

## 1.2 Kälte

Abhängig vom geforderten Temperaturniveau, dem notwendigen Kälte-träger und der Anwendung stehen unterschiedliche Lösungen zur Verfügung. Einsatz finden die Geräte bei geplanten Revisionen oder Austausch des Bestands, bei Störung oder Reparatur der Kälteinstallation oder bei Produktionserweiterung sowie bei Events. Um eine schnelle und problemlose Einbindung in den Bestand umsetzen zu können, sollten folgende bauseitigen Anforderungen erfüllt sein. Hier macht es Sinn, diese bereits im Vorfeld zu realisieren oder einen Notfallplan entwickelt zu haben, um bei Ausfall eine zeitnahe Umsetzung realisieren zu können.

### Hydraulischer Anschluss und Einbindung

Ein Großteil der Geräte wird außerhalb des Gebäudes aufgestellt, die Abnehmer befinden sich aber im Gebäudeinneren. Somit ist eine Durchdringung der Gebäudehülle notwendig. Hier wird empfohlen, bereits eine hydraulische Einspeisung im Rohrbestand am Verteiler oder Pufferspeicher vorzusehen. Abhängig von der Kälte- bzw. Rückkühlleistung sind Flansche für die provisorische Einspeisung vorzuhalten. Diese sind als Festverrohrung bis zu einem Außenpunkt zu verlegen. Absperrklappen im Innenbereich sind zu montieren, damit die Rohrleitung drucklos und frostfrei gehalten wird.

Da Verbraucher oft mit einer Temperatur von 6 °C Vorlauf versorgt werden, sind die Leitungen mit einer Kälteisolierung zu ummanteln, um Kondensatwasserausfall durch Taupunktunterschreitung zu vermeiden. Bei Kühltürmen und Rückkühlern wird meist ein höheres Temperaturniveau gefahren, sodass mit einer Taupunktunterschreitung nicht zu rechnen ist. Eine Ausnahme kann hier der Free-Cooling-Betrieb darstellen.

### Aufstellposition

Die Position ist so zu wählen, dass bei Anlieferung und Abholung das Be- und Entladen durch Stapler oder Kran möglich ist. Die Aufstellung hat waagrecht auf ausreichend befestigtem Untergrund zu erfolgen. Ausreichend Abstand von Gebäuden und Dächern gemäß Herstellerangaben ist zu gewährleisten, sonst kann bei Kältemaschinen eine Hochdruckstörung aufgrund von Luftbypass oder zu geringer Kondensatorluft die Folge sein.

Die provisorische Einspeisung zum Gebäude ist so kurz wie möglich auszuführen. Können sich unbefugte Personen dem Aggregat nähern, ist eine hermetische Umbauung mit Bauzäunen empfohlen. Da Kaltwassersätze Öl und gegebenenfalls Glykole enthalten, sind mit den örtlichen Behörden Vorkehrungen für den Havariefall zu prüfen (z. B. Öl- und Glykolprotektoren).



# THE CHILLER

**SPEZIALIST FÜR WÄRMEPUMPEN**

**Telefon: +49 (0) 8178 99 750 42 E-Mail: [info@the-chiller.de](mailto:info@the-chiller.de)**



**[www.the-chiller.de](http://www.the-chiller.de)**

#### Schallimmissionen

Die Position ist zu so wählen, dass abhängig vom im Bebauungsplan angegebenen Gebiet (z. B. Industriegebiet, Gewerbegebiet) die Immissionsrichtwerte am Tag und in der Nacht eingehalten werden. Die Hauptschallquellen bei luftgekühlten Kaltwassersätzen sind die Ventilatoren, die Verdichter und Kältemittelströmungsgeräusche. Verdichter und Rohrleitung können hermetisch gekapselt werden. Bei den Ventilatoren wird eine Schallreduzierung über geringere Drehzahl und größere Wärmetauscherflächen erreicht.

Bei Rückkühlern gehen die Schallimmissionen allein vom Ventilator aus. Bei Kühltürmen kann das Auftreffen des herabrieselnden Wassers auf der Wasseroberfläche in der Sammelwanne eine weitere Geräuschquelle darstellen. Schwimmende Matten oder Wabeneinsätzen schaffen hier Abhilfe.

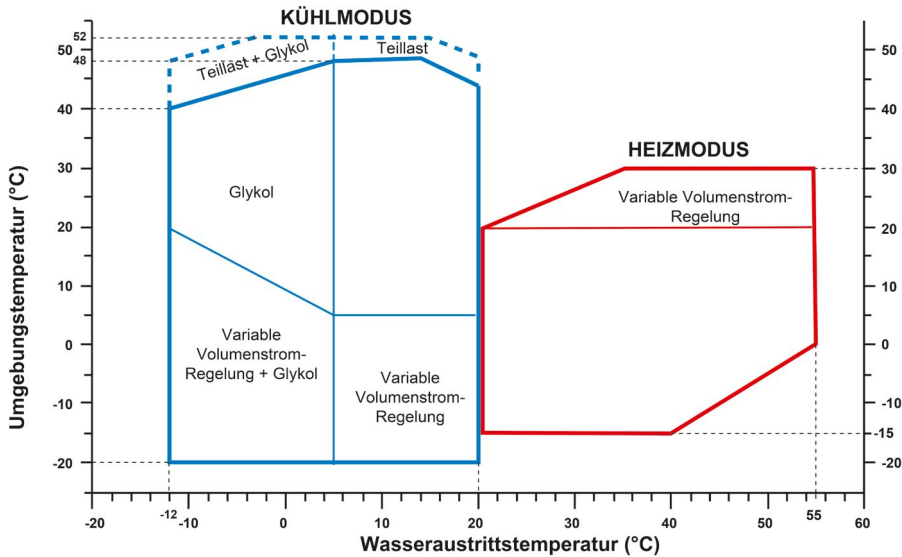
#### Elektrische Leistung und Anschluss

Abhängig von der Effizienzausführung und den Betriebsbedingungen ergibt sich der EER-Wert einer Kältemaschine. Dieser ist der Quotient aus Kälteleistung und elektrischer Leistung. Bei Klimabedingungen von 12/7 °C bis 35 °C kann bei luftgekühlten Kaltwassersätzen ein EER von 2,5 bis 3 inklusive Pumpenleistung Ansatz finden. Bei einem Kaltwassersatz mit 500 kW Kälteleistung müssen demnach 166 bis 200 kW elektrische Anschlussleistung zur Verfügung gestellt werden. Genaue Daten sind dem jeweiligen Herstellerdatenblatt zu entnehmen. Anschlusskabel sind flexibel auszuführen, um ein Auflegen zu erleichtern und eine Entkopplung zum Bauwerk herzustellen – bis 125 A über CEE-Stecker als Standard, darüber hinaus über Aderendhülsen oder Kabelschuhe.

#### Betriebsbereiche

Luftgekühlte Kaltwassersätze erreichen – abhängig von Hersteller, Kältemittel und Umgebungstemperatur – Vorlauftemperaturen bis ca. –15 °C. Im Vergleich zu den Betriebskonditionen 12/7 °C erbringt der Kaltwassersatz dann nur noch 50 % der Kälteleistung. Bei der maximalen Vorlauftemperatur liegt die Grenze etwa bei 20 °C, darüber kann es zu Problemen mit der Motorkühlung und/oder der Heißgastemperatur kommen. Die Betriebsgrenzen sind herstellertypisch zu überprüfen. Betrieb an den Grenzen kann bedeuten, dass bestimmte Optionen (Drehzahlregelung, elektronisches Expansionsventil) verbaut sein müssen. Wird z. B. die minimale Vorlauftemperatur erreicht, hat dies eine Limitierung auf der Verflüssigerseite zur Folge. **Bild III-16** gibt eine grobe Übersicht der möglichen Bereiche.

Werden Rückkühler mit hohen Kühlwassertemperaturen (> 70 °C) beaufschlagt, wie dies z. B. bei BHKW-Anwendungen möglich ist, so wird empfohlen, die Ven-



**Bild III-16:** Beispielhafter Betriebsbereich einer Luft-Wasser- Kältemaschine/Wärmepumpe mit Scrollverdichtern und dem Kältemittel R32 (Quelle: Lennox Deutschland)

tilatoren drückend statt saugend anzuordnen. Dadurch wird vermieden, dass die Motoren dem heißen Luftstrom ausgesetzt werden.

### 1.2.1 Kompressionswasserkühlsätze

Kompressionswasserkühlsätze können Anhand der Rückkühlung in luftgekühlte oder wassergekühlte unterschieden werden. Bei Mietanwendungen kommen aufgrund der einfacheren Installation vor dem Gebäude oder auf dem Dach hauptsächlich luftgekühlte Kaltwassersätze zum Einsatz. **Tabelle III-6** gibt eine allgemeine

**Tabelle III-6:** Typischer Leistungsbereich verschiedener luft- und wassergekühlter Kaltwassersätze in Abhängigkeit der Verdichterbauart

	Scroll- verdichter	Hubkolben- verdichter	Schrauben- verdichter	Turboverdichter, magnetgelagert	Turbo- verdichter
<b>wassergekühlt</b>					
$Q_o$ in kW	5–1.000	50–1.400	100–2.500	250–4.500	1.000–13.000
Prinzip	Verdrängung	Verdrängung	Verdrängung	Strömung	Strömung
<b>luftgekühlt</b>					
$Q_o$ in kW	5–1.000	50–1.400	100–1.800	200–1.600	—
Prinzip	Verdrängung	Verdrängung	Verdrängung	Strömung	Strömung

Auskunft unter Einteilung der typischen Leistungsbereiche und Verdichterbauart sowie entsprechend des Verdichtungsprinzips verfügbarer Kaltwassersätze.

**Wassergekühlte Einheiten** können Einsatz finden, wenn folgende Anforderungen bzw. Voraussetzungen erfüllt werden:

#### **Langer Mietzeitraum**

Der wassergekühlte Kaltwassersatz soll ersetzt werden, die gesamte Peripherie (hydraulische Einbindung, Rückkühlwerke) kann weiter genutzt werden.

#### **Große Kälteleistung notwendig**

Bei Innenaufstellung sind unbedingt die Vorgaben der DIN EN 378-1 [39] einzuhalten. Unter Punkt 5.1 sind verschiedene Zugangsbereiche unter Berücksichtigung der Sicherheit der Personen kategorisiert, die bei Betriebsstörung der Kälteanlage direkt beeinträchtigt werden können. Hier werden die Kategorien a, b und c genannt. Sind mehrere Kategorien für einen bestimmten Anwendungsfall möglich, gilt die strengere Anforderung.

##### ***a) Allgemeiner Zugangsbereich***

Hiermit sind Räume, Gebäudeteile und Gebäude gemeint, in denen Schlafvorrichtungen vorhanden, Personen in ihrer Bewegung eingeschränkt und in unkontrollierter Anzahl anzutreffen sind. Jede Person bekommt Zutritt, ohne persönlich mit den erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen vertraut zu sein (z. B. Krankenhäuser, Supermärkte, Schulen, Restaurants).

##### ***b) Überwachter Zugangsbereich***

Hiermit sind Räume, Gebäudeteile und Gebäude gemeint, in denen sich nur eine begrenzte Anzahl von Personen aufhalten darf, jedoch müssen einige mit den allgemeinen Sicherheitsvorkehrungen der Einrichtung vertraut sein (z. B. Büro- oder Geschäftsräume, Laboratorien).

##### ***c) Zugangsbereich, zu dem nur befugte Personen Zutritt haben***

Hiermit sind Räume, Gebäudeteile und Gebäude gemeint in denen Materialien oder Güter hergestellt, verarbeitet oder gelagert werden und zu denen nur befugte Personen Zutritt haben. Diese müssen mit den allgemeinen und besonderen Sicherheitsvorkehrungen der Einrichtung vertraut sein (z. B. Produktionseinrichtungen für Chemikalien, Nahrungsmittel, Schlachthöfe, nicht öffentliche Bereiche in Supermärkten).

Laut DIN EN 378-1 [39] sind unter Punkt 5.3 die Aufstellorte von Kälteanlagen in vier Klassen (I bis IV) unterteilt. Bei der Wahl des geeigneten Aufstellortes sind mögliche Gefährdungen zu berücksichtigen.

- ▶ Klasse IV – Belüftetes Gehäuse
- ▶ Klasse III – Maschinenraum oder im Freien
- ▶ Klasse II – Verdichter im Maschinenraum oder im Freien
- ▶ Klasse I – Mechanische Geräte im Personen-Aufenthaltsbereich.

Nachfolgend wird nur auf Klasse III tiefer eingegangen:

Der Maschinenraum muss die Anforderungen nach DIN EN 378-3 [45] Punkt 5 erfüllen. Hier werden unter anderem Zugang, Belüftung, offene Flammen, Lagerung, Beleuchtung und Not-Fernabschaltung geregelt. Unter Punkt 5.13.4 wird der erforderliche Mindestluftstrom für die mechanische Lüftung wie folgt definiert:

$$\dot{V} = 0,014 \cdot m^{2/3} \quad (32)$$

$\dot{V}$  Luftdurchsatz in  $m^3/s$

$m$  Masse der Kältemittelfüllmenge in kg in der Kälteanlage mit der größten Füllmenge, die sich mit irgendeinem Teil im Maschinenraum befindet

0,014 ein Umrechnungsfaktor mit der Einheit  $m^3/s \cdot kg$

15 Luftwechsel je Stunde sind für das Notlüftungssystem ausreichend.

**ClimateEnergy**  
Individuelle Mietkälte für Ihr Unternehmen

**HOTLINE: 05137 - 14 92 970**

- mobile Split-Klimageräte
- Monoblock-Klimageräte
- Spot-Cooler

- Kaltwassersätze
- Lüftungsgeräte
- Be-/Entfeuchtungsgeräte

[www.climateenergy.de](http://www.climateenergy.de)

Unter Punkt 5.14 werden weiterführende Anforderungen beim Einsatz von Kältemitteln der Gruppen AL2, A2, A3, B2L, B2 und B3 definiert, bei Mietanwendung kommen nahezu nur Kältemittel der Klasse A1 (z. B. R134a, R410A) und A2L (z. B. R32, R1234ze) zur Anwendung.

Obwohl einige Vermieter in den vergangenen Jahren auch in wassergekühlte Geräte investiert haben, ist die Verfügbarkeit im Vergleich zu luftgekühlten Kaltwassersätzen deutlich schlechter. Bis ca. 1 MW sind Mietgeräte mit Scroll- oder Schraubenverdichter erhältlich. Über 1 MW kommen Schrauben- oder Turboverdichter zum Einsatz, sind aber in der Verfügbarkeit stark limitiert. Da die Maschinen im frostfreien



**Bild III-17:** Vereinfachte hydraulische Darstellung wassergekühlter Kaltwassersatz mit Rückkühler und 2-Wege-Kühlwasserregler (Quelle: LF Kompression, Ausschnitt Bild V-15).

Gebäudeinneren aufgestellt werden, findet bei Vorlauftemperaturen bis mindestens 4 °C Wasser als Kälte-träger Anwendung. Die Verflüssigerabwärme wird über das Kühlwasser zu einem externen Rückkühler oder Kühlturm gefördert und dort rückgekühlt. **Bild III-17** zeigt eine vereinfachte hydraulische Darstellung.

Abhängig vom Rückkühlwerk kann ein Frostschutz für das Kühlwasser oder eine frostsichere Kühlsole notwendig sein. Wird die Maschine auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen betrieben, ist ein Kühlwasserregler zu montieren.

**Luftgekühlte Wasserkühlsätze** für Außenaufstellung (**Bild III-19**) sind auf dem Mietmarkt von 5 kW bis zu 1.000 kW je Einheit sehr gut, bis 1.600 kW begrenzt verfügbar. Der Vorteil bei dieser Bauart gegenüber den wassergekühlten Aggregaten ist im direkten Wärmeübergang von Kältemittel auf Luft zu sehen, es ist kein weiteres Zwischenmedium notwendig. Erfolgt die Aufstellung vor oder auf dem Gebäude, dann ist die Statik zu beachten. Die Anlieferung sollte im stabilen Grundrahmen für Stapler- oder Kranverladung optimiert erfolgen. Seltener erfolgt die Auslieferung auf einem Anhänger, der vor Ort mit dem Aggregat verbleibt, so dass kein Be- und Entladevorgang anfällt. Bei Vorlauftemperaturen von mindestens 4 °C kann Wasser als Kälte-träger fungieren, jedoch müssen dann die wasserführenden Anlagenteile ausreichend isoliert und mit einer elektrischen Verdampfer- und Rohrbegleitheizung ausgestattet sein, sofern der Betrieb in einer möglichen Frostperiode erfolgen soll. Bei Einsatz von Sole als Kälte-träger kann auf eine zusätzliche elektrische Heizung verzichtet werden. Durch den Betrieb mit Wasser ergeben sich gegenüber Glykolegemischen die bekannten Vorteile wie höhere Kälteleistung (ca. 3 bis 4 %), besserer Wärmeübergang und geringere Druckverluste. Bei Zugabe von Frostschutzmitteln ist auf eine ausreichende Konzentration entsprechend der minimalen Umgebungstemperatur zu achten. Mietmaschinen sind standardmäßig mit einer stufenlosen Ventilator-drehzahlregelung auszustatten. Diese fungiert als Winterbetriebseinrichtung in Bezug auf den notwendigen Mindestkondensations-



**Bild III-18:** Wassergekühlter Kaltwassersatz ACR-M-100-W im stabilen Grundrahmen mit Storz-Anschlussystem (Quelle: acr chiller rent GmbH)



**Bild III-19:** Luftgekühlter Kaltwassersatz für Mietanwendung mit zusätzlichem Transportrahmen, Verflüssigerregister-Schutz (Quelle: acr chiller rent GmbH)

druck. Bei windgeschützter Aufstellung wird so ein Betrieb bis ca.  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  Umgebungstemperatur ermöglicht.

In Mietaggregaten sind meist Pumpen mitverbaut, diese werden dann unter anderem durch den Kaltwassersatz angesteuert. Die Pumpenvorlaufzeit beträgt zwischen 30 und 180 s. Liegt eine Strömung vor, wird diese über einen Strömungswächter an den Mikroprozessor gemeldet, der dann die Freigabe zum Start der Verdichter gibt. Außerdem stellt sich durch einen Pumpenvorlauf eine reale Temperatur am Verdampfer ein. Sind z. B. 100 m Schlauch im Außenbereich verlegt und die Sonne scheint im Stillstand auf die meist unisolierten Schläuche, so wird der Regelung eine höhere Systemtemperatur suggeriert. Durch einen Pumpenvorlauf wird eine Vermischung erreicht. Nach Abschalten der Verdichter ist eine Pumpennachlaufzeit von 30 bis 300 Sekunden notwendig, um die restliche Kälteenergie aus dem Verdampfer abzuführen und so ein Auffrieren oder einen Niederdruckalarm zu vermeiden. Bei der Pumpendimensionierung ist eine Druckverlustberechnung durchzuführen und die hydraulische Einbindung der Verbraucher zu beachten. Eine Trennung von Erzeuger- und Verbraucherkreislauf ist unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit positiv zu bewerten. Da der Erzeugerkreislauf über den Pufferspeicher bzw. eine hydraulische Weiche zum Verbraucherkreislauf entkoppelt ist, hat das Regel- und Abnahmeverhalten der Verbraucher keinen Einfluss auf den Kaltwassersatz.

Bis zu einer Heizleistung von ca. 600 kW sind oft Pufferspeicher mit in der Einheit verbaut, um eine Laufzeitverlängerung (Volumenvergrößerung) zu erreichen. Diese sind größtenteils liegend montiert, sodass keine thermische Schichtung und keine hydraulische Entkopplung eintritt.





#### Learning

- ▶ Zugangsbereich (a bis c) und Aufstellort (Klasse I bis IV) gemäß DIN EN 378 [39]
- ▶ Klassifizierung Sicherheitsgruppe des Kältemittels gemäß ISO 817 [37]/ DIN EN 378-1 [39] in Toxizität (A, B) und Brennbarkeit (1, 2L, 2, 3)
- ▶ Einhaltung Immissionsrichtwerte TA Lärm [40] sowie weitere gesetzliche Bestimmungen innerhalb von Gebäuden
- ▶ Konstanter Mediumvolumenstrom über Verdampfer zur Vermeidung von Niederdruck- oder Strömungswächterstörungen, ggf. Trennung von Erzeuger- und Verbraucherkreislauf
- ▶ Rückkühlung ausreichend dimensioniert (Kälteleitung + Verdichterleistung = Rückkühlleistung)
- ▶ Bei Betrieb bei niedrigen Umgebungstemperaturen Anfahrtschaltung auf Verflüssigerseite vorsehen (z. B. 3-Wege-Ventil, 2-Wege-Ventil)
- ▶ Kalt- und Kühlwasserpumpe ausreichend dimensioniert
- ▶ Ausreichend Platz für Bedienung und Wartung gemäß Herstellervorgaben

#### 1.2.2 Rückkühler und freie Kühler/Airhandler

Sind hohe Kühlwassertemperaturen ausreichend, kann die Kühlung auch ohne Kompressorbetrieb nur über die Umgebungsluft erfolgen. Die Einheit dient zur Rückkühlung von Ab-, Prozess- oder Kondensatorwärme. Es können verschiedene Systeme der Wärmeabfuhr betrachtet werden.

##### Trockenrückkühler

Erfolgt die Rückkühlung „trocken“, also ohne Besprühung der Wärmetauscherflächen bzw. ohne Verdunstung von Wasser, so entspricht die jeweilige Umgebungstemperatur zuzüglich einer Grädigkeit von mindestens 4 K der minimalen Kühlwasservorlauftemperatur. Diese Grädigkeit ist aber abhängig von der Auslegung der Wärmetauscherfläche. Bei 35 °C Umgebungstemperatur wäre somit die minimal realisierbare Kühlwasservorlauftemperatur 38 °C. Die Regelung der Rückkühlleistung/ Kälteleistung erfolgt über die stufenlose Anpassung der Ventilator Drehzahl, die Schalleistung ist hauptsächlich von der Drehzahl der Ventilatoren abhängig. Aus Betriebskostensicht ist dieser Art der Kühlung gegenüber der Kompressionskühlung



**Bild III-20:** Miet trockenrückkühler ACR-RK-300 in V-Form mit Grundrahmen (Quelle: acr chiller rent GmbH)

Vorzug zu gewähren. Die Abmessungen sind abhängig von den Leistungsdaten und können bis zu 13 m Länge, 2,6 m Breite und 3,5 m Höhe betragen. Ausführungen sind als Tischgerät oder V-Gerät verfügbar (**Bild III-20**).

### **Kühltürme und Verdunstungskühler**

Durch Besprühung der Luft oder Kontaktkörper mit Wasser können deutlich tiefere Austrittstemperaturen erreicht werden. Baulich ist dies durch besprühte Rückkühler oder Hybridrückkühler möglich, diese Bauformen haben sich bei Mietanwendungen aber nicht durchgesetzt und sind nur vereinzelt und selten vorzufinden. Aus diesem Grunde wird hierauf nicht weiter eingegangen.

Um große Rückkühleistungen zu erzielen, stehen Mietkühltürme (**Bild III-21**), oft in Containerbauweise, zur Verfügung. Bei der Nass- bzw. Verdunstungskühlung nutzt man den physikalischen Effekt, dass für die Änderung des Aggregatzustands eine entsprechende Verdampfungsenergie benötigt wird. Um 1 kg Wasser zu verdampfen, ist eine Wärmemenge von 2.407 kJ zuzuführen. Diese Wärmemenge wird der Umgebung, in diesem Fall dem Rieselwasser, entzogen und dieses dadurch



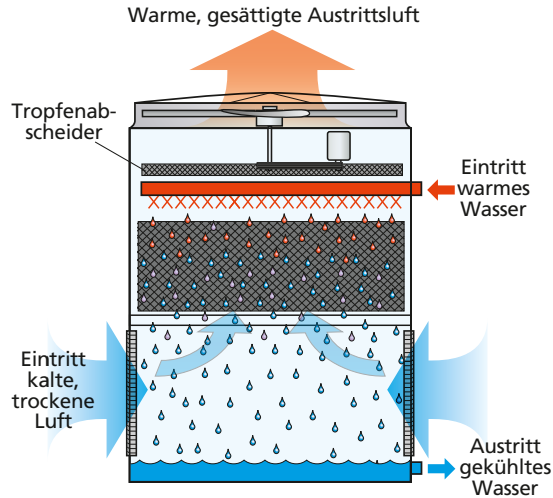
**Bild III-21:** Installierte Mietkühltürme (Quelle: acr chiller rent GmbH)

abgekühlt. Somit wird bei Verdunstungskühltürmen eine erheblich größere Effektivität der Wärmeabfuhr durch latente Wärme erreicht. Die theoretisch mögliche Temperatur des Kühlwasseraustritts entspricht der Feuchtkugeltemperatur der Luft, auch Kühlgrenztemperatur genannt. Gegenüber der Trockenkühlung sind hier wesentlich niedrigere Temperaturen des Kühlmediums erreichbar, da nicht mehr die Umgebungslufttemperatur ausschlaggebend ist, sondern die Feuchtkugeltemperatur. Kühlwassertemperaturen von z. B. 32/27 °C für eine Auslegung bei einer Feuchtkugeltemperatur von 21 °C (entspricht 32 °C Trockenkugeltemperatur und 40% relativer Feuchte) werden somit ermöglicht. Die Temperaturspreizung des Kühlwassers beträgt in der Regel ca. 5 bis 8 K und wird als Kühlzonenbreite bezeichnet. Die Temperaturdifferenz zwischen Kühlwasseraustrittstemperatur und Kühlgrenztemperatur (Feuchtkugeltemperatur) beträgt in der Praxis ca. 4 bis 6 K und nennt sich Kühlgrenzabstand.

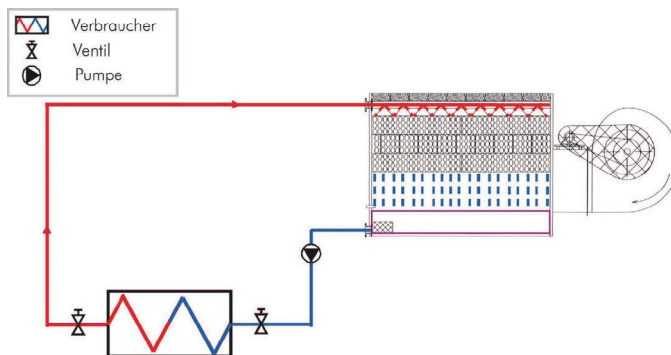
Beim Gegenstromkühlturm (**Bild III-22**) erfolgt die Luft-Wasser-Führung im Gegenstrom, ein Großteil der Mietkühltürme wird so gebaut. Das Kühlwasser wird über Verteildüsen gleichmäßig auf den Füllkörper versprüht und rinnt nach unten. Im Gegenstrom strömt die Luft von unten nach oben. Der Tropfenabscheider wird oben über den Sprühdüsen angeordnet. Der Vorteil ist im geringen Platzbedarf und der höheren Effizienz zu sehen

Beim offenen Kühlturm (**Bild III-23**) ist das Kühlwasser im direkten Kontakt mit der Luft. Dadurch ist diese Bauart sehr effizient, jedoch kommt es zu Schmutzeintrag durch die Umgebungsluft, und es kann zu Korrosionserscheinungen und Kalkablagerungen im Kühlwasserkreislauf kommen. Das Wasser rieselt dadurch

**Bild III-22:** Prinzip eines saugbelüfteten Verdunstungskühlturms für offenen Kreislauf mit Axialventilator mit Gegenstrom-Luft-Wasser-Führung (Quelle: Evapco Europe GmbH)

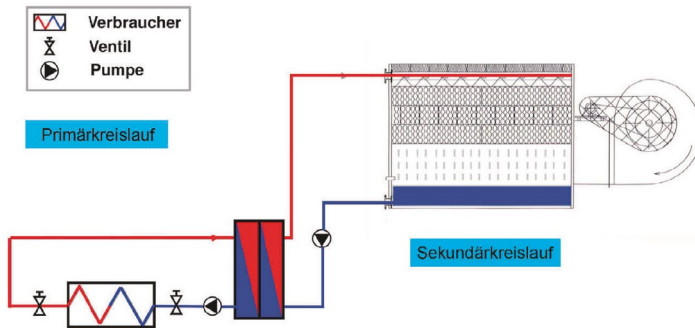


**Bild III-23:** Schematische Darstellung eines offenen Kühlwasserkreislaufs (Quelle: GOHL-KTK GmbH)



gleichmäßig auf den gewellten Füllkörpern (auch Riesekörper oder Packung genannt) abwärts, und die Kontaktfläche Wasser zu Luft vergrößert sich. Nachdem das Kühlwasser die Füllkörper durchflossen hat und ca. 2 bis 4 % verdunstet sind, sammelt sich das restliche Wasser in der Wassersammelwanne. Je nach Anwendungsfall, z. B. bei mehreren Abnehmern, können noch Zwischenbecken (Warm-/Kaltwasser) zwischengeschaltet werden.

Soll der Verbraucher über ein geschlossenes System versorgt werden, kann man dies über einen am Kühlturm angebauten Plattenwärmeübertrager realisieren (**Bild III-24**). Hierbei sind die Vorteile eines offenen Kühlturms betreffend Wasser als Medium (anstelle von Sole), Effizienz, geringem Gewicht und Anschaffungskosten mit denen eines geschlossenen Kühlturms vereint. Bei Frostgefahr wird empfohlen, die wasserführenden Teile wie Pumpe, Plattenwärmeübertrager und Rohrleitungen in ein isoliertes und beheiztes Gehäuse oder im frostsicheren Raum zu integrieren. Nachteilig ist ein um 2 bis 4 K höheres Kühlwasserniveau resultierend aus der



**Bild III-24:**  
Schematische Darstellung eines offenen Kühlwasserkreislaufts mit Systemtrennung über Plattenwärmeübertrager (Quelle: GOHL-KTK GmbH)

Grädigkeit des zusätzlichen Wärmeübertragers. Für den Besprühungskreislauf ist (wie beim geschlossenen Kühlturm) eine weitere Pumpe notwendig.

Durch die Funktionsweise von Kühltürmen bedingt, ist ein Wasserverbrauch festzustellen. Der Gesamtwasserverbrauch (oder Frischwasserzusatz) beträgt bei offenen wie geschlossenen Kühltürmen je nach Betriebsweise zwischen 2,4 und 4,1 l/h je kW Rückkühlleistung und setzt sich hauptsächlich aus Verdunstungswasser (ca. 1,5 l/h je kW) und Abschlammwasser (Abschlammwasser) (ca. 0,85 bis 2,6 l/h je kW) zusammen. Das Sprühwasser wird durch Aufnahme von in der Luft befindlichen Schmutzpartikeln, Mikroorganismen und Spurenelementen ungünstig verändert. Ein Teil verdunstet, die Fremdstoffe bleiben jedoch im Umlaufwasser zurück und dicken dieses somit ein. Das eingedickte Umlaufwasser kann zu Korrosion, Salz-, Härte- und Schmutzablagerungen und zu mikrobiologischem Wachstum führen. Aus diesem Grund sind eine Wasseraufbereitung des Zusatzwassers und eine Abschlammung des Umlaufwassers notwendig. Für das Abschlammung gibt es unterschiedliche Verfahren, die sich in Qualität, Investitions- und Betriebskosten unterscheiden:

***Periodische Abschlammung***

Mithilfe eines Zeitschaltwerks oder durch manuelle Betätigung wird das Ventil für die Kühlturmwanneentleerung zeitweise geöffnet. Das angereicherte Umlaufwasser fließt ganz oder teilweise ab, Frischwasser wird nachgespeist. Vorteil ist der einfache und günstige Aufbau, Nachteile sind ein hoher Frischwasserverbrauch oder eine zu hohe Eindickung, weil nicht bedarfsgerecht geregelt wird.

***Kontinuierliche Abschlammung***

Die Abschlammung erfolgt, sobald Wasser im Kühlturm verrieselt wird, ist aber konstant auf den Maximalwert fest eingestellt. Der Vorteil ist auch hier der einfache und günstige Aufbau, der Nachteil ist ein zu hoher Frischwasserverbrauch im Teillastbetrieb.

Des Weiteren gibt es noch die quantitative Abschlammung und qualitätsabhängige Abschlammung, diese finden aber bei provisorischem Kühlturbetrieb seltener Anwendung.

Das Zusatzwasser hat eine bestimmte Qualität zu erfüllen. Wird diese nicht erreicht, muss es aufbereitet werden. Das Umlaufwasser (Sprühwasser) ist zu behandeln. Hier sind die Vorgaben der Kühlturmhersteller einzuhalten, die VDI-Richtlinie 3803 [46] und die VDI-Richtlinie 2047 Blatt 2 [47] sind unbedingt zu beachten.

Empfohlene Richtwerte für die Beschaffenheit von Umlaufwasser gemäß VDI-Richtlinie sind der **Tabelle III-7** zu entnehmen.

Schwadenbildung entsteht durch die Vermischung sehr feuchter, warmer, den Kühlturm verlassender Abluft mit kalter oder sehr feuchter Außenluft und ist ein unerwünschter Effekt. Kalte Luft kann im Gegensatz zu warmer Luft weniger absolute Feuchte aufnehmen. Abhängig von den Luftvolumenströmen und Luftzuständen führt dies zu einer Übersättigung. Wird die Luft nicht nacherhitzt und dadurch in den Bereich der ungesättigten Luft zurückgeführt, kommt es zu Schwadenbildung.

### **Anzeigepflicht von Verdunstungskühlanlagen gemäß 42. BImSchV [48]**

Der Gesetzgeber fordert mit der 42. BImSchV [48] den Betreiber von Verdunstungskühlanlagen auf, diese so auszulegen, zu errichten und zu betreiben, dass Verunreinigungen des Nutzwassers durch Mikroorganismen, insbesondere Legionellen, nach dem Stand der Technik (VDI 2047 [47]) vermieden werden. Dies beinhaltet:

- ▶ Vorgaben des Herstellers bezüglich Wasserqualität sowie Werk- und Betriebsstoffen einschließlich Desinfektions- und Reinigungsmittel sind einzuhalten.
- ▶ Tropfenauswurf ist durch geeignete Tropfenabscheider oder gleichwertige Maßnahmen effektiv zu minimieren.
- ▶ Stagnations- und Totzonen sind zu vermeiden.
- ▶ Wasserführende Bauteile müssen möglichst vollständig entleert werden können.
- ▶ Eine Möglichkeit zur Dosierung von geeignetem Biozid für das Nutzwasser muss geschaffen werden.
- ▶ Für die regelmäßige Überprüfung und Probenahme sind die relevanten chemischen, physikalischen oder mikrobiologischen Parameter festzulegen.
- ▶ Die Durchführung regelmäßiger Instandhaltungen muss sichergestellt werden.
- ▶ Auch während eines Betriebs ohne oder mit verminderter Last ist sicherzustellen, dass eine Freisetzung mikrobiell belasteter Aerosole vermieden wird.
- ▶ Eine Gefährdungsbeurteilung unter Beteiligung einer nachgewiesenermaßen hygienisch fachkundigen Person ist zu erstellen. Diese unterscheidet sich gegenüber einer Beurteilung nach bisher bestehenden gesetzlichen Regelwerken dadurch, dass hier detailliert auf die hygienischen Besonderheiten und Risiken der Anlage eingegangen werden muss. Das betrifft sowohl Einflüsse der Anlage auf

die Umwelt als auch Einflüsse der Umwelt auf die Anlage. Dabei sind folgende Gesichtspunkte besonders zu berücksichtigen:

- Risikoanalyse, um mögliche Gefährdungen zu identifizieren und das Risiko hinsichtlich des potenziellen Schadensausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeiten für Gefährdungen zu betrachten

**Tabelle III-7: Empfohlene Richtwerte für die Beschaffenheit des Umlaufwassers in offenen Rückkühlwerken (Empfehlung für Verdunstungskühlung bei Oberflächentemperaturen im Kondensator < 60 °C) (Auszug aus der VDI 3803 Blatt 1 [46] Anhang A2 Tabelle A5)**

Beschaffenheit	Einheit	Vom Umlaufwasser beaufschlagtes Material <sup>a)</sup>		
		C-Stahl und Buntmetalle <sup>b)</sup>	C-Stahl und andere Metalle, alle beschichtet	Kunststoffe, Cr-Ni-Mo-Stahl
Aussehen	—	klar, farblos und ohne Bodensatz		
pH-Wert <sup>d)</sup>	—	7,4 bis 9,5		
Elektrische Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	< 2.200	< 2.500	< 3.000
Summe Erdalkalien (Gesamthärte)	mmol/l (°d)	< 0,7 (< 4)		
Summe Erdalkalien (Gesamthärte) bei chemischer Härtestabilisierung	mmol/l (°d)	< 3,6 (< 20)		
Chlorid (Cl <sup>-</sup> ) <sup>d)</sup>	mmol/l (mg/l)	< 4,2 (< 150)	< 7,0 (< 250)	< 5,6 (< 200)
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mmol/l (mg/l)	< 3,4 (< 325)	< 4,2 (< 400)	< 6,3 (< 600)
Oxidierbarkeit in O <sub>2</sub>	g/m <sup>3</sup>	< 20		

<sup>a)</sup> Bei der Materialfestlegung ist eine ganzheitliche Systembetrachtung erforderlich. Das „schwächste Glied“ ist maßgeblich. Dabei sind direkt an den Kühlturm angeschlossene Kreislaufsystem einzubeziehen.

<sup>b)</sup> In der Regel nur mit geeigneter Korrosionsinhibierung zulässig.

<sup>c)</sup> Je nach eingesetztem Wasseraufbereitungsverfahren kann mit niedrigeren pH-Werten gefahren werden. Dann ist eine ganzheitliche und harmonisierende Verfahrenstechnik mit engmaschigem Kontrollmanagement erforderlich. Bei Systemeinsbauten aus Aluminium ist der pH-Wert auf maximal 8,5 zu begrenzen. Bei Einbauten aus verzinkten Materialien ist der pH-Wert auf maximal 9 zu begrenzen oder es sind geeignete Korrosionsinhibitoren einzusetzen.

<sup>d)</sup> Höhere Chloridwerte sind möglich, wenn die Hersteller von Korrosionsinhibitoren und/oder Materialien dies ausdrücklich zulassen.

**Keimzahl** Es sind die Richt- und Maßnahmewerte der Verordnung über Verdunstungskühlanlagen – 42. BImSchV [48] sowie die Vorgaben nach VDI 2047 Blatt 2 [47] (Abschnitt 9.3 und Tabelle 3) – zu beachten. Nach Ermittlung eines „Normalzustands“ („Nulllinie“) sind signifikante Veränderungen der allgemeinen Koloniezahl maßgeblich. Ist eine Nulllinienbestimmung nicht möglich, darf ein Wert von 10.000 KBE/ml als Normalzustand angenommen werden.

**Legionellen** Es sind die Richt- und Maßnahmewerte der Verordnung über Verdunstungskühlanlagen – 42. BImSchV [48] sowie die Vorgaben nach VDI 2047 Blatt 2 [47] (Abschnitt 9.3 und Tabelle 4) – zu beachten. Je nach Höhe einer Legionellenkontamination sind gestaffelte Maßnahmen vorgeschrieben. Bei wiederholten Befunden von < 100 KBE/ml sind keine Maßnahmen erforderlich.

**Pseudomonas aeruginosa** Es sind die Vorgaben nach VDI 2047 Blatt 2 [47] (Abschnitt 9.3 und Tabelle 5) – zu beachten.

Je nach Höhe der Kontamination sollen Maßnahmen ergriffen werden. Bei wiederholten Befunden von < 100 KBE/ml sind keine Maßnahmen erforderlich.

**Anmerkung 1:** Überprüfungsintervalle und Umfang der Untersuchungen werden in der 42. BImSchV [48] und in VDI 2047 Blatt 2 [47] vorgegeben. Weiter umweltrelevante und abwasserrechtliche Parameter wie Zink, AOX usw. sind nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG [24]), Anhang 31, zu prüfen und zu dokumentieren (je nach behördlicher Auflage). Die Abflut (Absalzung oder Entleerung) muss frei von noch wirksamen Bioziden sein. Hier gelten die Vorgaben des WHG [24].

**Anmerkung 2:** Beim Betrieb von Verdunstungskühlanlagen ohne Umlaufwasser (Kühler mit adiabater Luftkühlung durch Versprühen von Wasser oder mit periodischer Verdunstungskühlung (Hybridkühler)) ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass der überwiegende Teil des Besprühungswassers direkt in der Luft versprüht wird und/oder Kühlrippen mit einem dünnen Wasserfilm beaufschlagt werden. Dabei verdunstet das Besprühungswasser fast vollständig. Nicht dampffüchtige Inhaltsstoffe werden zum Großteil mit der Luftströmung fortgetragen und/oder führen zu Belägen auf den Kühlrippen. Wegen des direkten Eintrags der Wasserinhaltsstoffe in die Umgebungsluft ist die Zugabe gesundheitsrelevanter Chemikalien unzulässig. Insbesondere dürfen Biozide auf diese Weise nicht emittiert werden. Für das verwendete Besprühungswasser gelten die Vorgaben nach Tabelle B1 (mikrobiologische Grenzwerte). Für die sonstige Beschaffenheit des Besprühungswassers gelten die Vorgaben der Hersteller.

- Risikobewertung, die Risiken hinsichtlich ihrer potenziellen Auswirkungen auf die hygienische Sicherheit und die daraus abzuleitenden Maßnahmen priorisiert
- Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung im Betriebstagebuch.

Das internetbasierte Portal „Kataster zur Erfassung von Verdunstungskühlanlagen 42. BImSchV“ (KaVKA-42. BImSchV) wurde errichtet ([www.kavka.bund.de](http://www.kavka.bund.de)), um zentralisiert die Verwaltungsaufgaben der Behörden, die die Umsetzung der 42. BImSchV [48] durch die Betreiber überwachen, zu unterstützen. Hier müssen alle Anlagen, die unter den Anwendungsbereich der Verordnung fallen, detailliert gemeldet werden. Meldepflichtige Ereignisse wie Überschreitungen von Maßnahmenwerten, Änderungen und Stilllegungen von Anlagen sowie die Ergebnisse der periodischen Inspektionen durch Sachverständigengutachten werden ebenfalls hier übermittelt.

Tiefgehende Informationen zum Thema Kühltürme und 42. BImSchV [48] sind dem Buch *Keller, L.: Leitfaden für Kompressionswasserkühlsätze, 3. Auflage, ITM InnoTech Medien, Kleinaitingen 2022*, zu entnehmen.

### 1.2.3 Tiefkälte (TK)

Für bestimmte Branchen sowie Teststände in der Automobil-, Luft- und Raumfahrtstechnik und in der Chemie und Pharmaindustrie, sind manchmal niedrige Temperaturen von bis zu  $-40\text{ °C}$  erforderlich. Kaltwassersätze für Klimaanwendungen stoßen spätestens bei  $-15\text{ °C}$  Vorlauftemperatur an ihre Betriebsgrenze. Um die Niedertemperaturanforderungen zu erfüllen, werden sogenannte Low-Temp-Chiller oder Tiefkältezentralen eingesetzt. Der grundsätzliche Aufbau des Kältekreislaufes entspricht dem Aufbau eines Klimakaltwassersatzes, jedoch müssen die Komponenten für dieses niedrige Temperaturniveau eine Zulassung besitzen. Es werden spezielle Öle eingesetzt und die Ölrückführung ist anspruchsvoller. Als Kältemittel waren R404A und R507A verbreitet, diese sind aber aufgrund der hohen GWP-Werte (R404A mit 4.728 nach AR6) seit dem 1. Januar 2020 in Neuanlagen nicht mehr zugelassen. Bei Neuanlagen kann z. B. R449A zum Einsatz kommen. Weitere Informationen zu möglichen Kältemitteln und deren Stoffdaten können immer aktuell der [Online-Edition des Kältemittel-Reports](#) der BITZER Kühlmaschinenbau GmbH entnommen werden.

Die Rückkühlung kann über Luft oder Flüssigkeit erfolgen. Bis ca.  $-25\text{ °C}$  Vorlauftemperatur können kompakte luftgekühlte Low-Temp-Chiller (**Bild III-25**) verwendet werden. Der Vorteil ist hier in der einfachen Montage zu sehen. Da die Chiller bei niedrigen Verdampfungstemperaturen aber deutlich weniger Kälteleistung erzeugen, ist hier die Kälteleistung auf ca. 200 kW je Einheit begrenzt.