykol gefüllt. Es ist zu beachten das Glykol wassergefährdend ist und demzufolge die Regeln des Wasserhaushaltsgesetzes einzuhalten sind. Es besteht die Pflicht geeignete Schutzsysteme zu installieren z.B. Auffang- und Rückhaltesysteme, um auf jeden Fall die Einleitung von Frostschutzmittel ins Abwasser oder ins Grundwasser zu verhindern. Des Weiteren ist durch die Veränderung der spez. Wärmekapazität und der Viskosität eine höhere Pumpenleistung erforderlich.

In stark verzweigten Kalt- und Kühlwassernetzen ist daher eine Begrenzung des Glykolkreislaufes auf den unbedingt notwendigen Umfang sinnvoll. Im frostsicheren Bereich wird dann der Glykolkreislauf vom übrigen Leitungsnetz mit einem Wärmeüberträger getrennt.

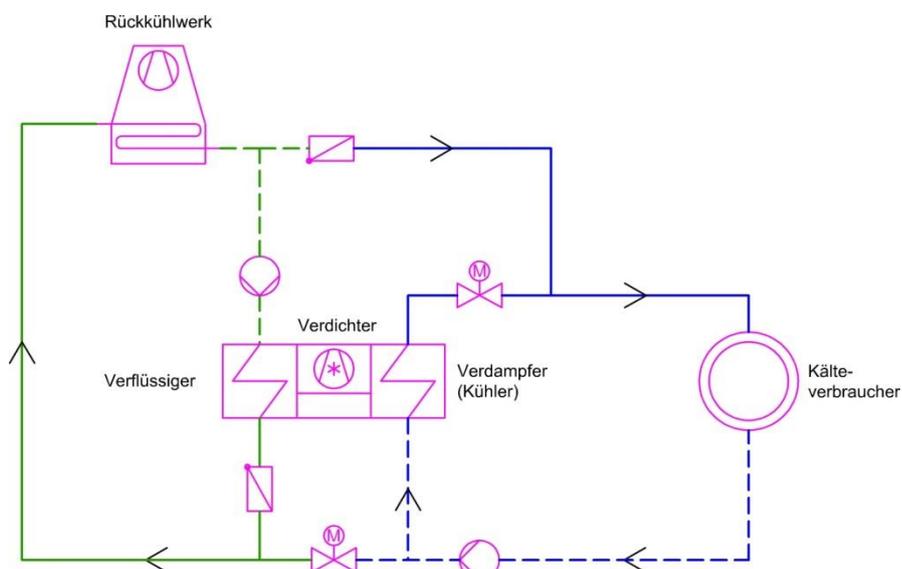


Abbildung 10, Schema für „Freien Kühlbetrieb“ mit Rückkühlwerk

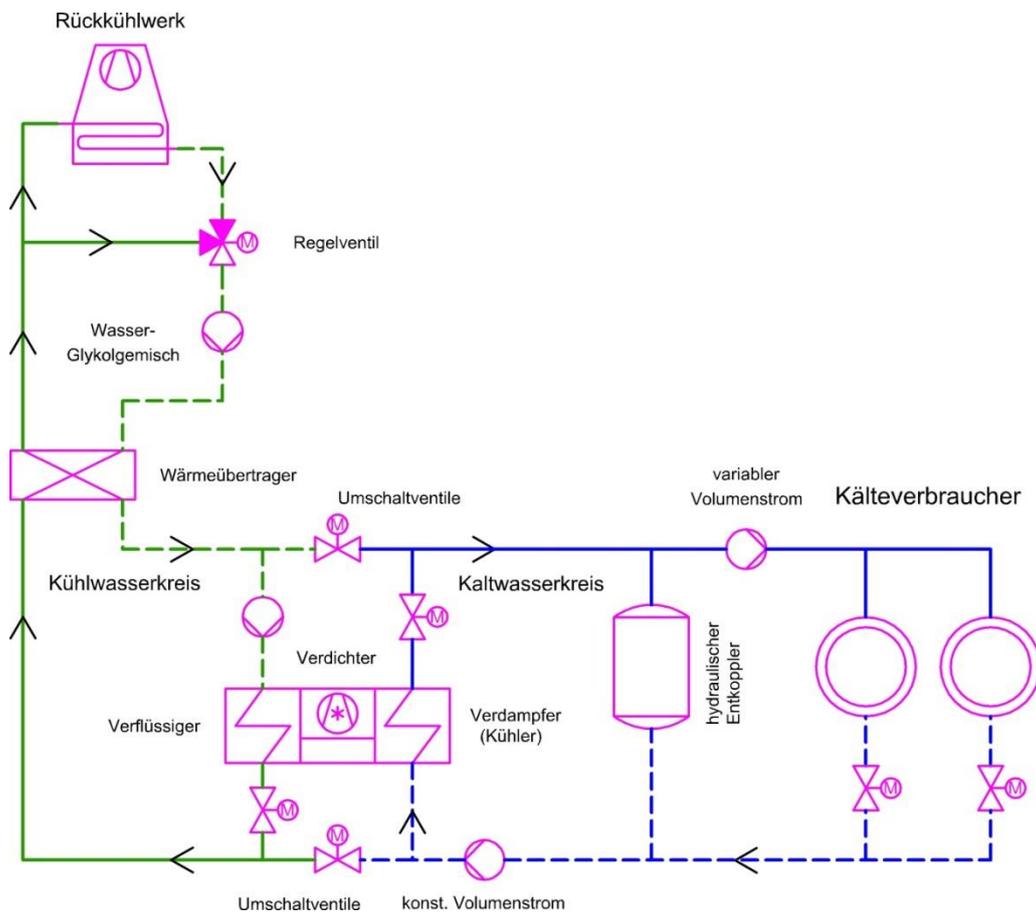


Abbildung 11, Schema „Freier Kühlbetrieb“ mit Rückkühlwerk, Frostschutz durch Systemtrennung mit Glykol- und Wasserkreis, Erzeugerkreis ist vom Verbraucherkreis hydraulisch entkoppelt

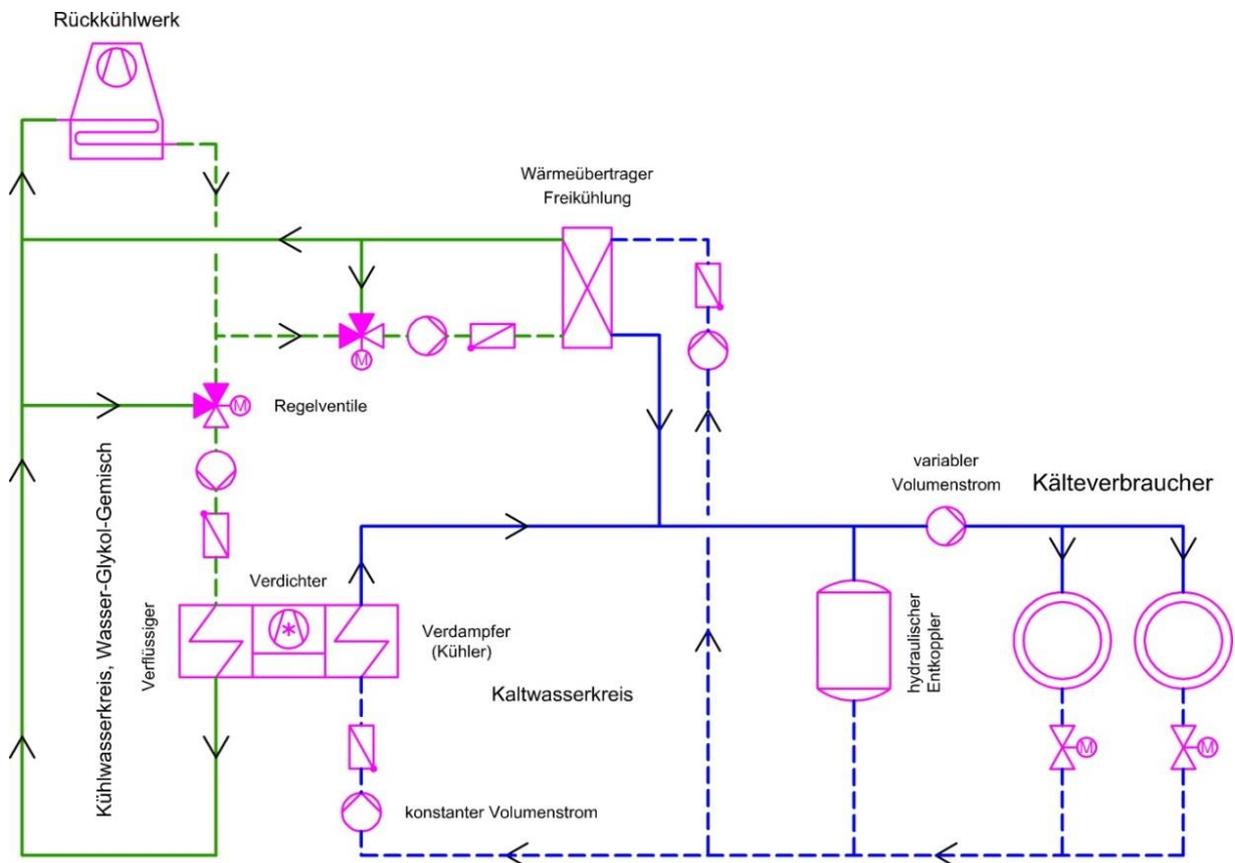


Abbildung 12, wie Abbildung 11, jedoch erfolgt hier die Umschaltung über die Umwälzpumpen.

Freier Kühlbetrieb mit luftgekühltem Verflüssiger und separatem Freikühler

Luftgekühlte Kaltwassersätze werden hauptsächlich im Außenbereich aufgestellt.

Mit einem separaten Freikühler kann ein Parallelbetrieb von Kältemaschine und freier Kühlung realisiert werden. Das Freikühlregister wird im Rücklauf (höchste Temperatur) mit der Kältemaschine in Reihe geschaltet. Im Freikühlbetrieb durchströmt der Kaltwasservolumenstrom zuerst den Freikühler, kühlt das Medium vor, und fließt anschließend durch die Kältemaschine, welche lediglich die verbleibende Temperaturdifferenz bis zum Kaltwasser-Sollwert kühlen muss.

Eine Energieeinsparung wird bereits bei einer Außentemperatur, die unterhalb der Kaltwasserrücklauftemperatur liegt, erzielt. Liegt die Außentemperatur unter der Kaltwasservorlauftemperatur kann bei entsprechender Dimensionierung der komplette Kältebedarf mit dem Freikühler gedeckt werden.

Da hier viele Anlagenkomponenten im Außenbereich aufgestellt werden, muss bei diesem System besonders auf den Frostschutz geachtet werden.

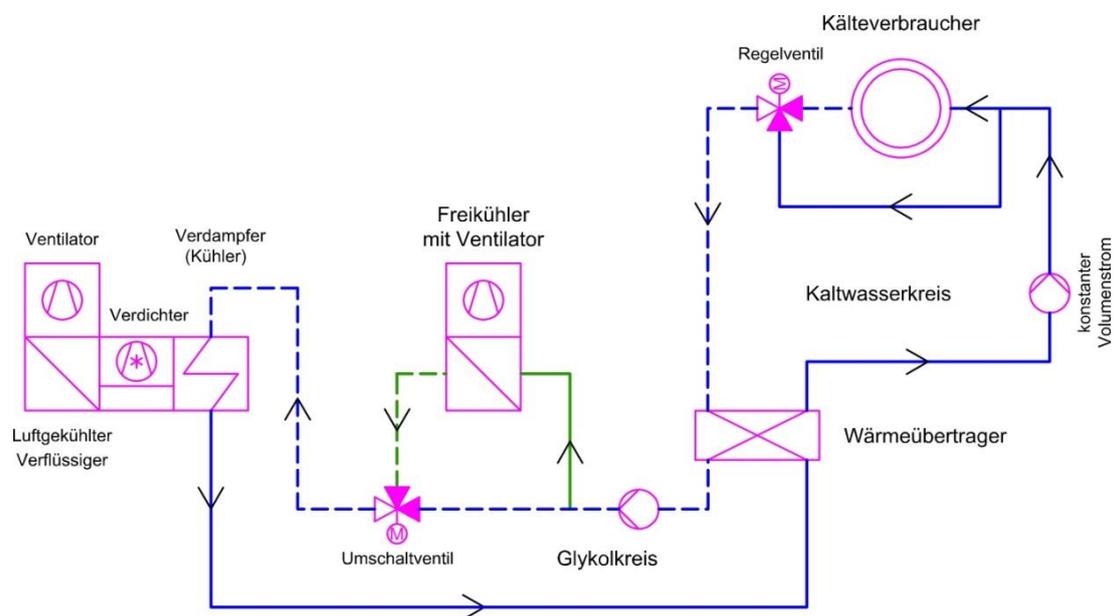


Abbildung 13, Schema „Freier Kühlbetrieb“ mit luftgekühltem Kaltwassersatz, Frostschutz durch Systemtrennung mit Glykol- und Wasserkreis

Freier Kühlbetrieb durch Thermosyphon Prinzip

Hier werden Kaltwassererzeuger (Verdampfer) und ein luftgekühlte Verflüssiger mit unterschiedlichem Höhenniveau getrennt aufgestellt. Im Kältemittelkreis werden zusätzlich Leitungen und Umschaltventile als Bypass zum Verdichter bzw. zum Expansionsventil montiert.

Werden z.B. Kühler und Verdichter in einer Kältezentrale im UG und der Verflüssiger auf dem Dach eines Gebäudes aufgestellt, ist bei entsprechender Anlagenausstattung und niedrigen Außentemperaturen ein Freikühlbetrieb nach dem Thermosyphon-Effekt möglich.

Nach dem Umschalten strömt das gasförmige Kältemittel aus dem Verdampfer am Verdichter vorbei. Ohne Verdichterbetrieb erreicht es den Verflüssiger. Kondensiert dort und strömt selbstständig, über die Expansionsventilumgehung wieder zum Verflüssiger zurück. Allein der Temperatur- und Höhenunterschied zwischen dem Verflüssiger und dem Verdampfer lassen den Kälteprozess erfolgen. Eine Leistungsanpassung an den Kältebedarf kann durch Drehzahlveränderung der Verflüssiger-Ventilatoren vorgenommen werden.

Bei dieser Technik sind nur wenige zusätzliche Bauteile notwendig, daher kann eine freie Kühlung mit geringen Investitionskosten realisiert werden.

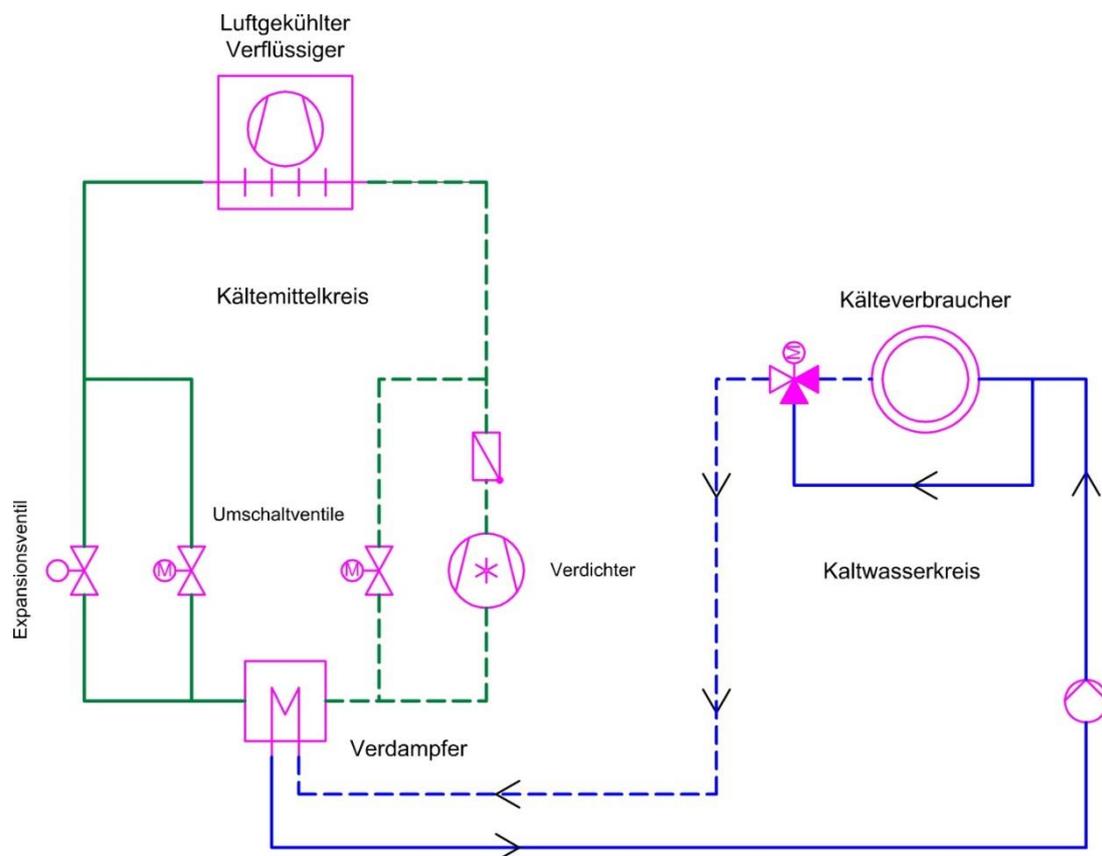


Abbildung 14, Schema „Freier Kühlbetrieb“ nach dem Thermosyphon-Prinzip

5.6.2 Wärmepumpen

Wird bei einer Kälteanlage die Wärme des Verflüssigers genutzt, so werden diese Anlagen als Wärmepumpen bezeichnet. Besonders erstrebenswert ist die Doppelnutzung von Wärme und Kälte. Heizungswärmepumpen, die ausschließlich zu Heizzwecken genutzt werden, entziehen einer Wärmequelle bei niedrigen Temperaturen die Energie. Über den Kälteprozess wird die Temperatur auf ein nutzbares Niveau angehoben und kann dann in einer Heizungsanlage verwendet werden. Für den Antrieb der Wärmepumpen werden vor allem Elektromotoren eingesetzt. Wärmequellen werden in die Gruppen Luft, Erdreich und Wasser eingeteilt. Es kann aber auch Prozesswärme aus Abwasser oder Abluft eingesetzt werden. Am häufigsten wird Außenluft als Wärmequelle genutzt, allerdings hat diese eine niedrige Energiedichte. Bei der Nutzung von Erdwärme wird mit Erdwärmesonden (in Bohrlöcher senkrecht zum Untergrund) oder Erdwärmekollektoren (horizontal in frostsicherer Tiefe) das natürliche Temperaturniveau im Untergrund genutzt. Grundwasser bietet ganzjährig gleichmäßige, und relativ hohe Temperaturen, es kann daher eine günstige Jahresarbeitszahl erreicht werden. Für die Grundwassernutzung und das Herstellen von tiefen Bohrlöchern ist auf die Genehmigungspflicht zu achten. Weitere Hinweise sind in der AMEV-Empfehlung Heizanlagenbau enthalten.

5.6.3 Wärmerückgewinnung (WRG) und Anlagen mit Heiz- und Kühlfunktion

Die Abwärme des Verflüssigers kann direkt zur Gebäudeheizung oder zur Warmwassererwärmung genutzt werden. Voraussetzung ist jedoch, dass bei Kältemaschinenbetrieb immer entsprechender Wärmebedarf besteht um die Kondensationswärme vollständig abführen zu können. Die Anbindung an das Heizsystem kann über einen Wärmeübertrager oder direkt erfolgen.

Soll zusätzlich noch ein Rückkühler in den Verflüssigerkreis eingebaut werden um überschüssige Wärme an die Umgebungsluft abzugeben, dürfen keine korrosionsfördernde Stoffe in das System geraten. Aus diesem Grund müssen immer geschlossene Rückkühlwerke verwendet werden.

Wirtschaftliche Anwendungen der WRG sind Heizsysteme mit niedrigen Vorlauftemperaturen wie z.B. Flächenheizungen oder Niedertemperatur-Radiatoren. Sind zur Beheizung höhere Temperaturen notwendig muss der Druck des Verdichters angehoben werden um die Verflüssigertemperatur zu erhöhen. Hierbei verringert sich aber die Leistungszahl und damit sinkt die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Alternativ kann zur Temperaturerhöhung eine Wärmepumpe dem Verflüssiger nachgeschaltet werden.

Eine weitere Möglichkeit der Wärmerückgewinnung bietet die Ausrüstung der Kältemaschine mit einem zusätzlichen Verflüssiger. Dieser kann parallel oder in Serie zum Hauptverflüssiger angeordnet werden. Regelventile im Kältekreis regeln bedarfsabhängig die Temperatur des Wärmeverbrauchers indem der Heißgasdurchfluss durch den WRG-Wärmeübertrager stetig verändert wird. Die nicht nutzbare Wärme bzw. das restliche Heißgas wird dann im Hauptverflüssiger über den Rückkühler an die Umgebungsluft abgegeben.

Mit der Splittechnik lassen sich bei größerem Verlegeaufwand mit 3-Leiter-VRF-Multisplitsystemen oder vergleichbaren 4-Leiter-Wassersystemen durch gleichzeitiges Heizen und Kühlen auch interne Wärmegewinne durch Verschiebung der freien Wärme aus den gekühlten Räumen zu den beheizten Räumen erzielen.

Bei der Planung von raumluftechnischen Anlagen ist der Jahresverlauf von Heiz- und Kühllast zu ermitteln. Ein wirtschaftlicher und sinnvoller Einsatz der Wärmeverschiebung ist besonders dann gegeben, wenn ein gleichzeitiger Bedarf an Heizung und Kühlung besteht und hohe jährliche Benutzerstunden zu erwarten sind.

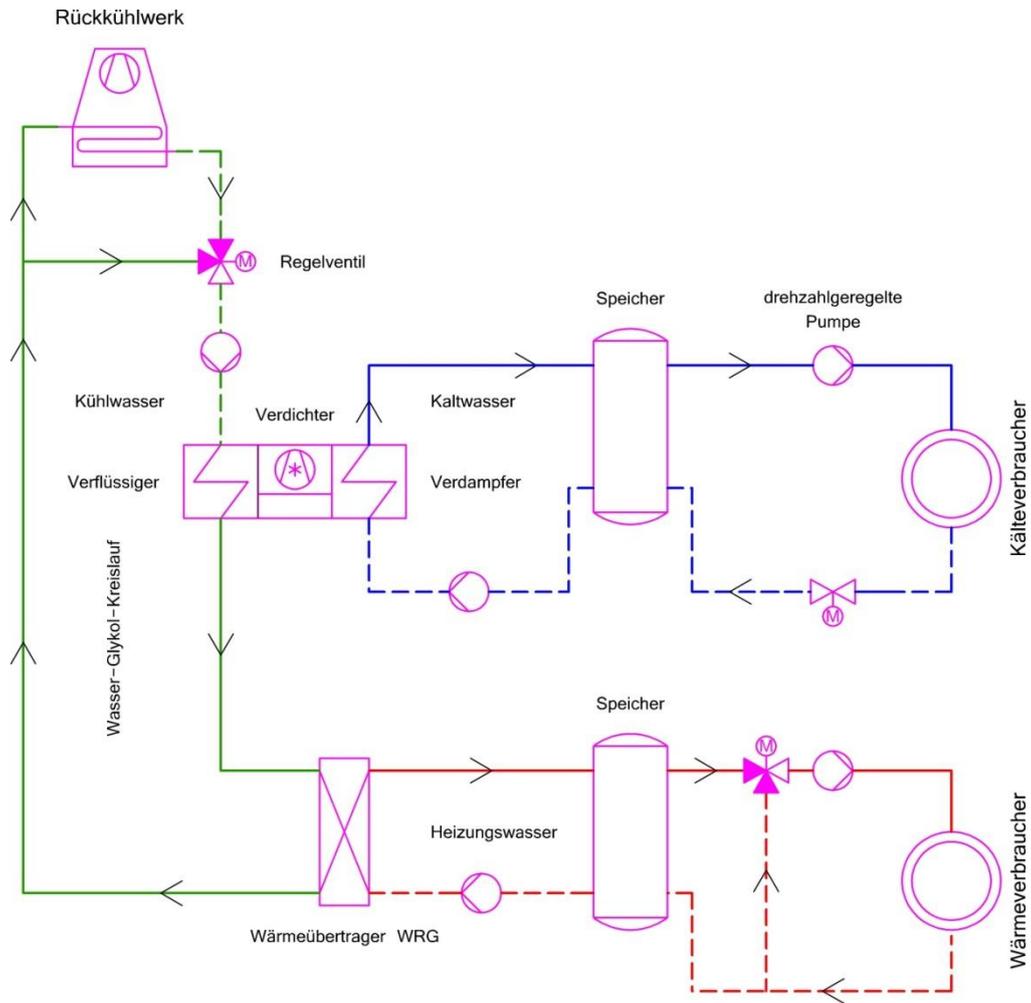


Abbildung 15, Wärmerückgewinnung

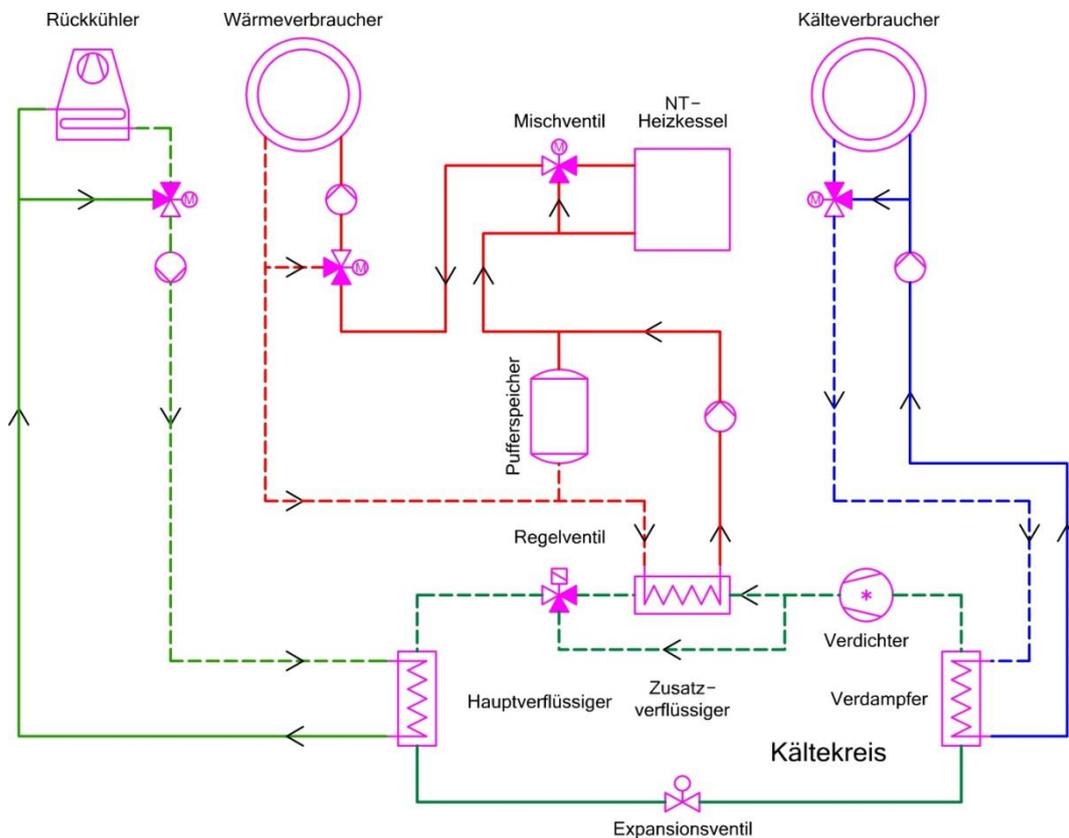


Abbildung 16, Wärmerückgewinnung mit zusätzlichem Verflüssiger und Einbindung eines Heizkessels

5.6.4 Fernkälteanlagen

Fernkälteanlagen werden für ausgedehnte Gebäudekomplexe wie z.B. Großkliniken, Universitäten, Geschäftszentren, Flughäfen etc. errichtet.

Die Gesamtkälteleistung wird auf mehrere Kältemaschinen aufgeteilt, sodass die Kälte sehr effizient erzeugt werden kann und mit der vorhandenen Redundanz eine hohe Versorgungssicherheit besteht. Da die Lastspitzen bei den Abnehmern meist nicht zur gleichen Zeit auftreten, entsteht im Netz ein Gleichzeitigkeitsfaktor, mit dem die installierte Kälteleistung minimiert werden kann. Das Kältemedium kann bedarfsabhängig zwischen den einzelnen Gebäuden „hin und her geschoben“ bzw. zugeteilt werden. Eine Kombination mit Kältespeichern stellt eine günstige Kälteanlagenvariante dar und ist auch aus ökologischen Gründen zu empfehlen. So können Fernkälteanlagen auch mit Flüssigeisssystemen (Gemisch aus feinkristallinem Eis und Sole) realisiert werden. Vorteile solcher Anlagen sind aufgrund des höheren Energieinhalts vor allem ein kleinerer Rohrdurchmesser und durch den geringen Volumenstrom geringere Pumpleistungen (siehe Kapitel 4.2 Kältespeicher).

Merkmale von Fernkältesystemen sind:

- Konzentration der Geräuschemissionen an einen oder wenigen Orten und dadurch geringere Aufwendungen für Schutzmaßnahmen
- zentrale Anlage erleichtert die Wartung und die Überwachung
- höhere Leistungszahl durch größere Einheiten
- bei Gebäuden unterschiedlicher Nutzungsart verschieben sich die Lastschwerpunkte
- geringere installierte Kälteleistungen
- durch Gleichzeitigkeitsfaktor geringerer Spitzenkältebedarf
- Fernkältenetz arbeitet auch als Kältespeicher
- Investitionskosten für Fernleitungsnetz und Gebäudeunterstationen
- Förderkosten und Transmissionskälteverluste im Netz
- Redundanz der Kälteerzeugung
- kritische Verbraucher mit ausreichendem Differenzdruck versehen
- Freie Kühlung mit Rückkühlwerken nutzen (siehe Abschnitt 5.6.1).
- Niedrigtarifzeiten für die Kälteerzeugung nutzen.
- Generell ist für Fernkälteanlagen eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchzuführen

Der Aufbau von Fernkälteanlagen umfasst im Wesentlichen drei Hauptbestandteile. Die Kälteerzeugung (Kältezentrale), das Fernkältenetz und die Kälteabnehmer.

Kälteerzeugung

In der Kältezentrale wird die angeforderte Kälte erzeugt. Dabei wird eine vorgegebene Kaltwasser-Vorlauftemperatur gefahren, die gegebenenfalls zur Effizienzerhöhung im Winter und bei geringer Last angehoben werden kann. Die Kältemaschinen sind im Allgemeinen stufenlos regelbar und können mit variablem Wasservolumenstrom im Verdampferkreislauf betrieben werden. Hydraulisch werden sie parallel geschaltet. In Abhängigkeit vom Kältebedarf werden sie einzelnen Zu- oder Abgeschaltet. Diese Steuerung kann temperaturabhängig z.B. über Temperaturfühler an der hydraulischen Weiche oder lastabhängig z.B. über Kälte- bzw. Volumenstromzähler erfolgen.

Wichtig ist die Entwicklung einer intelligenten Steuerungsstrategie für die Folgeschaltung. Ein häufiges Ein- und Ausschalten von Kältemaschinen muss vermeiden werden,

gleichzeitig soll ein energieoptimierter Betrieb mit hohen Wirkungsgraden (Teillastbetrieb) gewährleistet werden.

Jede Veränderung der Last und jedes Zu- bzw. Ausschalten von Kältemaschinen ergibt auch automatisch eine Veränderung des System-Volumenstroms. Von großer Bedeutung ist daher die Einhaltung der zulässigen Volumenströme durch die Verdampfer. Die, von den Herstellern angegebenen Grenzwerte der Durchfluss- und der Änderungsrate, müssen in allen Betriebsbedingungen zum Erreichen einer stabilen Steuerung eingehalten werden. Nähert sich der Volumenstrom eines Verdampfers der Mindestdurchflussrate, muss über eine Bypassleitung wieder Wasser zurückgeführt werden um die Schwankungen im vorgeschriebenen Bereich zu halten. Eine direkte Messung der Verdampferdurchflüsse (mit kalibrierten Geräten) ist für diese Regelung wichtig.

Fernkältenetz

Der Volumenstrom im Fernkältenetz wird von Umwälzpumpen generiert. Im Anlagenaufbau können die Pumpen jedoch unterschiedlich angeordnet werden. Bei einer zentralen Anordnung werden die Kältemaschinen und das Verteilernetz von den gleichen Pumpen versorgt. Es kann aber auch Erzeugerkreis und Verteilerkreis mit jeweils eigenen Pumpen ausgestattet werden (Zweikreis-System). Welche Anordnung gewählt wird ist von verschiedenen Faktoren abhängig, z.B. der Regelstrategie, Betriebs- Investitionskosten, Platzverhältnisse, usw. Da für den Energiebedarf der Netzpumpen ein signifikanter Anteil der Betriebskosten zukommt, muss zur Kostensenkung der Netz-Förderstrom minimiert, und dem tatsächlichen Bedarf angepasst werden (variabler Volumenstrom). Dazu ist eine entsprechende Pumpenregelung zu installieren, bei der mehrere Umwälzpumpen mit regelbarer Drehzahl parallelgeschaltet (Kaskadenschaltung) werden. Entsprechend der Last verändert die Regelung die Anzahl der zugeschalteten Pumpen sowie dessen Drehzahlstufe. Als Führungsgröße ist dabei der Differenzdruck eines kritischen Netzpunktes (Schlechtpunktregelung) geeignet.

Für das Fernkältenetz gibt es zwei Grundformen der Netzstruktur. Das Strahlnetz und das Maschennetz. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in den niedrigeren Herstellungskosten des Strahlnetzes, das Maschennetz bietet jedoch eine wesentlich höhere Versorgungssicherheit.

Die verwendeten Rohre sind meist unterirdisch verlegte Stahlrohre, die mit einem PUR-Schaum gedämmt und einem Mantelrohr aus HDPE geschützt werden. Zur Sicherheit sollen sie mit einem Lecküberwachungssystem ausgestattet werden.

Kälteabnehmer

Die Übergabestationen bilden die Schnittstelle zu den Kälteabnehmern. Als Hauptkomponenten sind Differenzdruckregler (der auch mit zusätzlicher Volumenstrombegrenzung ausgestattet sein kann), Regelventil zur Anpassung des Volumenstroms an den Kältebedarf, Kältezähler, Absperrventile und Schmutzfänger zu nennen.

Die Stationen können als direkter oder als indirekter Anschluss ausgeführt werden.

Beim direkten Anschluss besteht eine hydraulische Verbindung zwischen dem Fernkältenetz und dem Gebäudekreis. Dessen Merkmale sind geringe Investitionskosten, höhere Temperaturdifferenzen sind möglich (besser Wirtschaftlichkeit), höhere Gefahr von Schäden und die Druckstufe der Gebäude-Armaturen müssen der, des Fernkältenetzes gleich sein.

Beim indirekten Anschluss wird der Gebäudekreis mit einem Wärmetauscher entkoppelt. Es entsteht eine absolute Trennung mit einem Primär- und einem Sekundärkreis. Hierdurch erhöht sich jedoch die Vorlauftemperatur um ca. 1 bis 2 K, welches Nachteile für

die verfügbare Kälteleistung hat und es muss bei der Gebäudeauslegung beachtet werden. Insbesondere wegen der größeren Sicherheit z.B. bei Leckagen oder Verschmutzungen wird der indirekte Anschluss bei vielen Anlagen bevorzugt. Beim Aufbau der Übergabestationen und beim Anschluss der Kälte-Verbraucher ist es von großer Wichtigkeit, dass die höchstmögliche Temperaturdifferenz erreicht wird. Damit werden die Volumenströme und die Betriebskosten erheblich gesenkt. Empfohlen wird eine Vorlauf Temperaturregelung, die auch die Rücklauftemperaturen mit einbezieht, um so eine Mindesttemperaturdifferenz gewährleisten zu können. Für die meisten Fernkälteanlagen liegen technische Anschlussbedingungen (TAB) vor, die genaue Angaben zum Anlagenaufbau enthalten. Es werden alle wichtigen Rahmenbedingungen aufgeführt, die für einen sicheren- und wirtschaftlichen Betrieb der Gesamtanlage wichtig sind und daher unbedingt eingehalten werden müssen. Abweichungen hiervon sind mit dem Netzbetreiber abzustimmen.

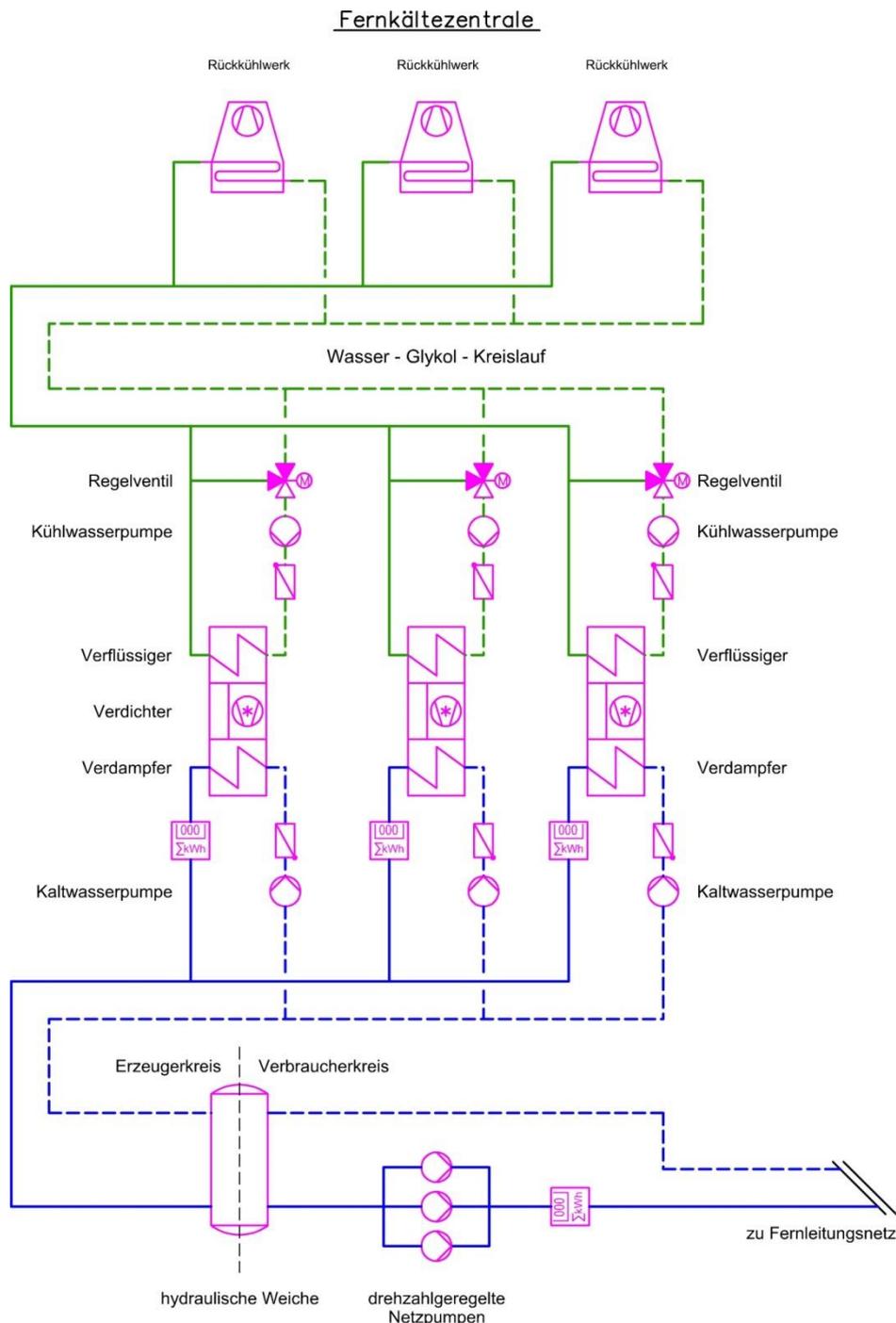


Abbildung 17, Fernkältezentrale

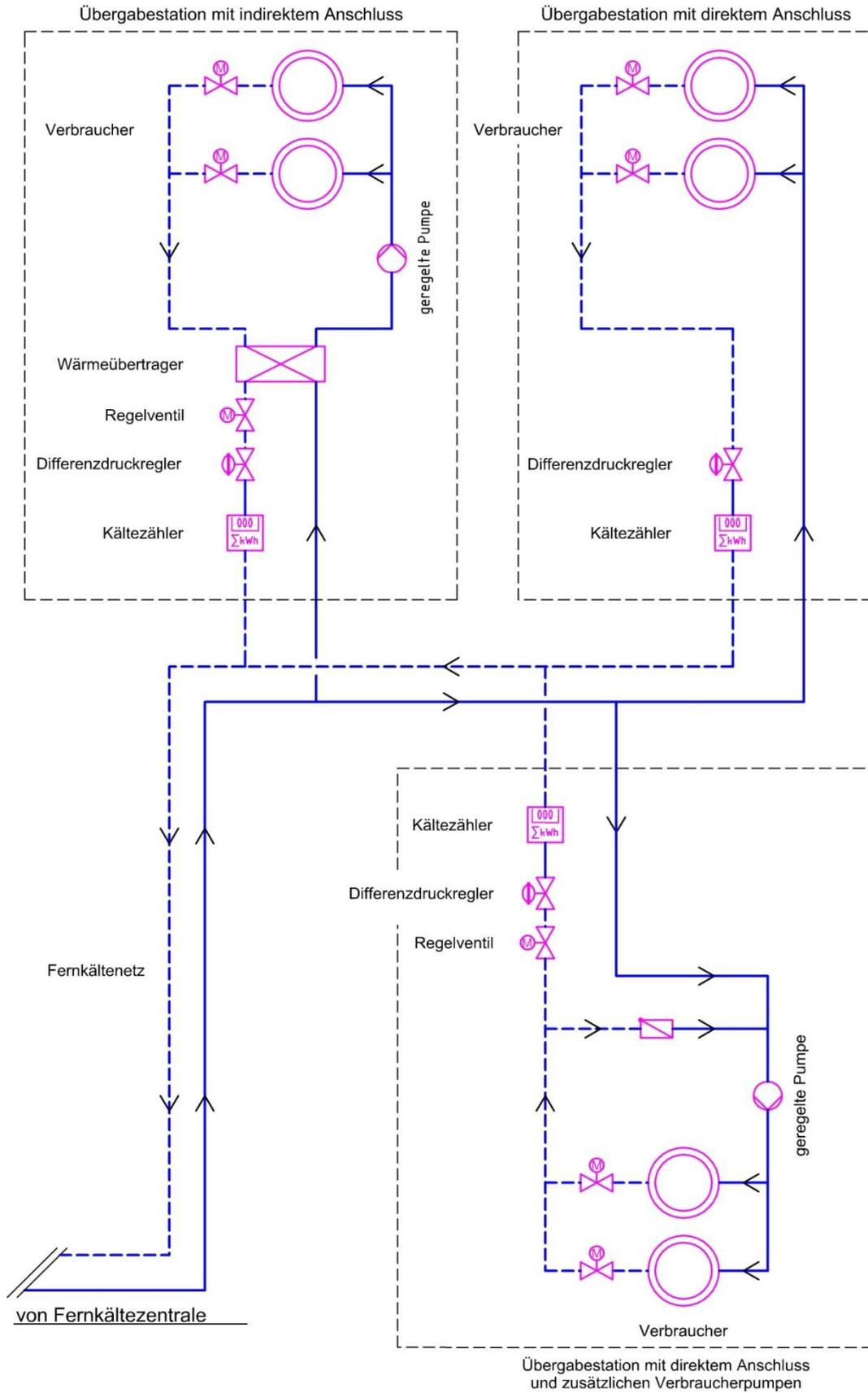


Abbildung 18, Fernkälteübergabestationen

6 Betrieb und Monitoring

6.1 Betreiberpflichten-/verantwortung

Die Komplexität von Kälteanlagen spiegelt sich auch in den verschiedenen Rechtsbereichen denen solche Anlagen unterliegen. Dabei hat die europäische Rechtssetzung mittels Richtlinien und Verordnungen im Zusammenwirken mit harmonisierten Normen unmittelbare Wirkung.

Diese beinhaltet eine strikte Trennung zwischen den Pflichten des Herstellers und des Betreibers einer Kälteanlage. Die Herstellung und das Inverkehrbringen sind im Geräte- und Produktsicherheitsrecht geregelt. Die Pflichten des Arbeitgebers (Betreibers) dagegen sind im Arbeitsschutzrecht behandelt mit Regelungen zur Betriebs- und Anlagensicherheit und zum Umgang mit Gefahrstoffen.

Ebenso ist Umweltrecht zu beachten bezüglich E- bzw. Immissionen in den Bereichen Boden, Luft und Wasser. Das Energieeinsparrecht stellt Anforderungen an den energieeffizienten Betrieb.

Grundsätzlich sind technische Arbeitsmittel und Anlagen und damit auch Kälteanlagen gemäß dem Stand der Technik zu betreiben und instand zu halten.

Es gilt die Betriebssicherheitsverordnung. Hinweise für Arbeitgeber („Betreiber“) siehe auch DIN EN 378-4 sowie VDMA 24020 Teil 1 – 3 und DGUV-R 100-500, Kapitel 2.35.

Für Altanlagen, die vor dem 29.05.2002 errichtet wurden, gilt die alte Unfallverhütungsvorschrift BGV D4 noch. Wiederholungsprüfungen an diesen Anlagen unterliegen aber der Betriebssicherheitsverordnung.

Weitere Grundsätze zum Betreiben siehe VDI 3810 Blatt 1 und VDI 3810 Blatt 1.1

6.1.1 Energetische Inspektion nach § 12 EnEV

Die Energieeinsparverordnung schreibt eine Inspektion von fest in Gebäuden installierten Klimaanlage mit einer Kälteleistung größer 12 kW unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz verbindlich vor. In Abhängigkeit vom Alter und der Größe ist durch fachkundige Personen die Prüfung der Anlagendimensionierung im Verhältnis zum Kühlbedarf durchzuführen und die energetische Qualität der Klimaanlage einschließlich der wesentlichen Hilfsenergieverbraucher (Rückkühlwerke, Pumpen) festzustellen. Empfehlungen zum Inspektionsumfang enthält DIN SPEC 15240 (bzw. prEN 16798-17). Im Ergebnis der Energetischen Inspektion sind durch den Inspekteur fachliche Hinweise für Maßnahmen zur kostengünstigen Verbesserung der energetischen Eigenschaften der Anlage und in speziellen Fällen auch für deren Austausch oder Alternativlösungen zu geben. Die Inspektion ist wiederkehrend im Zyklus von 10 Jahren durchzuführen und muss vom Betreiber der Klimaanlage beauftragt werden. Von der Inspektionspflicht ausgeschlossen sind kleine Klimaanlage mit einer Nennleistung <12 kW und Anlagen, deren Energieeinsatz ausschließlich der Aufrechterhaltung eines Produktions- oder Lagerprozesses dient (z.B. Rechenzentren ohne Bedienpersonal, Lebensmittellagerung).

Die Umsetzung der Inspektionspflicht liegt in der Verantwortung des Betreibers. Gemäß DIN SPEC 15240 können in Abhängigkeit der vorhandenen Anlagentechnik verschiedene Inspektionsstufen mit unterschiedlichem Inspektionsumfang beauftragt werden.

Stufe A: begrenzter Umfang für einfache Klimaanlage (z.B. Split- und Multisplit-Klimaanlagen, VRF-Klimaanlagen, kleinere Kaltwassersysteme ohne Außenluftaufbereitung)

Stufe B: normaler Umfang (z.B. RLT-Geräte mit Außenluftaufbereitung, große Kaltwassernetze)

Stufe C: optionale, zusätzliche Leistungen (z.B. Kühllastberechnung, Wirtschaftlichkeitsberechnung)

Die Beauftragung sollte in schriftlicher Form mit einem klar definierten Anlagenumfang und Festlegung der (bei mehreren Anlagen jeweiligen) Inspektionsstufe erfolgen. Zusätzliche Leistungen sollten getrennt angeboten und vergütet werden.

Im Ergebnis der Energetischen Inspektion ist ein Inspektionsbericht zu erstellen, der folgende Informationen enthalten muss:

- Allgemeine Angaben zum Objekt, Auftraggeber, Inspekteur
- Beurteilung des Gesamtsystems (DIN SPEC 15240, Tabelle 18)
- Übersichtsblätter je Komponente (DIN SPEC 15240 Anhang B)
- Hinweise zur Lastreduzierung und auffälligem Betriebsverhalten
- Fachliche Hinweise zu energetischen Verbesserungspotentialen, zum Austausch von Komponenten oder für Alternativlösungen
- Benennung von Handlungsempfehlungen

Der Inspektionsbericht muss vom Inspekteur unterschrieben und mit einer Registriernummer versehen an den Betreiber übergeben werden.

6.1.2 Betriebssicherheitsverordnung

Die Betriebssicherheitsverordnung findet Anwendung als Instrument des Arbeitsschutzes bei der Verwendung von Arbeitsmitteln durch Beschäftigte. Sie dient ebenso dem Schutz Dritter beim Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen.

Die aktuelle Ausgabe wurde konzeptionell und strukturell neu gestaltet. Doppelregelungen u.a. in der Gefahrstoffverordnung und im nationalen Wasserrecht wurden beseitigt, ebenso Angleichungen an modernisierte Rechtsmaterien wie beispielsweise Arbeitsschutzverordnungen durchgeführt.

Die Prüfung besonders gefährlicher Arbeitsmittel wurde aufgewertet und Konkretisiert. Materielle Anforderungen an den Brand- und Explosionsschutz sind nur noch im Gefahrstoffrecht geregelt. Das Explosionsschutzdokument wird Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung.

Die Betriebssicherheitsverordnung beschreibt Rahmenbedingungen für das Betreiben von neuen und bestehenden Kälteanlagen. Der zuständige Arbeitgeber muss nach den § 4 und 5 ArbSchG in Verbindung mit § 3 BetrSichV eine Gefährdungsbeurteilung an seinen kältetechnischen Anlagen vornehmen. Sie ist ein wesentliches Element des Arbeitsschutzmanagements. Beispielsweise kann das Ablaufschema der Bundesanstalt für Arbeitsschutz- und Arbeitsmedizin (BAuA) verwendet werden (www.baua.de – TRBS 1111).

Bei überwachungsbedürftigen Anlagen hat der Betreiber die Prüffristen der Gesamtanlage und der Anlagenteile auf der Grundlage einer sicherheitstechnischen Bewertung zu ermitteln.

Weitere Hilfen zur Anwendung der BetrSichV bieten die turnusmäßig aktualisierten Leitlinien zur Betriebssicherheitsverordnung des LASI (Länderausschuss zur Arbeitssicherheit).

6.2 Bedienen von Kälteanlagen

Die Bedienung von Kälteanlagen im täglichen Normalbetrieb beinhaltet im Wesentlichen die folgenden Handlungen:

- Ein- und Ausschalten der Anlagen (z. B. während der Nutzungs- bzw. Nichtnutzungszeit) entweder von Hand oder durch eine anlagenbezogene Bedieneinrichtung oder mit Hilfe eines Gebäudeautomationssystems
- Abschalten der Anlage im Notfall
- Einstellen von Schaltzeiten zum Ein- bzw. Ausschalten der Anlage entweder von Hand (Schaltuhr) oder durch eine anlagenbezogene Bedieneinrichtung oder mit Hilfe eines übergeordneten Gebäudeautomationssystems
- Schalten von Betriebsstufen (z. B. Zu- oder Abschaltung von Kältemaschinen)
- Einstellen von Sollwerten (z. B. Temperaturen) innerhalb einer vorgegebenen Bandbreite

Das Bedienungspersonal muss über eine geeignete Qualifikation verfügen (→ VDMA 24020-3: „Betreiberpersonal, das für Kälteanlagen zuständig ist, muss Kenntnisse und Erfahrungen hinsichtlich Wirkungsweise, Betrieb und täglicher Überwachung dieser Anlage haben“).

Die Taktzeiten der Kälteanlagen sind im Rahmen der seitens des Herstellers vorgegebenen Rahmenbedingungen auf das notwendige Maß zu beschränken. Durch Reduzierung der Betriebszeiten der Anlagen kann sowohl der Energieverbrauch, als auch der Wartungsaufwand gesenkt werden.

Auch bei weitgehend automatischer Regelung und Steuerung der Anlagen sollte seitens des Betriebspersonals geprüft werden, ob die eingestellten Schaltzeiten und Sollwerte noch aktuelle bzw. sinnvoll sind, oder ob Verbesserungen im Betriebsverhalten oder bei den Betriebskosten erzielbar sind. Anregungen für Verbesserungen (z. B. durch Nachrüstungen) sollten an die zuständigen Stellen weitergegeben werden. Dies gilt z. B. für Einbauten zur Reduzierung von Betriebszeiten oder für das Nachrüsten von Steuer- und Regeleinrichtungen (z. B. für Pumpen).

Im weitesten Sinne kann das Bedienen auch die regelmäßige Sicht- und Funktionskontrolle (z. B. im Rahmen eines täglichen Rundgangs) gehören, bei dem nach Kriterien für fehlerhalten Verhalten der Anlage wie Geräusche, Wasseraustritt, Störungsanzeigen gesucht sowie die Kontrolle bestimmter Anzeigeeinstrumente durchgeführt wird. Eine systematische Kontrolle ist unter dem Begriff Inspektion im folgenden Abschnitt beschrieben.

6.3 Monitoring

Monitoring, im Sinne von Erfassen, Beobachten und Dokumentieren, ist ein unverzichtbarer Bestandteil für eine optimierte Betriebsführung von Kälteanlagen und ein verbessertes Energiemanagement im Bereich der Kältetechnik.

Richtig geplant und umgesetzt kann Monitoring einen hohen Mehrwert und gute Synergien beispielsweise für die Erfüllung des Energiedienstleistungsgesetzes oder die Überprüfung von Planungs- und Ausführungsleistungen schaffen.

Im Interesse einer Betriebs-/Energieoptimierung wird ein Monitoring entsprechend der AMEV-Empfehlung Technisches Monitoring empfohlen, weitere Hinweise sind in VDI 6041 enthalten

6.4 Instandhaltung

Gemäß BetrSichV ist der Betreiber einer Kälteanlage verpflichtet, die Anlage in einem betriebssicheren Zustand zu erhalten. Dazu sind gem. DIN 31051 neben der Inspektion und Wartung auch notwendige Instandsetzungen sowie ggf. erforderliche Verbesserungen zur Steigerung der Funktionssicherheit an der Anlage durchzuführen.

Die notwendigen Tätigkeiten legt das Instandhaltungsunternehmen auf der Grundlage der von ihm durchzuführenden systematischen Instandhaltungs-kontrollen unter Berücksichtigung der vom Errichter neuer Kälteanlagen zu erstellenden Instandhaltungsanweisung fest. Auch für bestehende Anlagen werden die notwendigen Tätigkeiten vom Instandhaltungsunternehmen unter Berücksichtigung vorhandener Instandhaltungsanweisungen festgelegt. Wartung, Inspektion und Instandsetzung an kältetechnischen Anlagen dürfen nur von sachkundigem Personal vorgenommen werden (Fachbetrieb nach § 19 WHG, befähigte Person nach BetrSichV). Die erforderlichen Kenntnisse vermitteln dafür geeignete Fortbildungsinstitute, wie z. B. Überwachungsgemeinschaft Kälte- und Klimatechnik e.V., Kaiser-Friedrich-Straße 7, 53113 Bonn und Qualitätssiegel Kältemittelentsorgung e.V., Wilhelm-Busch-Str. 18, 30167 Hannover. Arbeiten, die der Mithilfe fachfremden Personals bedürfen (Schweißer, Elektriker, Regelungstechniker usw.) sind nur unter Aufsicht des Sachkundigen durchzuführen, um Unfälle oder Emissionen, die im Zusammenhang mit Kälteanlagen auftreten können, zu vermeiden.

Bei der Beurteilung eines Angebotes für Neuanlagen soll immer die Höhe der zu erwartenden Folgekosten einbezogen werden. Alle Neuanlagen sind abschnittsweise mit ausreichend Absaug- oder Verlagerungsmöglichkeit für den Kältemittelinhalt auszustatten.

6.4.1 Unterlagen für den Betrieb von Kälteanlagen

Zu jeder Anlage muss die Dokumentation des Anlagenerrichters (vgl. VDI 6026) verfügbar sein. Hierzu zählen insbesondere

- Bestandszeichnungen
- Aufstellungs- und Installationspläne
- Anlagenschemata (Schaltschemata)
- Funktionsbeschreibungen der Anlage
- Betriebsanleitungen
- Technische Daten der wesentlichen Anlagenteile (z. B. Pumpen, Wärmetauscher)
- Elektrische Schaltpläne, Regelschemata
- Messprotokolle (zu den während der Einregulierung durchgeführten Messungen)
- Soll-Werte (Übersicht, Liste)
- Wartungspläne
- Inspektionspläne
- Instandsetzungsanleitungen
- Ersatzteillisten

Die Unterlagen müssen entweder direkt vor Ort bei den Anlagen und/oder an zentraler Stelle verfügbar sein (elektronisch z. B. in einem für die Betroffenen zugänglichen strukturierten Verzeichnis). Gebäudeautomations- und insbesondere CAFM- und Dokumentenmanagementsysteme können hierzu genutzt werden.

6.4.2 Inspektion

Gemäß DIN 31051 beinhaltet die Inspektion die „Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes“ einer Betrachtungseinheit – in diesem Falle einer Kälteanlage – einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung. In der Praxis wird die Maßnahme anhand eines Planes zur Inspektion der Anlage durchgeführt. Dieser Plan erhält Angaben über Ort, Termin, Methode, Gerät sowie die einzelnen Inspektionsmaßnahmen.

Bei vielen Kälteanlagen ist die Inspektion schon aus Sicherheitsgründen aufgrund der verwendeten z. T. toxischen und umweltschädlichen Kältemittel erforderlich. Dichtheitsprüfungen sind dort mindestens einmal jährlich durchzuführen und zu dokumentieren.

Ein ordnungsgemäßer und an den Nutzungszeiten orientierter Betrieb ist die Voraussetzung für Wirtschaftlichkeit und geringen Energieverbrauch. Insbesondere die bedarfsabhängige Abschaltung bzw. das Herunterfahren der Anlage bzw. von Anlagenteilen und die Nutzung der vorhandenen Betriebsprogramme zur Optimierung sind hierzu notwendig.

Der ordnungsgemäße Betrieb der Anlage lässt sich mit Hilfe eines Soll-/Ist-Wertvergleichs der wichtigen Parameter erkennen. Hierzu sind die erforderlichen Informationen z. B. in tabellarischer Form aufzulisten und die entsprechenden Instrumente bzw. Orte zur Ablesung der Daten (an der Anlage oder in Gebäudeautomationssystemen) zu kennzeichnen und zu beschreiben. Insbesondere wenn kein speziell qualifiziertes Personal zur Verfügung steht, sind entsprechende Erläuterungen notwendig.

Ein Inspektionsgang (einfach, z. B. 14-tägig bis monatlich) kann neben der Sichtprüfung und der Prüfung der wichtigsten Anlagenparameter (Vor- und Rücklauftemperaturen, Betriebsdruck, Leistungsaufnahme auch die Durchführung vorgegebener Diagnoseprogramme beinhalten.

Wichtig ist auch, dass die von der Herstellerfirma vorgenommene Einstellung der Mess-, Steuer- und Regelgeräte vom Bedienungspersonal durch regelmäßige Kontrollen überwacht wird. Insbesondere können Nutzungsänderungen eine Neueinstellung erforderlich machen.

Das Bedienungspersonal soll in Abstimmung mit der zuständigen Dienststelle (z. B. Bauamt oder Betriebsüberwachung) Betriebsaufzeichnungen regelmäßig und vollständig anfertigen. Die Ergebnisse von Kontrollmessungen sind in einem Betriebsbuch zu protokollieren. Betriebsaufzeichnungen ermöglichen es, Abweichungen vom Soll-Betrieb zu erkennen bzw. Störungen und besondere Vorkommnisse im Nachhinein auszuwerten. Sind Anlagen mit Betriebsstundenzählern ausgerüstet, so sollen deren Zählerstände in regelmäßigen Abständen abgelesen und protokolliert werden.

Eine Besonderheit stellt die „Energetische Inspektion“ nach § 12 EnEV dar. Dabei handelt es sich nicht um eine Instandhaltungsmaßnahme, sondern um eine Maßnahme im Rahmen der Energieeinsparverordnung (vgl. Abschnitt 6.1.1).

6.4.3 Wartung

Wartungsaufgaben werden in der Regel von der hausverwaltenden Dienststelle bzw. dem Eigentümer beauftragt. Sie können mit eigenem Personal (mit entsprechender Qualifikation und Sachkenntnis), vom Produkthersteller selbst oder von Dritten vorgenommen werden. Ein wichtiger Verantwortungsbereich des Bedienungspersonals besteht darin, darauf zu achten, dass die notwendigen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten entsprechend den Vorgaben durchgeführt werden. Bei der Vergabe soll das aktuelle AMEV-Vertragsmuster verwendet werden.

Empfohlen wird das Anlegen von Arbeitskarten für jede Anlage, die auf die spezifischen Belange des jeweiligen Betriebes abgestellt sind. Die Arbeitskarten werden nach den gültigen Betriebsanleitungen oder nach den AMEV-Vertragsmustern angefertigt, die spätestens zur Inbetriebnahme vorliegen müssen. Dort werden durchgeführte Wartungen mit Datum wie Ölwechsel bei Verdichtern, Kältemittelstand prüfen, Lagerwechsel, oder umfassende Reinigungen sowie umfangreichere Arbeiten gesondert eingetragen. Hinweise hierzu sind in der AMEV-Empfehlung „Wartung“ enthalten.

Die Arbeiten von Wartungsfirmen sind zu überwachen.

6.4.4 Instandsetzung

Aufgaben zur Instandsetzung von Kälteanlagen dürfen nur von entsprechend qualifiziertem Personal ausgeführt werden. Üblicherweise werden hierzu Fachfirmen beauftragt.

Zur Instandhaltung einer Kälteanlage gehören neben Systemveränderungen auch Sanierungsmaßnahmen. Eine Sanierung wird erforderlich, wenn durch technische Neuerungen die Energie- bzw. Medienverbräuche eine deutlich bessere Wirtschaftlichkeit und geringe Umweltbelastungen erwarten lassen. Hierzu sind z. B. die Anwendung von Kältespeichern, verbesserte elektronische Regelanlagen, geringere Kühlwasserverbräuche sowie das Verwenden von umweltfreundlichen Kältemitteln zu untersuchen.

Soweit auch Arbeiten mit Wärmeeinwirkungen oder ähnliche gravierende Eingriffe vorgenommen werden, sind die Anlagen gemäß Anhang 5 BetrSichV auf Festigkeit zu prüfen und es ist eine innere Prüfung vorzunehmen.

7 Anhänge:

7.1 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

| | |
|--|----|
| Abbildung 1, „linkslaufender“ Carnot-Prozess..... | 5 |
| Abbildung 2, Prinzipdarstellung Kompressionskältemaschine | 8 |
| Abbildung 3, Verdichterbauformen mit Leistungsbereichen..... | 10 |
| Abbildung 4, Schema einer Splitanlage | 12 |
| Abbildung 5, Prinzipschaltbild einer Ammoniak/Wasser Absorptionskältemaschine | 15 |
| Abbildung 6, Prinzipdarstellung einer Adsorptionskältemaschine | 15 |
| Abbildung 7, Einordnung der Rückkühler..... | 23 |
| Abbildung 8, Einfluss der Systemtemperaturen auf die Leistungszahl einer Kältemaschine im Bereich der Komfortanwendung (Carnot-Umrechnung) .. | 30 |
| Abbildung 9, mögliche Ablaufschritte bei der Planung einer kältetechnischen Anlage | 31 |
| Abbildung 10, Schema für „Freien Kühlbetrieb“ mit Rückkühlwerk | 42 |
| Abbildung 11, Schema „Freier Kühlbetrieb“ mit Rückkühlwerk, Frostschutz durch Systemtrennung mit Glykol- und Wasserkreis, Erzeugerkreis ist vom Verbraucherkreis hydraulisch entkoppelt..... | 43 |
| Abbildung 12, wie Abbildung 11, jedoch erfolgt hier die Umschaltung über die Umwälzpumpen..... | 43 |
| Abbildung 13, Schema „Freier Kühlbetrieb“ mit luftgekühltem Kaltwassersatz, Frostschutz durch Systemtrennung mit Glykol- und Wasserkreis..... | 44 |
| Abbildung 14, Schema „Freier Kühlbetrieb“ nach dem Thermosyphon-Prinzip | 45 |
| Abbildung 15, Wärmerückgewinnung | 47 |
| Abbildung 16, Wärmerückgewinnung mit zusätzlichem Verflüssiger und Einbindung eines Heizkessels..... | 47 |
| Abbildung 17, Fernkältezentrale | 50 |
| Abbildung 18, Fernkälteübergabestationen | 51 |

Tabellen

| | |
|--|----|
| Tabelle 1, Ersatzkältemittel Drop-In (Beispiele) | 19 |
| Tabelle 2, Ersatzkältemittel Umbau (Beispiele) | 20 |
| Tabelle 3, Ersatzkältemittel Neuanlage (Beispiele)..... | 20 |
| Tabelle 4, Natürliche Kältemittel | 21 |
| Tabelle 5, Mindestwert des primärenergetischen Raumkühlungs- Jahresnutzungsgrades ($\eta_{s,c}$) für Komfort-Wasserkühler mit Elektromotor nach EU 2016/2281 | 29 |
| Tabelle 6, Mindestwert der Jahresarbeitszahl (SEPR) für Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur nach EU 2016/2281 | 29 |
| Tabelle 7, Mindestwert der Jahresarbeitszahl (JAZ) für Prozesskühler nach EU 2015/1095 | 29 |
| Tabelle 8, Vor- und Nachteile von Einzelreglern und Automationsstationen..... | 36 |
| Tabelle 9, maximale Füllmenge an Kältemittel in Abhängigkeit vom Aufstellort | 39 |

7.2 Begriffe und Definitionen

| | |
|-------------------------------|--|
| EER | E nergy e fficiency r atio - Leistungszahl der Kältemaschine, Kälteleistung bezogen auf die eingesetzte elektrische Leistung des Kältemittelverdichters |
| SEER ESEER | S easonal E ER E uropean S easonal E ER- Jahresleistungszahl der Kältemaschine, saisonale Energieeffizienz von Flüssigkeitskühlsätzen zur Komfortkühlung - saisonale Profile von Kühlbedarf und Außentemperatur |
| SEPR | S easonal E nergy P erformance R atio saisonale Energieeffizienz von Flüssigkeitskühlsätzen zur industriellen Prozesskühlung - saisonale Profile von Kühlbedarf und Außentemperatur |
| GLZ | Gesamtleistungszahl kombinierter Kältemaschinen - Wärmepumpen, Heiz- und Kälteleistung bezogen auf die eingesetzte elektrische Leistung |
| GWP-Wert | G lobal W arming P otential - relatives direktes Treibhauspotenzial eines Stoffes bezogen auf das Treibhauspotenzial von Kohlendioxid (CO ₂) an, dessen Wert mit 1,0 definiert wurde |
| ODP-Wert | O zon D epletion P otential - relatives Ozonabbaupotential eines Stoffes bezogen auf das (hohe) Ozonabbaupotential des FCKW Trichlorfluormethan (R 11), dessen Wert mit 1,0 definiert wurde |
| TEWI-Zahl | T otal E quivalent W arming I mpact - Kennzahl für das Treibhaus-potential unter Einbeziehung des direkten Erwärmungsbeitrages durch entweichendes Kältemittel (GWP) und des indirekten Beitrages durch den Energiebedarf für den Antrieb des Kälteerzeugers während der Nutzungsdauer |
| CO ₂ Äquivalent | Steigerung des Treibhauseffekts durch entweichendes Kältemittel bezogen zu der bei der Verbrennung entstehenden Menge an CO ₂ als Äquivalent, entspricht dem GWP-Wert |
| Phase-down-Szenario | Die EU-Verordnung 517/ 2014 (F-Gase-Verordnung) sieht eine schrittweise Reduktion der CO ₂ -Äquivalente – das sogenannte Phase-down – in Form von teilhalogenierten fluorierten Treibhausgasen (H-FKW) bis zum Jahr 2030 um 79 Prozent vor, die in der EU in Verkehr gebracht werden dürfen. |

7.3 Zusammenstellung der wichtigsten Vorschriften und Regelwerke

Bei Planung, Ausführung sowie Herstellung und Betrieb von Kältetechnischen Anlagen sind neben den Gesetzen und Verordnungen der Bundesländer insbesondere zu beachten:

EU-Verordnungen

- EU 517/2014 (F-Gase-Verordnung): Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006
- EU 2015/1095: Verordnung (EU) 2015/1095 der Kommission vom 5. Mai 2015 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von gewerblichen Kühltankschränken, Schnellkühlern/-froster, Verflüssigungssätzen und Prozesskühlern
- EU 2016/2281: Verordnung (EU) 2016/2281 der Kommission vom 30. November 2016 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte im Hinblick auf Luftheizungsprodukte, Kühlungsprodukte, Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur und Gebläsekonvektoren (Text von Bedeutung für den EWR) C/2016/7769
- 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie): Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)Ökodesign-Richtlinie
- 2009/125/EG (Ökodesign-Richtlinie): RICHTLINIE 2009/125/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte

Gesetze, Verordnungen des Bundes

- Gesetz über die Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz WHG), Verwaltungsvorschrift (Wassergefährdungsklassen - VwVwS), Verordnungen der Länder (Anlagenverordnung – VawS)
- Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)
- Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
- Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)
- Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)
- Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSGV) einschließlich Verordnungen
- Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung – FCKWHalonVerbV)

- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)
- 42. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verdunstungskühlanlagen und Nassabscheider (VerdunstKühlV) – 42. BImSchV)

Berufsgenossenschaftliche Vorschriften und Regeln

- DGUV-Regel 100–500 Kap. 2.35 Betreiben von Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen

Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)

- TRBS 1111, Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung

Normen

- DIN 276-1, Ausgabe 2008-12
Kosten im Hochbau
- DIN EN 378, Ausgabe 2017-03
Kälteanlagen und Wärmepumpen - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Definitionen, Klassifikationen und Auswahlkriterien
Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation
Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen
Teil 4, Ausgabe 2012-08: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung
- DIN 2405
Rohrleitungen in Kälteanlagen und Kühleinrichtungen – Kennzeichnung
- DIN 4108-2, Ausgabe 2013-02
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 8960, Ausgabe 1998-11
Kältemittel – Anforderungen und Kurzzeichen
- DIN EN 12735, Ausgabe 2010-12
Kupfer und Kupferlegierungen – Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für die Kälte- und Klimatechnik
Teil 1: Rohre für Leitungssysteme
- DIN EN 14511-2, Ausgabe:2013-12
Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für Raumheizung und Kühlung
Teil 2: Prüfbedingungen
- DIN SPEC 15240, Ausgabe 2013-10
Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Energetische Inspektion von Klimaanlageanlagen
- DIN EN 16798-17, Entwurf
Energieeffizienz von Gebäuden
Teil 9 (2015-01, prEN 16798-9:2014): Lüftung von Gebäuden – Modul M4-1 –

- Berechnungsmethoden für energetische Anforderungen von Kühlsystemen –
Allgemeine Anforderungen
Teil 10 (CEN/TR 16798-10): Lüftung von Gebäuden – Modul 4-1 –
Berechnungsmethoden für energetische Anforderungen von Kühlsystemen - Allgemeine
Festlegungen – Technischer Report zur Interpretation der Festlegungen in EN 16798-9
Teil 11 (2015-06, prEN 16798-11:2015): Modul M4-3 – Berechnung der Norm-Kühllast
Teil 12 (CEN/TR 16798-12): Modul M4-3 – Berechnung der Norm-Kühllast; Technischer
Report zur Interpretation der Festlegungen in DIN EN 16798-11
Teil 13 (2015-01, prEN 16798-13:2014): Module M4-8 – Berechnungsmethoden für
Kälteanlagen
Teil 14 (CEN/TR 16798-14: 2016-11): Modul M4-8 - Berechnung von Kühlsystemen -
Erzeugung - Technischer Report zur Interpretation der Anforderungen in EN 16798-13
Teil 15 (2015-01, prEN 16798-15:2015-01): Modul M4-7 - Berechnungsmethoden für
den Energiebedarf von Kälteanlagen - Speicherung – Allgemeines
- DIN EN 16798-17 (Entwurf, prEN 16798-17:2014)
Energieeffizienz von Gebäuden
Teil 17: Lüftung von Gebäuden – Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11 – Leitlinien für
die Inspektion von Lüftungsanlagen
 - DIN 18379, Ausgabe 2016-09
VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische
Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Raumluftechnische Anlagen
 - DIN 31051, Ausgabe 2012-09
Grundlagen der Instandhaltung
 - DIN 51503-1, Ausgabe 2011-1
Schmierstoffe – Kältemaschinenöle
Teil 1: Mindestanforderungen

VDMA-Einheitsblätter, VDI-Richtlinien

- VDMA 24020
Betriebliche Anforderungen an Kälteanlagen
Teil 1 (Ausgabe 2008-11): Ammoniak-Kälteanlagen
Teil 2 (Ausgabe 2008-11): Kälteanlagen mit nicht brennbaren Kältemitteln
(Sicherheitsgruppe A1 gemäß EN 378)
Teil 3 (Ausgabe 2013-04): Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln der
Sicherheitsgruppe A3 gemäß DIN EN 378
Teil 4 (Ausgabe 2011-6): Kälteanlagen mit Kohlenstoffdioxid (CO₂ – R744)
Teil 5 (Ausgabe 2013-11): Kälteanlagen mit Kältemitteln geringerer Brennbarkeit
(Sicherheitsgruppe A2 gemäß DIN EN 378)
- VDI 2047 Blatt 2:2015-01 Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von
Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln)
- VDI 2067 Blatt 1:2012-09 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen
und Kostenberechnung
- VDI 2078:2015-06 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen
(Auslegung Kühllast und Jahressimulation)
- VDI 3810 Blatt 1:2012-05 Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen
Anlagen – Grundlagen

- VDI 3810 Blatt 1.1:2014-09 Betreiben und Instandhalten von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen – Grundlagen – Betreiberverantwortung
- VDI 3814 Blatt 1:2009-11 Gebäudeautomation (GA) - Systemgrundlagen
- VDI 3814 Blatt 6:2008-07 Gebäudeautomation (GA) - Grafische Darstellung von Steuerungsaufgaben
- VDI 4710 Blatt 3:2011-03 Meteorologische Grundlagen für die technische Gebäudeausrüstung – t,x-Korrelationen der Jahre 1991 bis 2005 für 15 Klimazonen in Deutschland
- VDI 6026 Blatt 1:2008-05 Dokumentation in der Technischen Gebäudeausrüstung – Inhalte und Beschaffenheit von Planungs-, Ausführungs- und Revisionsunterlagen
- VDI 6026 Blatt 1.1:2015-04 Dokumentation in der technischen Gebäudeausrüstung - Inhalte und Beschaffenheit von Planungs-, Ausführungs- und Revisionsunterlagen – FM-spezifische Anforderungen an die Dokumentation
- VDI 6041:2015-04 Facility-Management – Technisches Monitoring von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen

Bezugsquellen Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

- EU-Verordnungen: https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts_de
- Gesetze und Verordnungen des Bundes: <https://www.gesetze-im-internet.de/>
- Berufsgenossenschaftliche Vorschriften und Regeln, Unfallverhütungsvorschriften: <http://www.dguv.de>
- Technische Regeln für Betriebssicherheit: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBS/TRBS.html>
- Normen und Technische Regeln: Deutsche Informationszentrum für Technische Regeln (DITR) <http://www.beuth.de/de/normenverwaltung/datenservice> sowie <http://www.din.de> <https://www.vdi.de/technik/richtlinien/> <http://www.vdma.org/>

7.4 Mitarbeiter

| | |
|----------------------------|--|
| Lutz Grunicke (Obmann) | Brandenburgischer Landesbetrieb für Liegenschaften und Bauen (BLB) |
| Peter Caratiola | Hessisches Ministerium der Finanzen |
| Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke | Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH |
| Otmar Gerhard | Staatliches Bauamt Schweinfurt |
| Thomas Köberle | Hochschule Biberach, Institut für Gebäude- und Energiesysteme |
| Frank Leuteritz | Hochbauamt Dessau; Dessau |
| Ralf-Dieter Person | HIS-Institut für Hochschulentwicklung e. V. Hannover |
| Günter Reiter | Amt für Bau und Liegenschaften Saarland |
| Horst Schüssler | Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz |
| Martin Tischer | Brandenburgischer Landesbetrieb für Liegenschaften und Bauen (BLB) |