

Free-Cooling

Gute Lösungen
brauchen Köpfchen



Free-Cooling

Free-Cooling in der Klimakälte ist eine gute Sache. Damit die freie Kühlung die (hohen) Erwartungen erfüllen kann, müssen bei der Planung das gesamte System, die Energiebilanz des ganzen Gebäudes und die Wirtschaftlichkeit sorgfältig angeschaut werden.

In der Gebäudetechnik ist «Free-Cooling» ein positiv belegter Begriff. «Freie Kühlung» vermittelt den Eindruck, dass die Kühlung nichts kostet, wenig bis keine Energie braucht und die Umwelt schont. Aus diesem Grund fordern engagierte Planer, Bauherrschaften und Behörden solche Free-Cooling-Lösungen in der Klimakälte oft ein.

Gebäudetechnik-Expertinnen und Experten vermuten jedoch schon längere Zeit, dass der Schein trügt. Das Kühlen eines Gebäudes mit Free-Cooling sei nicht in jeder Situation die energetisch wie auch wirtschaftlich optimale Lösung. Und im schlimmsten Fall könne Free-Cooling hohe Zusatzkosten verursachen und gleichzeitig die Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes verschlechtern.

Das BFE und die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften zhaw wollten es genauer wissen. Die zhaw untersuchte deshalb im Auftrag des BFE, unter welchen Voraussetzungen und mit welchen Betriebsarten sich Free-Cooling in der Praxis bewährt. Dieses Merkblatt zeigt die wichtigsten Überlegungen und Erkenntnisse der zhaw-Studie auf.

Free-Cooling mit Aussenluft

Mit Umgebungskälte Kühlen

Wird ein Gebäude frei – das heisst ohne Kältemaschine – gekühlt, spricht man von Free-Cooling. Als Kältequelle können die Aussenluft, Grund-, See-, Flusswasser oder das Erdreich genutzt werden. In diesem Merkblatt werden die Systeme mit Aussenluft betrachtet.¹ Beim Free-Cooling mit Aussenluft wird zwischen direktem und indirektem Free-Cooling unterschieden.

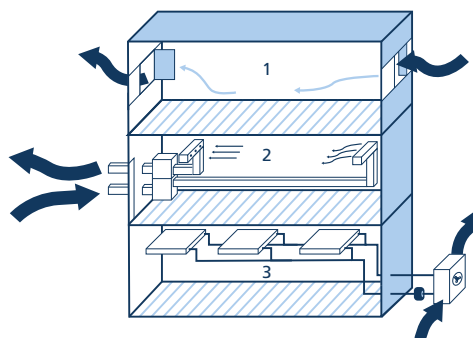
Direktes Free-Cooling

Der häufigste Fall ist die freie Kühlung mit Aussenluft. Diese kann in den kühleren Nachtstunden einen wertvollen Beitrag zur Raumkühlung leisten. Wird in der Nacht bei Temperaturen unter 18 °C (in der Regel ist dies im Sommer zwischen 24:00 Uhr und 6:00 Uhr der Fall) kühle Luft ins Gebäude geblasen, spricht man von direktem Free-Cooling. Direktes Free-Cooling kann über offene Fenster oder mit der Lüftungsanlage erfolgen und ist eine einfache und energieeffiziente Lösung.

Mit direktem Free-Cooling kann jedoch in der kurzen nutzbaren Zeit in den Sommernächten meist nicht der ganze Wärmeeintrag des Tages abgeführt werden. Die Massenträgheit zusammen mit den geringen Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Aussen wirken «zu langsam». Es wären sehr grosse Luftvolumenströme und genügend «kühle Luft» notwendig, um die Temperaturen dauerhaft zu senken. Zudem gibt es immer mehr Tropennächte mit Aussentemperaturen von über 20 °C. Wenn diese mehrere Tage bis Wochen dauern, ist ein direktes Free-Cooling weitgehend wirkungslos.

2. Kühlung mit der Lüftung

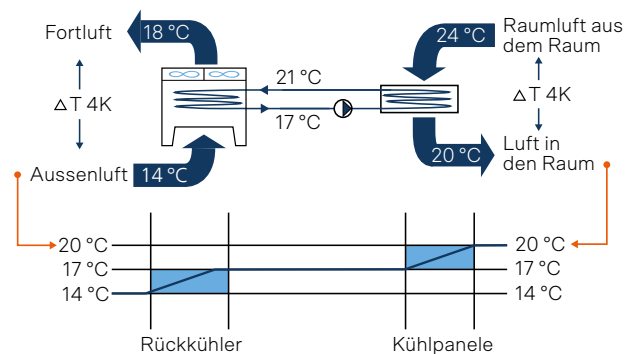
Jede mechanische Lüftungsanlage (mit einem Bypass in der WRG) ermöglicht bei Aussentemperaturen unter 18 °C ein «Free-Cooling», da immer «kühle Luft» in die Räume eingelassen werden kann.



Indirektes Free-Cooling

Beim indirekten Free-Cooling wird das bestehende Kaltwassernetz der Klimakälteanlage für das Abführen der Wärme genutzt. Die Kältemaschine ist ganz ausgeschaltet oder kühlt nur noch jene Wärme, für die das Free-Cooling nicht reicht.

Das indirekte Free-Cooling arbeitet mit mindestens zwei Wärmeübertragern – dem Rückkühler und dem Kälteabgabesystem. Wirtschaftlich ausgelegte Wärmeübertrager weisen eine Temperaturdifferenz von 3 bis 4 K auf.



Das heisst, dass bei einer Aussentemperatur von 14 °C die effektive Lufttemperatur auf den Kühlpaneelen im Raum noch ca. 20 °C beträgt. Dadurch reduzieren sich die Tage, an denen mit indirektem Free-Cooling gearbeitet werden kann.

¹ Mehr zum Free-Cooling mit Grund-, See-, Flusswasser oder Erdreich findet sich im Fachbuch «Klimakälte heute» (2019)

1. Kühlung über die Fenster

Die kalte Luft über offene Fenster einströmen lassen (querlüften). Dabei ist der Schutz vor Regen, Wind und Einbrecher zu beachten.

3. Kühlung über Kaltwassersystem

Das Kühlwasser des Kaltwassersystems wird von der Aussenluft über den Rückkühler gekühlt und direkt – ohne Kältemaschine – in die Räume geführt.

Blick aufs Gesamtsystem

Wärme-Kälte-Bedarf als Ganzes betrachten

Mit Free-Cooling wird Wärme aus dem Gebäude abgeführt – oder zugespitzt formuliert: Es wird (Wärme-)Energie «entsorgt». Besteht nun zum selben Zeitpunkt im Gebäude ein Wärmebedarf, ist es sinnvoller, wenn die Wärme aus dem Gebäude dafür genutzt wird. Der Free-Cooling-Betrieb ist vor allem in den Monaten der Übergangszeit (im Frühling und im Herbst) sowie im Winter interessant, wenn dank tiefer Aussentemperaturen effizient gekühlt werden kann. Doch gerade in dieser Zeit brauchen Gebäude oft auch Wärme zum Heizen oder für die Trinkwarmwasser-Erwärmung.

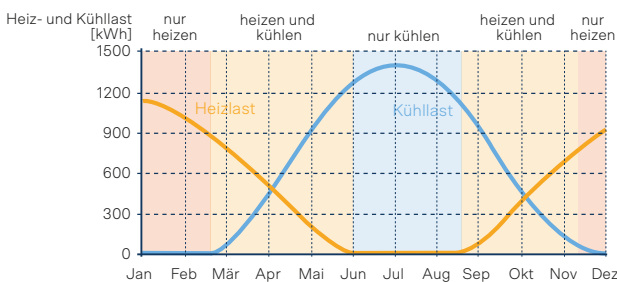


Bild: Die monatlichen Heiz- und Kühllastkurven zeigen, dass in Bürogebäuden mit Heizbedarf die Zeitdauer mit reinem Kühlbedarf auf wenige Wochen beschränkt sein kann. Dargestellt sind Lastverläufe, die abhängig sind vom Aussenklima. Interne Lasten und Wärmeleistungen für Nachwärmung (Entfeuchtung) sind nicht berücksichtigt.

Für die Beurteilung von Free-Cooling muss daher nebst dem Kühlbedarf zwingend auch der Wärmebedarf des Gebäudes betrachtet werden. Bei vielen Gebäuden reduziert sich so die Zeit, in der das Free-Cooling wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann.

Anforderungen an die Lufttemperatur

Im Gegensatz zu einer Klimakälteanlage kann mit reinem Free-Cooling im Sommer keine fixe Raumtemperatur garantiert werden. Man spricht darum von einer Temperierung der Räume. Bei vielen Nutzungen braucht es keine garantierte Temperatur. In diesem Fall ist eine Temperierung mit Free-Cooling eine gute Lösung.

Raumluftfeuchtigkeit beachten

Mit indirektem Free-Cooling wird die Raumtemperatur gesenkt. Dadurch steigt jedoch die relative Luftfeuchtigkeit an. Auf den gekühlten Oberflächen kann nun die warme Luft kondensieren, was zu Korrosion an der Installation und Tropfenbildung führen kann.

Dies kann verhindert werden, indem die Zuluft vor dem Einblasen (teil-)entfeuchtet wird. Für die Entfeuchtung resp. Teilentfeuchtung der Luft sind jedoch tiefere Kaltwasser-Temperaturen (z. B. 14 °C) notwendig, als dies mit Free-Cooling in der Regel möglich ist. Es kann daher sein, dass die Klimakälteanlage zur freien Kühlung hinzugeschaltet werden muss. Oder dass das Free-Cooling unter Umständen wesentlich tiefere Aussentemperaturen verlangt (z. B. 12 °C) respektive die mechanische Lüftung aktiviert werden muss. Dabei ist auch auf die Behaglichkeit zu achten.

Nebst der Kühlung muss immer auch die Luftfeuchtigkeit im Raum betrachtet werden.

Hydraulische Einbindung

Die die hydraulische Einbindung des Free-Coolings kann parallel oder seriell erfolgen.

Parallele Einbindung

Bei der parallelen Einbindung (nachfolgend bei den Varianten 1, 2 und 4) ist ein bivalent-alternativer Betrieb («entweder oder») möglich. Dabei wird die Wärme aus den Räumen entweder direkt über den Free-Cooling-Rückkühler oder von der Kältemaschine an den Rückkühler abgegeben. Im Free-Cooling Betrieb ist die Kältemaschine abgeschaltet.

Serielle Einbindung

Bei der seriellen Einbindung (Varianten 3 und 5) ist ein bivalent-paralleler Betrieb («sowohl als auch») möglich. Die Wärme kann dabei auf drei unterschiedliche Arten abgegeben werden.

A: Die Kältemaschine ist abgeschaltet und die Wärme wird vollständig über den Free-Cooling-Rückkühler an die Umwelt abgegeben (100 Prozent Free-Cooling)

B: Das erwärmte Kaltwasser aus den Räumen wird über den Free-Cooling-Rückkühler geführt und so vorgekühlt. Danach wird ihm die restliche Wärme von der Kältemaschine entzogen. Die Kältemaschine gibt die Wärme über den Rückkühler an die Umwelt ab (Vorkühlung)

C: Die gesamte Wärme wird von der Kältemaschine entzogen (ohne Free-Cooling)

Die serielle Einbindung der freien Kühlung einer Kältemaschine ist hydraulisch und regeltechnisch anspruchsvoll, da die Kältemaschine sehr sensibel auf schwankende und sich stark ändernde Temperaturen reagiert.

Seriell-Parallele Einbindung

Mit einer Kombination von serieller und paralleler Einbindung können die Vorteile beider Systeme vereint und Energie effiziente Lösungen gefunden werden. Diese Systeme sind jedoch regeltechnisch sehr anspruchsvoll und werden darum in diesem Merkblatt nicht näher betrachtet.

Wann lohnt sich Free-Cooling?

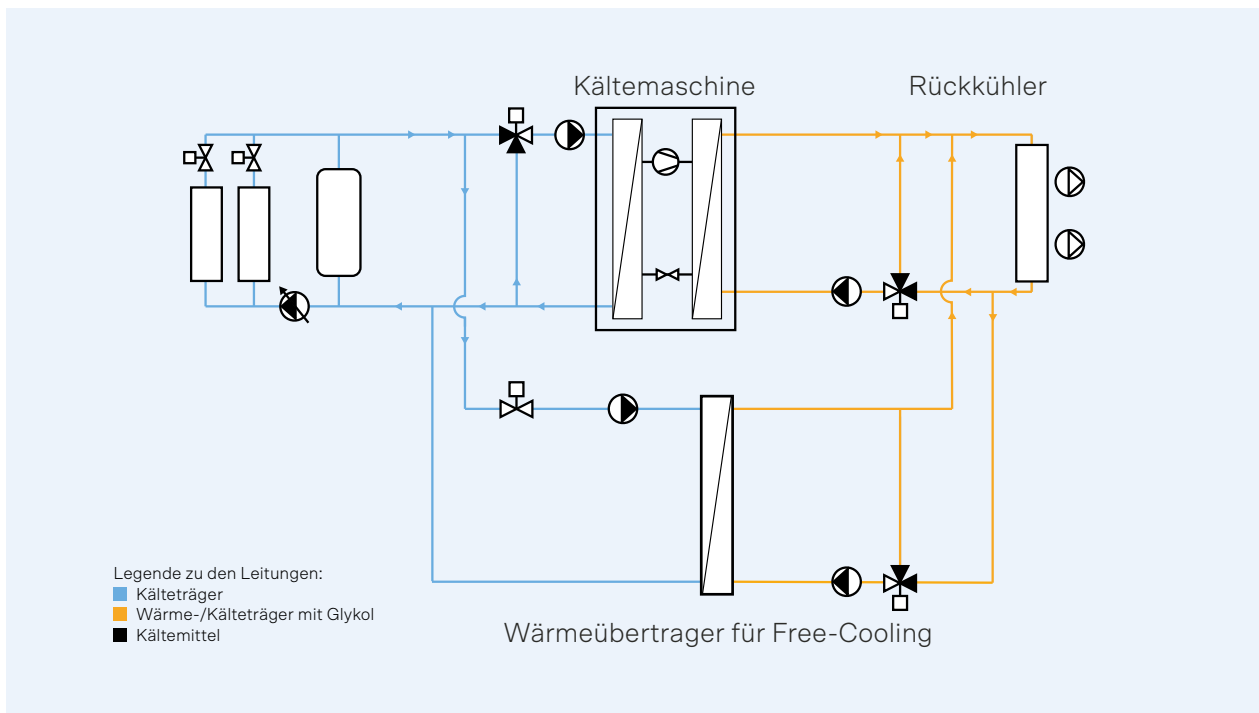
Die Studie der zhaw zum Thema «Free-Cooling in der Klimakälte» hat das Potenzial des indirekten Free-Coolings (Kühlung mit dem Kaltwassersystem) untersucht. Als Free-Cooling-Potenzial bezeichnet die zhaw den möglichen Beitrag des Free-Coolings am gesamten Kühlbedarf des Gebäudes.

Die zhaw-Studie zeigt das unterschiedliche Potenzial von fünf verschiedenen hydraulischen Einbindungen von Free-Cooling auf, die nachfolgend dargestellt werden. Die angegebenen Kältekreis-Vorlauftemperaturen sind Richtwerte, welche sich auf den Standort Zürich-Kloten beziehen.

Free-Cooling bei Kaltwassersätzen 1

Variante 1: Free-Cooling über den Rückkühler der Kältemaschine

Betrieb: bivalent-alternativ («entweder oder»)



In der Regel für Anlagen mit Kälteverbrauchern geeignet, die mit folgender Kältekreis-Vorlauf-temperatur arbeiten:

Vorlauftemperatur Kältekreis

bei trockenem Rückkühler: grösser 22 °C
bei benetztem Rückkühler: grösser 20 °C

Im Free-Cooling-Betrieb ist die Kältemaschine abgeschaltet.

Vorteile

- kostengünstigste Variante

Nachteile

- Von allen Varianten die am wenigsten effizienteste
- Die Temperaturdifferenz über die Wärmeübertrager verringert das Potenzial.

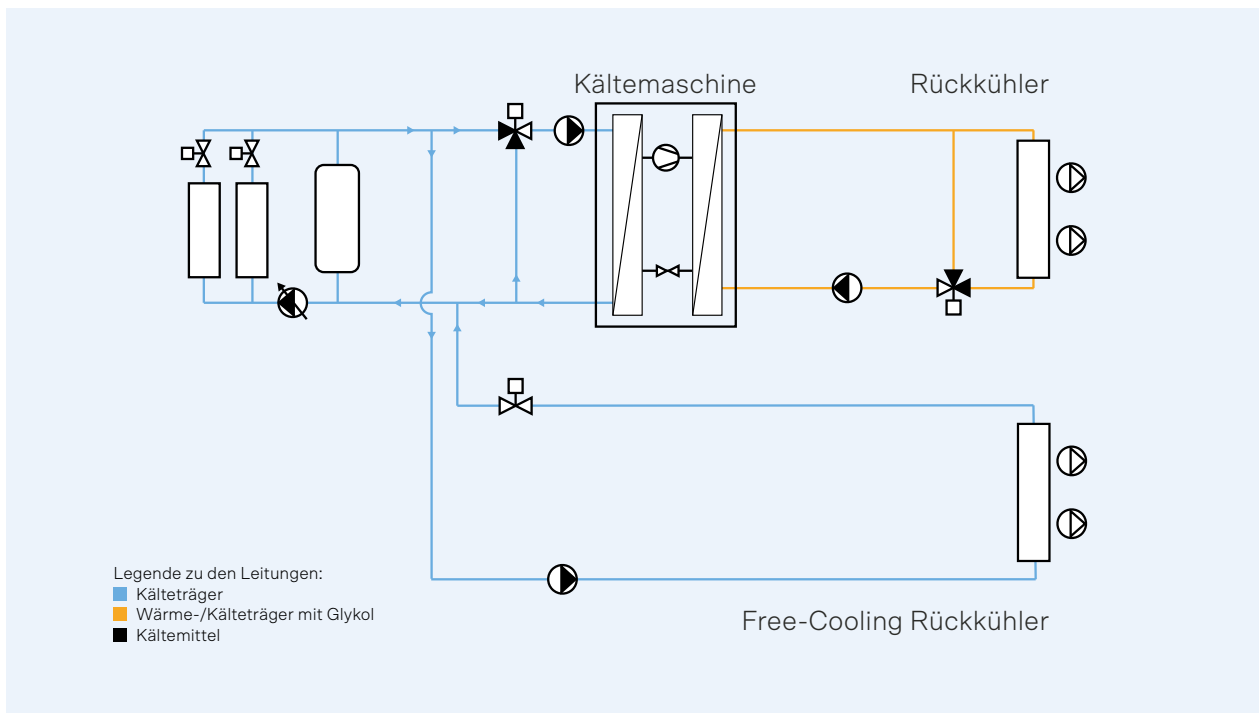
Hinweis

Liegt der Wärmeübertrager für das Free-Cooling im Aussenbereich, können die wasserführenden Leitungen und der Plattentaucher sehr gut gedämmt und mit einer Begleitheizung (2 °C) vor dem Einfrieren geschützt werden. Dann kann auf Glykol im Kaltwassernetz verzichtet werden.

Free-Cooling bei Kaltwassersätzen 2

Variante 2: Free-Cooling über einen parallel eingebundenen, zusätzlichen Rückkühler

Betrieb: bivalent-alternativ («entweder oder»)



In der Regel für Anlagen mit Kälteverbrauchern geeignet, die mit folgender Kältekreis-Vorlauftemperatur arbeiten:

Vorlauftemperatur Kältekreis

bei trockenem Rückkühler: grösser 22 °C
bei benetztem Rückkühler: grösser 18 °C

Im Free-Cooling-Betrieb ist die Kältemaschine abgeschaltet.

Vorteile

- effizienter als die Variante 1

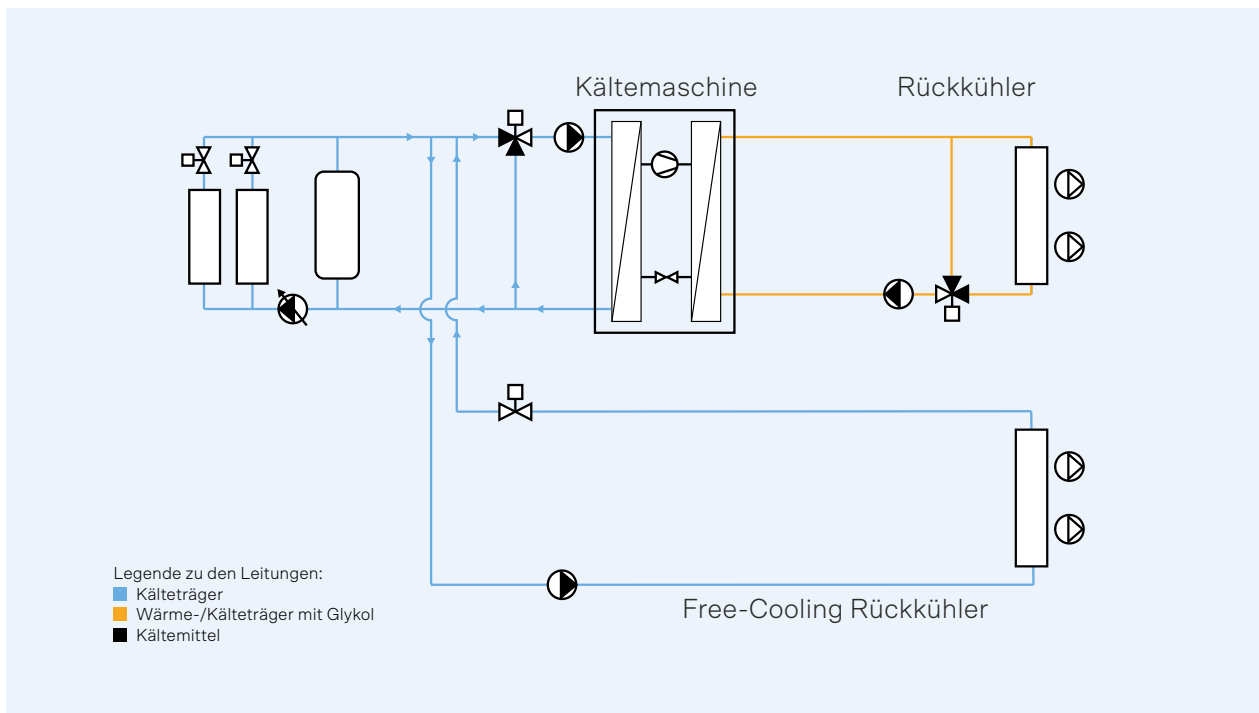
Nachteile

- aufwändigere Einbindung
- weniger effizient als Varianten 3 und 5
- Für den Frostschutz muss im gesamten System Wasser-Glykol als Kälteträger eingesetzt werden. Oder es braucht einen Free-Cooling-Rückkühler, der sich bei Frostgefahr selber entleert.

Free-Cooling bei Kaltwassersätzen 2

Variante 3: Free-Cooling über einen seriell eingebundenen, zusätzlichen Rückkühler

Betrieb: bivalent-parallel («sowohl als auch»)



In der Regel für Anlagen mit Kälteverbrauchern geeignet, die mit folgender Kältekreis-Vorlauf-temperatur arbeiten:

Vorlauftemperatur Kältekreis

bei trockenem Rückkühler: grösser 18 °C
bei benetztem Rückkühler: grösser 14 °C

Im Free-Cooling-Betrieb kann die Kältemaschine unterstützend wirken.

Vorteile

- Die effizienteste Variante – gemeinsam mit Variante 5

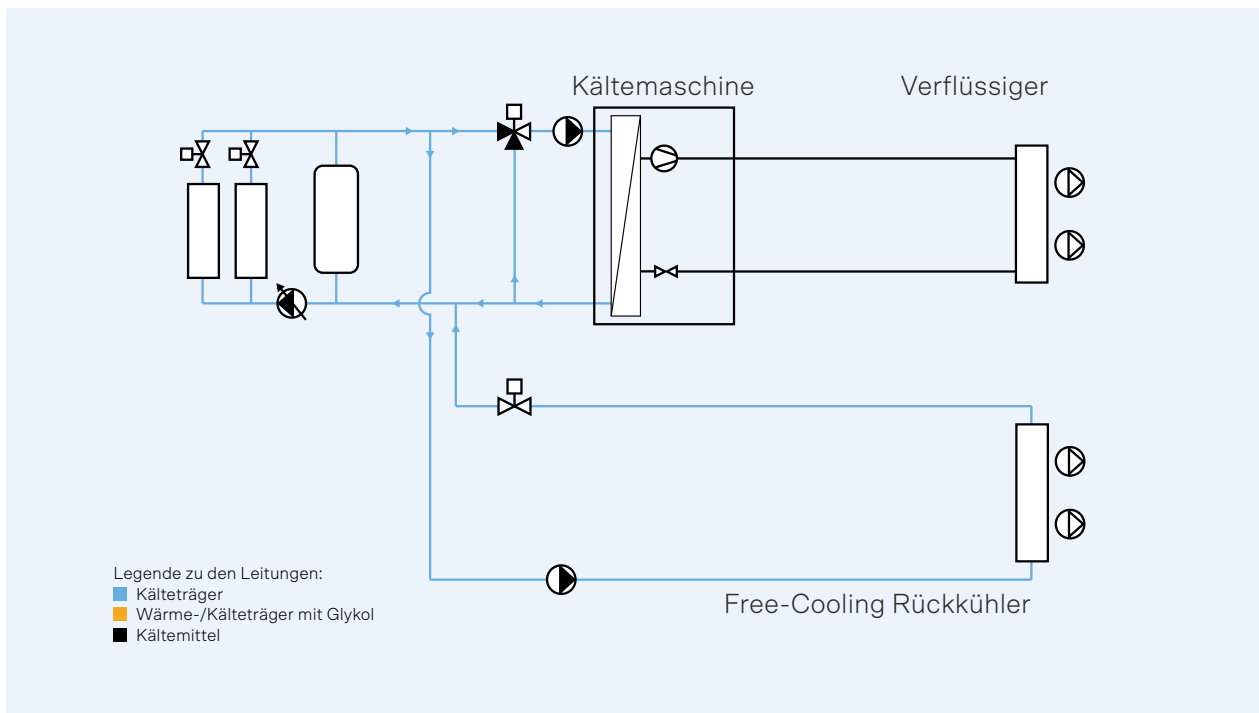
Nachteile

- aufwändigere Einbindung
- Für den Frostschutz muss im gesamten System Wasser-Glykol als Kälteträger eingesetzt werden. Oder es braucht einen Free-Cooling-Rückkühler, der sich bei Frostgefahr selber entleert.

Free-Cooling bei Direktkondensation

Variante 4: Direktkondensation mit Free-Cooling über einen parallel eingebundenen Rückkühler

Betrieb: bivalent-alternativ («entweder oder»)



In der Regel für Anlagen mit Kälteverbrauchern geeignet, die mit folgender Kältekreis-Vorlauf-temperatur arbeiten:

Vorlauftemperatur Kältekreis

bei trockenem Rückkühler: grösser 22 °C
bei benetztem Rückkühler: grösser 18 °C

Im Free-Cooling-Betrieb ist die Kältemaschine abgeschaltet.

Vorteile

- Die effizienteste Variante – gemeinsam mit Variante 5

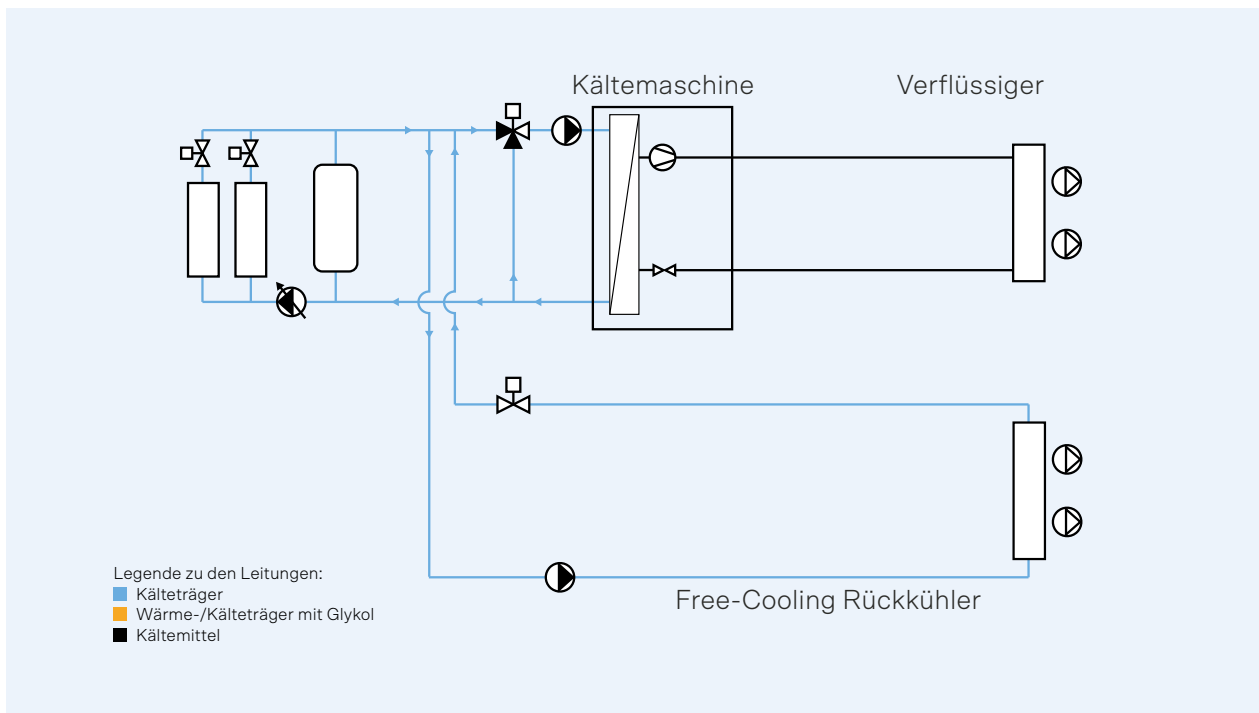
Nachteile

- aufwändigere Einbindung
- weniger effizient als Varianten 3 und 5
- Für den Frostschutz muss im gesamten System Wasser-Glykol als Kälteträger eingesetzt werden.
- Oder es braucht einen Free-Cooling-Rückkühler, der sich bei Frostgefahr selber entleert.

Free-Cooling bei Direktkondensation

Variante 5: Direktkondensation mit Free-Cooling über einen seriell eingebundenen Rückkühler

Betrieb: bivalent-parallel («sowohl als auch»)



In der Regel für Anlagen mit Kälteverbrauchern geeignet, die mit folgender Kältekreis-Vorlauf-temperatur arbeiten:

Vorlauftemperatur Kältekreis

bei trockenem Rückkühler: grösser 18 °C
bei benetztem Rückkühler: grösser 14 °C

Im Free-Cooling-Betrieb kann die Kältemaschine unterstützend wirken.

Vorteile

- Die effizienteste Variante (mit Variante 3)
- Gute Lösung für Systeme mit Kältemitteln, die einer Sicherheitsklasse mit höheren Anforderungen zugeordnet sind (natürliche Kältemittel)
- Ideal bei Aussenaufstellungen

Nachteile

- aufwändigere Einbindung
- Für den Frostschutz muss im gesamten System Wasser-Glykol als Kälte-träger eingesetzt werden.
- Oder es braucht einen Free-Cooling-Rückkühler, der sich bei Frostgefahr selber entleert.

Hinweis

Es gibt Produkte, bei denen der Verflüssiger ein direkt integriertes Free-Cooling-Paket beinhaltet. Diese benötigen keine zusätzlichen Ventilatoren, sind dadurch preiswerter und haben einen geringeren Raumbedarf.

Die Ergebnisse der Studie

Hier lohnt sich Free-Cooling

Die zhaw-Studie zeigt, dass vor allem die Vorlauf-temperatur des Kältekreises (Kälteträger) entscheidend ist, ob sich ein indirektes Free-Cooling rechnet oder nicht. Zudem weisen die seriell eingebundenen Systeme (Varianten 3 und 5 mit seriell eingebundenen Rückkühlern) das grösste Potenzial auf.

Werden Verbrauchertemperaturen (Kühlanforderung) unter 14 °C benötigt, fällt das Free-Cooling-Potenzial auf einige wenige Prozente der gesamten Kühlenergie für Klimakälte zusammen und dürfte in den meisten Fällen unwirtschaftlich sein. Bei Bürogebäuden wird Free-Cooling ab einer Kaltwasser-Vorlauftemperatur von 18 °C wirtschaftlich interessant und sollte in Betracht gezogen werden (Achtung: Raumluftfeuchte beachten).

Wann ist Free-cooling «wirtschaftlich»?

Die zhaw hat anhand von Wirtschaftlichkeitsberechnungen abgeschätzt, wie gross das Potenzial von Free-Cooling sein muss, damit es sich rechnet. Folgende drei Gruppen werden unterschieden:

- Anteil mehr als 40%: wird empfohlen
- Anteil zwischen 10 und 40%:
Wirtschaftlichkeit prüfen
- Anteil kleiner als 10%: wird nicht empfohlen

Das Free-Cooling-Potenzial ist der mögliche Beitrag des Free-Coolings an den gesamten Kühlbedarf des Gebäudes.

i Die 7 Free-Cooling-Merkmale

1. Hat das Gebäude Wärme- und Kältebedarf, sollte zuerst die Wärme der Kälteanlage im Gebäude genutzt werden. Ist dieses Potenzial ausgeschöpft, kann Free-Cooling die überschüssige Wärme aus dem Gebäude abführen.
2. Für den Free-Cooling-Betrieb muss geklärt werden, was die Auswirkungen auf die Luftfeuchtigkeit im Raum sind. Möglicherweise muss bei Anlagen mit einer Teilentfeuchtung die mechanische Lüftung eingeschaltet werden.
3. Wärmeaufnahme-systeme wie thermoaktive Bauteil-systeme TABS oder Kühldecken, die mit hohen Kaltwasser-Vorlauf-temperaturen arbeiten, eignen sich besonders gut für Free-Cooling.
4. Hybride Rückkühler erreichen tiefere Rückkühl-temperaturen und ermöglichen so einen grösseren Beitrag des Free-Coolings an den gesamten Kühlbedarf.
5. Je kühler das Klima am Standort ist (z. B. in den Alpen), desto grösser ist der Beitrag des Free-Coolings zum gesamten Kühlbedarf. Je wärmer das Klima am Standort ist (z. B. im Tessin), desto kleiner fällt der Beitrag des Free-Coolings aus.
6. Mit seriell eingebundenen Free-Cooling-Rückkühlern entstehen die effizientesten Systeme (Varianten 3 und 5).
7. Direktverdampfungsanlagen mit Free-Cooling sind energetisch nicht besser als Anlagen, die das Free-Cooling mit einem Wasserkreis realisieren.

1. Bürogebäude im Mittelland

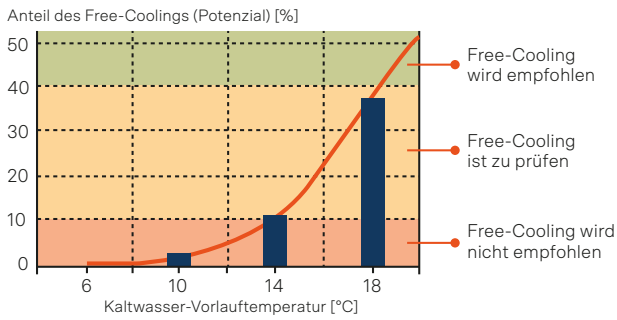


Bild: Free-Cooling-Potenzial bei Kälteanlagen mit einem seriell eingebundenen, zusätzlichen Rückkühler (Variante 3) in Bürogebäuden (Komfort-Klimakälte) im Mittelland bei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen des Kältekreises.

Der Free-Cooling-Anteil bei Warenhäusern, Fachmärkten und Behandlungsräumen (Spitäler, Arztpraxen) ist – bis auf wenige Prozent Abweichung – vergleichbar mit dem der Bürogebäude.

2. Rechenzentrum im Mittelland

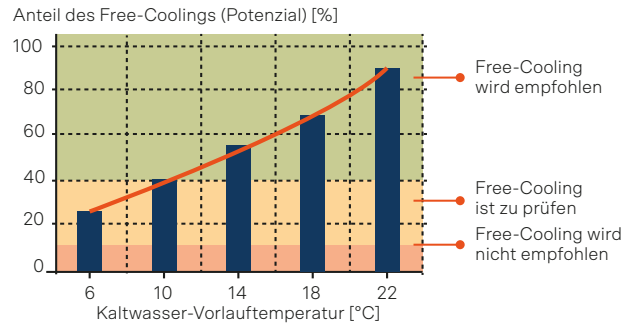


Bild: Free-Cooling-Potenzial bei Kälteanlagen mit einem seriell eingebundenen, zusätzlichen Rückkühler (Variante 3) in einem Rechenzentrum (24h/365 Tage) im Mittelland bei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen des Kältekreises.

Das Free-Cooling-Potenzial bei Rechenzentren ist interessant, da diese übers ganze Jahr gekühlt werden müssen.

Wahl des Rückkühlers

Die Wahl des Free-Cooling-Rückkühlers hat einen starken Einfluss auf die Temperaturen. Hybride Rückkühler (benetzt, besprüht, befeuchtet) haben den Vorteil, dass sie 3 bis 4 °C tiefere Rückkühltemperaturen erreichen als die Trockenrückkühler. Dadurch wird das System effizienter und es können tiefere Kaltwasser-Vorlauftemperaturen erreicht werden. Der Nachteil der hybriden Systeme sind die höheren Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten.

Übrigens ...

Free-Cooling oder PV-Anlage?

Bei Gebäuden mit einem kleinen Free-Cooling-Potenzial stellt sich die Frage, ob anstelle einer zusätzlichen Free-Cooling-Installation (Rückkühler, Leitungen, Armaturen und Steuerung) nicht besser eine Photovoltaikanlage realisiert wird. Denn Photovoltaik- und Klimakälteanlagen ergänzen sich grundsätzlich sehr gut.

Beide Systeme haben im Hochsommer ihre Leistungsspitze – die Klimakälte hat in diesen Monaten den höchsten Stromverbrauch, während mit der PV-Anlage am meisten Strom erzeugt werden kann. Aus Sicht des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes über das ganze Jahr weist eine solche Lösung bei vergleichbaren Investitionskosten oft eine bessere Gesamtbilanz auf, als eine zusätzliche Free-Cooling-Installation.

Quellen

Free-Cooling in der Klimakälte

Rohrer, König, Tillenkamp ZHAW,
2018 www.oeffizientekaelte.ch (Studie im Auftrag des BFE)

Klimakälte heute

Brunner, Kriegers, Prochaska,
Tillenkamp
Faktor-Verlag 2019

EnergieSchweiz
Bundesamt für Energie BFE
Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444
infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch
ch.linkedin.com/company/energieschweiz