

# KÄLTE EFFIZIENT ERZEUGEN

DAS WICHTIGSTE ZUR KÄLTEERZEUGUNG NACH SIA 382/1



UM AUCH IM SOMMER BEHAGLICHE RÄUME MIT GERINGEM ENERGIEBEDARF ZU ERMÖGLICHEN, IST EINE GESCHICKTE KOMBINATION VON GUTEN BAUKONSTRUKTIONEN, MINIMIERTEN WÄRMELASTEN UND EIN KONSEQUENTER EINSATZ VON FREECOOLING NOTWENDIG. FALLS DIE WÄRMELASTEN ZU GROSS SIND, IST EINE OPTIMAL GEPLANTE, INSTALLIERTE UND BETRIEBENE KÄLTEANLAGE VORZUSEHEN.

Die Berechnung des Kälteleistungsbedarfes erfolgt nach der Norm SIA 382/2 und dem Merkblatt SIA 2044. Daraus ist ersichtlich, dass die Klimatisierung als Gesamtsystem zu begreifen ist, zu dem der gekühlte Raum ebenso gehört wie die Verteilung, die Speicherung und die Erzeugung von Klimakälte sowie die Rückkühlung respektive eine allfällige Abwärmenutzung. Dieses Informationsblatt bietet die wesentlichen Fakten zur Kälteerzeugung gemäss Norm SIA 382/1.

**Wichtig:** Diese kurze Wegleitung ersetzt die Norm SIA 382/1 nicht. Für die Planung einer Kälteerzeugung sind die Anforderungen dieser SIA-Norm relevant.

## Norm SIA 382/1

Die Norm SIA 382/1 ist seit 1. Juli 2014 in Kraft und gilt für alle Lüftungs- und Klimaanlage in Gebäuden. Die für die Kälteerzeugung wesentlichen Inhalte sind im gleichnamigen Abschnitt 5.6 sowie im Anhang C enthalten. Im Zentrum stehen die Limiten für die minimalen Kaltwassertemperaturen, die Anforderungen an die Effizienz von Kälteanlagen sowie die Bedingungen, unter denen diese Vorgaben gelten. Für luftgekühlte Kältemaschinen mit einer Nutzleistung von weniger als 12 kW enthält die Norm SIA 382/1 keine Vorgaben.



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

## 14 wesentliche Punkte

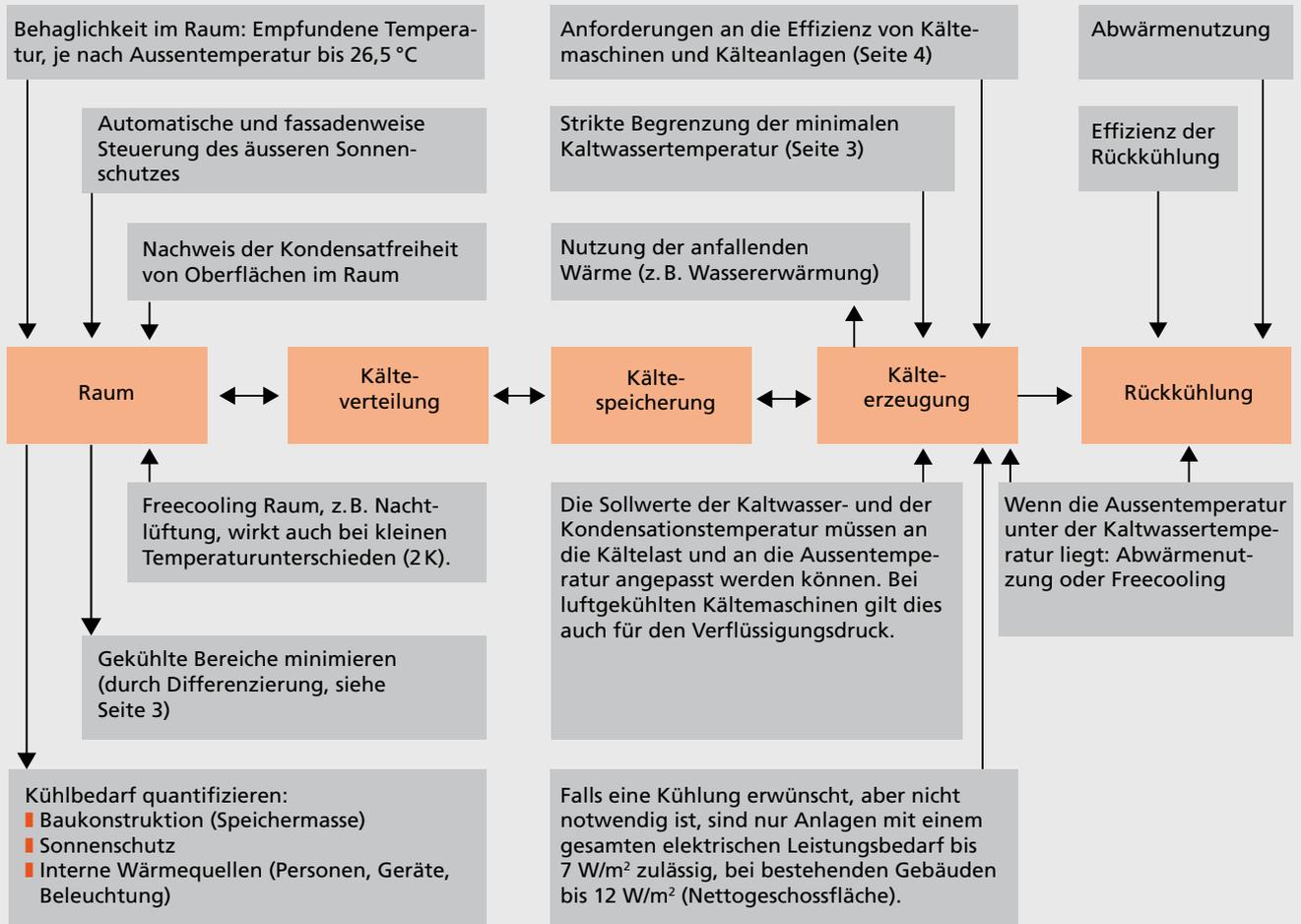


Abbildung 2

### RAUM

- Die Norm SIA 382/1 liefert Entscheidungsgrundlagen zur Klimatisierung: Für Räume mit grossen Wärmeeinträgen, jeweils auf einen Tag bezogen, ist eine Kühlung «notwendig». Ist der Wärmeeintrag mittelgross oder gering, ist eine Kühlung allenfalls «erwünscht» oder «nicht notwendig». In diesen beiden Fällen sind nur Anlagen mit kleinem Leistungsbedarf zulässig.
- Wichtige Faktoren des Kühlbedarfs sind der Sonnenschutz, die Speicherefähigkeit des Gebäudes sowie die internen Wärmelasten (Geräte, etc.).
- Soweit möglich, sind aussen montierte Sonnenschutzsysteme mit kleinem g-Wert vorzusehen.
- Räume können auch direkt durch Freie Kühlung (Freecooling) gekühlt werden (z. B. durch Nachtauskühlung).

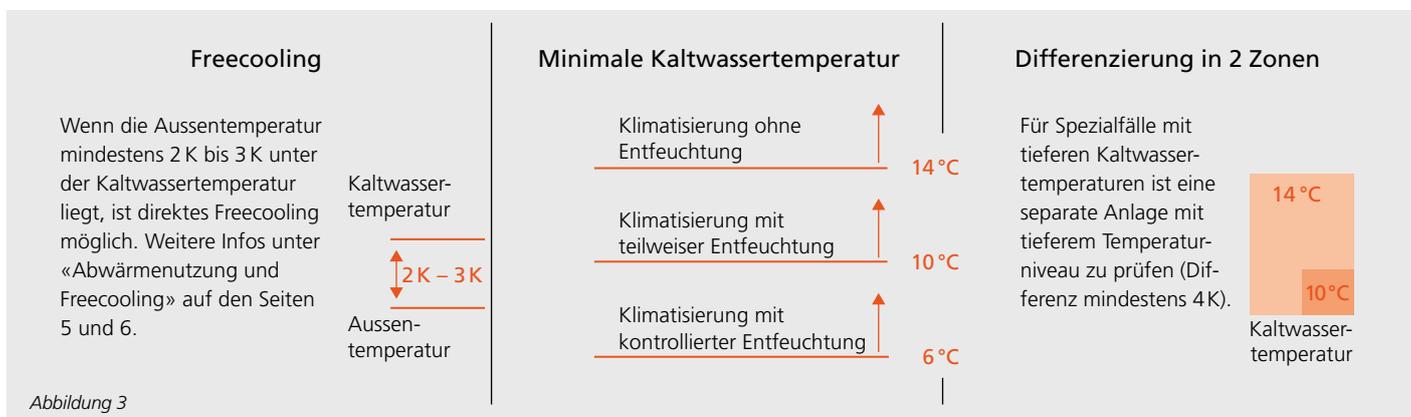
### KÄLTEVERTEILUNG

- Zur Verteilung der Kälteleistung lässt sich die Zuluftversorgung einer Lüftungsanlage nutzen, jedoch nur bis zum hygienisch bedingten Aussenluftvolumenstrom. Falls dies nicht ausreicht, ist ein wasserführendes System einzusetzen.
- Kaltwasserleitungen und Kanäle mit gekühlter Zuluft sind dampfdiffusionsdicht zu dämmen (Kondenswasser, Wärmeaufnahme; bei luftführenden Kanälen sind nur äussere Dämmungen zulässig).

### KÄLTESPEICHERUNG

- Kältespeicher sind eine sehr sinnvolle Ergänzung einer Kälteerzeugung. Dies verhindert, dass die Kältemaschine in zu kurzen Intervallen ein- und ausschaltet.
- In Verbindung mit einer Kälteerzeugung können grosse Kältespeicher sinnvoll sein, um Elektrizität einer Photovoltaikanlage zu nutzen und damit den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen.

# DAS WICHTIGSTE ZUR KÄLTEERZEUGUNG



## KÄLTEERZEUGUNG

Die Temperaturen auf der Kälteseite der Kältemaschine sollten möglichst hoch sein, jene auf der Abwärmeseite möglichst tief. Die Norm SIA 382/1 begrenzt die minimalen Kaltwassertemperaturen auf

- 14°C für Anlagen ohne Entfeuchtung
- 10°C für Anlagen mit teilweiser Entfeuchtung
- 6°C für Anlagen mit kontrollierter Entfeuchtung (siehe auch Grafik oben).

Bei Kühlung über Bodenregister, Kühldecken und thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) kann die Kaltwassertemperatur 16°C oder höher sein. Oberflächentemperaturen, die unter dem Taupunkt liegen, führen zu Kondenswasser.

### Wassergekühlte Kälteerzeuger

Wassergekühlte Kälteerzeuger müssen die in der Tabelle Seite 4 aufgelisteten Leistungszahlen EER, EER+ und ESEER zwingend erreichen. Die Hersteller sind verpflichtet, diese bei definierten Bedingungen zu dokumentieren. Zudem müssen die Leistungszahlen im Teillast-Betrieb – bei abgesenkten Rückkühltemperaturen – höher sein als jene bei Volllast.

### Luftgekühlte Kälteerzeuger

Luftgekühlte Kältemaschinen haben auf der Kaltseite (Verdampfer) einen Zwischenkreis, aus dem der Verdampfer Wärme entzieht und dadurch einen Kühleffekt im Zwischenkreis erzwingt. Auf ihrer Warmseite (Verflüssiger) hat der Kaltwassersatz keinen Zwischenkreis. Für luftgekühlte Kälteanlagen gelten die Leistungszahlen EER und ESEER gemäss der Tabelle Seite 4 für die gesamte Kälteanlage – den sogenannten Kaltwassersatz. Dieser umfasst

- den Direktverflüssiger mit den Ventilatoren auf der Warmseite,
- die Steuerung,
- die Pumpen und
- allenfalls einen Kältespeicher.

### Zu wichtigen Begriffen

**Leistungszahl:** Verhältnis von thermischer Netto-Erzeugerleistung zur elektrischen Leistungsaufnahme der Kältemaschine, Frequenzumrichter eingeschlossen. In diesem Leistungsverhältnis bleibt der Leistungsbedarf der Kaltwasserpumpen unberücksichtigt.

**EER, Energy Efficiency Ratio:** Leistungszahl bei Volllast der Kältemaschine im Kühlmodus (Grafik 4)

**EER+:** Leistungszahl bei Volllast der Kältemaschine, eingeschlossen den Leistungsbedarf für die Rückkühlung. Pumpen und Ventilatoren im Rückkühlkreislauf sind Teil der Rückkühlung und sind in den Werten EER+ berücksichtigt (Herstellerepapiere prüfen); siehe Grafik Seite 4.

**ESEER, European Seasonal Energy Efficiency Ratio:** Leistungszahl der Kältemaschine bei Teillastbetrieb. Gewichtung: 3 % mit 100%-Last, 33 % mit 75%-Last, 41 % mit 50%-Last und 23 % mit 25%-Last (bei entsprechender Rückkühlung).

**Eurovent-Klassen** ordnen Geräte zur Klimatisierung und anderen Energiedienstleistungen Energieleistungsklassen von A++ bis G nach dem Kriterium des EER zu, wobei in der Schweiz für wassergekühlte Kältemaschinen nur die Klassen bis D zulässig sind, für luftgekühlte Maschinen nur die Klassen bis B.

**COP, Coefficient of Performance:** Leistungszahl im Heizmodus. COP ist gleichwertig wie EER, wird aber bei Wärmepumpen verwendet und subsummiert die Antriebsleistung der Maschine. Deshalb ist bei gleicher Effizienz der Maschine der COP theoretisch um 1 grösser als der EER-Wert.

**Ziel- und Grenzwerte:** Grenzwerte sind einzuhalten. Die Norm SIA 382/1 führt auch Zielwerte auf, die als Richtwerte für gute Anlagen gelten. Wer energetisch sehr gute Kälteerzeuger plant, orientiert sich an den Zielwerten SIA 382/1.

## Anmerkungen zur Tabelle «Energetische Anforderungen»

- Den Grenzwerten sind Kälteerzeugerleistungen zugeordnet; Werte zwischen diesen Leistungswerten sind linear zu interpolieren.
- Diese Anforderungen gelten bei definierten Bedingungen gemäss Norm SN EN 14511 (standardisierte Angaben bei Vollast der Hersteller): Keinerlei Verschmutzung der Apparaturen; Kaltwassertemperatur 12 °C/7 °C; Rückkühlmediumtemperatur bei wassergekühlten Kältemaschinen 30 °C/35 °C; Aussenlufttemperatur (trocken) bei luftgekühlten Kältemaschinen 35 °C (entsprechen in der Regel nicht den tatsächlichen Betriebsbedingungen).

- EER und ESEER sind beide einzuhalten.
- Die Grenzwerte von EER und ESEER gelten bei einer Temperatur von 32 °C und einer relativen Feuchte von 40 % der Aussenluft. Die effektive Rückkühltemperatur der Anlage ist aufgrund der am Betriebsstandort wirkenden Bedingungen zu bestimmen.
- Teillast: Bei 50 % der Kälteleistung der Kälteanlage ist mit einer abgesenkten Rückkühlmediumtemperatur von 22 °C zu rechnen (am Eintritt zum Verflüssiger). Als Richtwerte der Aussenbedingungen gelten für Verdunstungsrückkühler 24 °C und 50 % relative Feuchte sowie für Trockenrückkühler 18 °C.

Abbildung 4

### Systemgrenze EER+ für wassergekühlte Kältemaschinen

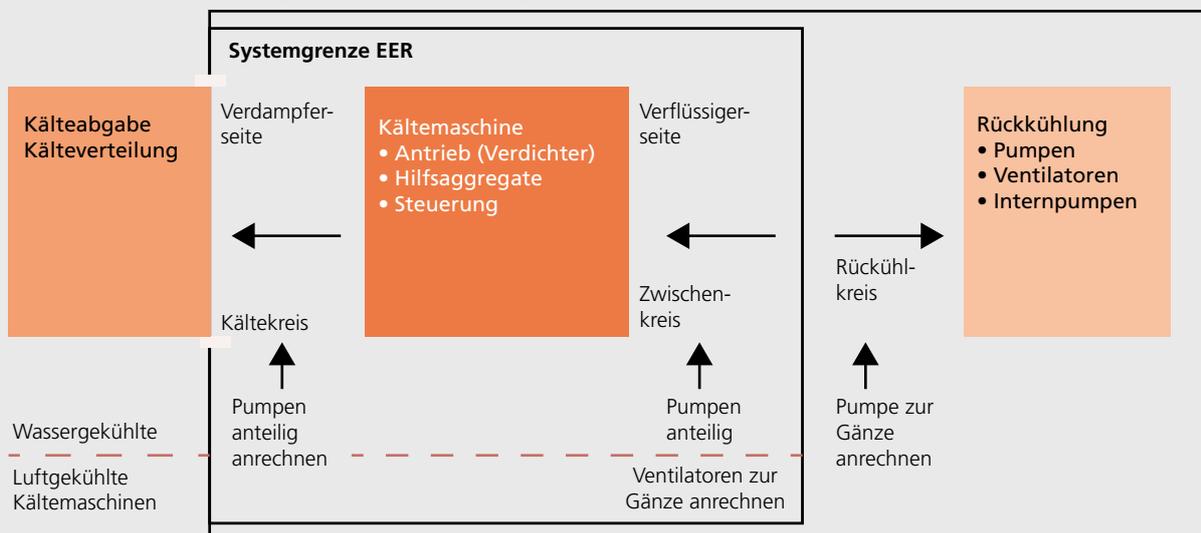


Abbildung 4: Systemgrenzen zur Berechnung von EER-Werten respektive von EER+-Werten nach Norm SIA 382/1: Der Elektrizitätsbedarf der Pumpen im Kälte- und im Zwischenkreis sind anteilig, jener der Ventilatoren im Zwischenkreis sowie der Pumpen im Rückkühlkreis ist zur Gänze für die Erfüllung der energetischen Anforderungen relevant. Die Anteile des Elektrizitätsbedarfes der Pumpen und Ventilatoren sind – im Sinne einer Näherung – proportional zum Druckverlust der beteiligten Abschnitte (Verdampfer und Verflüssiger) zu quantifizieren.

## Energetische Anforderungen an Kälteerzeuger bei Standardbedingungen

Kälteerzeugerleistung der Kältemaschine	≤ 12 kW	100 kW	300 kW	600 kW	≥ 1 000 kW
<b>Wassergekühlte Kältemaschinen</b>					
Grenzwert EER (Vollast)	3,85	4,25	4,65	5,05	5,50
Grenzwert ESEER (Voll- und Teillast)	4,30	4,80	5,50	6,10	6,70
Eurovent-Klasse nach EN 14511, mindestens	D	C	B	A	A+
<b>Wassergekühlte Kälteanlagen, inklusive Rückkühlung (Pumpen und Ventilatoren)</b>					
Grenzwert EER+ bei Vollast	3,10	3,20	3,30	3,50	3,70
Grenzwert EER+ bei 50 % Last	4,40	4,70	5,30	5,80	6,00
<b>Luftgekühlte Kältemaschinen</b>					
Kälteerzeugerleistung der Kältemaschine	12 kW	100 kW	300 kW	600 kW	≥ 1 000 kW
Grenzwert EER (Vollast)	2,90	3,10	3,20	3,40	3,50
Grenzwert ESEER (Voll- und Teillast)	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60
Eurovent-Klasse nach EN 14511, mindestens	B	A	A+	A++	A++

# ABWÄRMENUTZUNG UND FREECOOLING

Um Effizienzsteigerungen in der Kühlung von Räumen zu realisieren, stehen drei Gruppen von Massnahmen zur Auswahl (Abbildungen 5 und 6).

- Sofern im Gebäude ein Wärmebedarf besteht, ist die Nutzung von Abwärme bei Betrieb der Kältemaschine dem indirekt wirksamen Freecooling vorzuziehen (Abwärmenutzung), weil die Wärme im Gebäude genutzt werden kann.

## DIREKT IM RAUM WIRKSAMES FREECOOLING

- Mit kühler Aussenluft kann ein Raum direkt gekühlt werden. Dadurch sinkt die Temperatur der Raumluft sowie der aktivierbaren Speichermasse in Böden, Decken und Wänden.
- Diese Freecooling-Variante lässt sich auch bei sehr geringem Unterschied zwischen Aussenluft- und Raumlufttemperatur – in der Regel um 2 K bis 3 K – umsetzen.
- Die gesamte Luftströmung, vom Lufteintritt bis zum Luftaustritt, ist sicherzustellen.
- Eine einfache und sehr leistungsfähige Anwendungsform ist die Nachtauskühlung von Räumen (Luftwechselrate grösser 3).

## INDIREKT WIRKSAMES FREECOOLING

- Im Freecooling-Betrieb gelangt über den Rückkühler oder über eine externe Wärmesenke Kälte in die Kältemaschine, in die Kältespeicherung oder in die Kälteverteilung. Der Verdichter der Kältemaschine kommt dabei nicht zum Einsatz. Einzig Pumpen und Ventilatoren sind in Betrieb.
- Diese Freecooling-Variante nutzt bereits bestehende Installationen der Kälteerzeugung und der Kälteverteilung, um Kühlbeiträge indirekt zu leisten (Abbildung 5).
- Sehr häufig ist in der Rückkühleinheit einer Kälteanlage ein wasserführendes Freecooling-Register installiert. Dieses Register erlaubt einen Parallelbetrieb, bei dem sowohl die Kältemaschine, eingeschlossen deren Rückkühlung, als auch die Freecooling-Instal-

lation aktiv sind. Sofern die Aussenlufttemperatur ausreichend tief ist, kann das Freecooling den gesamten Kältebedarf decken; die Kältemaschine ist dann ausser Betrieb.

- Für Bauten mit Anschluss an ein Anergienetz ist dessen Nutzung als Wärmesenke besonders attraktiv.
- Die Grenze zu einem wirtschaftlichen Betrieb des indirekt wirksamen Freecooling liegt bei Temperaturunterschieden zwischen Aussenluft und Kaltwasser-Sollwert von 7 K.
- Mit einem wasserführenden Freecooling-Register im Rückkühler lässt sich zeitweise der gesamte Kühlbedarf abdecken, beispielsweise im Winter. In der Übergangszeit decken Kälteerzeuger und die Freecooling-Installation den Kühlbedarf gemeinsam oder abwechselnd. Im Sommer kommt diese Aufgabe vor allem der Kältemaschine zu (Abbildung 6).

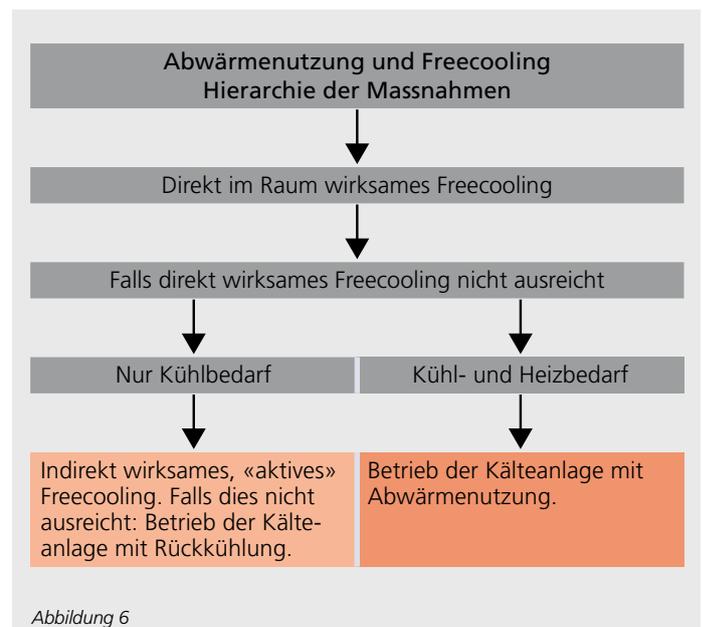
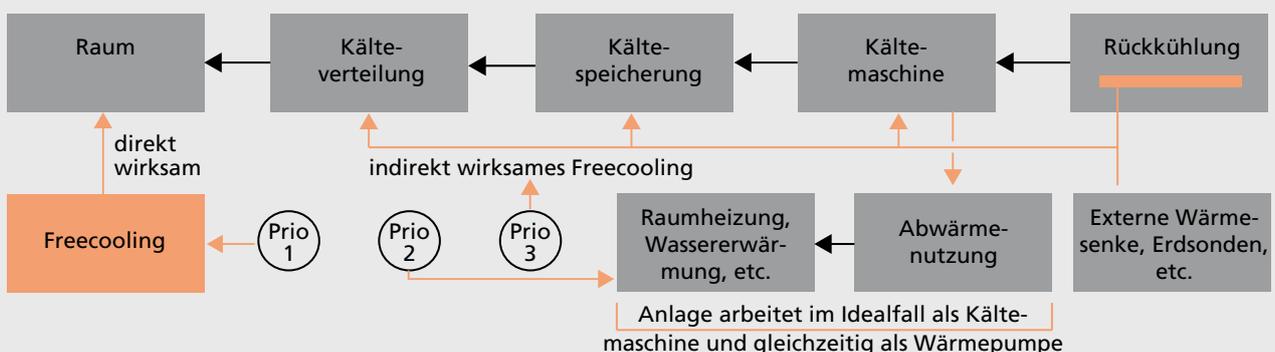


Abbildung 6

Abbildung 5



Die Abbildung 5 zeigt die vollständige Wirkungskette einer Raumkühlung vom Raum bis zur Rückkühlung (oben) sowie flankierende Massnahmen: Direkt wirksames Freecooling (1. Priorität, links), Abwärmenutzung (2. Priorität, Mitte) und indirekt wirksames Freecooling (3. Priorität). Der Nutzung von externen Wärmesenken wie Erdsonden steigert die Gesamteffizienz.

## ABWÄRMENUTZUNG

- Sofern direkt wirksames Freecooling nur ungenügende Kühlbeiträge leistet und zudem ein Wärmebedarf besteht, ist der Einsatz der Kältemaschine sinnvoll. Dadurch ergibt sich auf der Verflüssigerseite des Kälteerzeugers ein Wärmeangebot, das sich für eine Nutzung sehr gut eignet, beispielweise zur Wassererwärmung oder zur Raumbeheizung.
- «Die beste Nutzung der eingebrachten Elektroenergie wird erzielt, wenn die Anlage gleichzeitig als Kältemaschine und als Wärmepumpe genutzt wird. (...) Die bei der Kälteerzeugung anfallende Wärme ist zu nutzen, soweit dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Dies gilt insbesondere für ganzjährig betriebene Kälteanlagen» Norm SIA 382/1, Ziffer 5.6.1.2.
- Die meisten kantonalen Energiegesetze schreiben die Nutzung von Abwärme vor, sofern sie «technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist».
- Tiefe Rückkühltemperaturen stehen häufig in Konflikt mit herrschenden Aussenbedingungen. Dies gilt auch bei der Abwärmenutzung zum Zweck der Wassererwärmung und der Beheizung (bis zu 60 °C notwendig). Mit einem Enthitzer, der dem Kältemittel bis zur Kondensation Wärme entzieht, lässt sich Wärme mit deutlich höheren Temperaturen zur Verfügung stellen.

Für Freecooling respektive Abwärmenutzung sollte möglichst vorhandene Infrastruktur genutzt werden: Fenster und Aussenluftdurchlässe, Kanäle und Schächte, Wärmetauscher und Kaltwasserleitungen, etc.

### Mit Solarenergie kühlen

Die Kälteerzeugung basiert auf einem Kältekreis, der einen Antrieb bedingt. Bei Kältemaschinen mit Kompressoren kommt die treibende Kraft aus einem Elektromotor. Den Energiebedarf lässt sich über eine Photovoltaikanlage decken. Kälte lässt sich aber auch mit Solarwärme erzeugen. Voraussetzung dazu sind Kältemaschinen, die nach den Prinzipien der Absorption oder der Adsorption funktionieren. Bei beiden Bauarten steht die Kälteerzeugung in Verbindung mit einer Sonnenkollektoranlagen oder mit einem industriellen Prozess (Abwärme). Ob mit Solarstrom oder Solarwärme – die Erträge fallen bei diesen Lösungen gleichzeitig wie die Kühllasten an.

## EFFIZIENZ DER RÜCKKÜHLUNG

- Die Effizienz der Rückkühlung lässt sich mit dem Elektro-Thermo-Verstärkungsfaktor (ETV) des Systems bewerten. Der ETV ist das Verhältnis von Rückkühlleistung und Leistungsbedarf der beteiligten Komponenten (Pumpen respektive Ventilatoren; siehe Tabelle unten).

Effizienz der Rückkühlung und der Kaltwasserförderung – Richtwerte gemäss Norm SIA 382/1 (bei Volllast)

	Rückkühl-ventilato-ren	Rückkühl-pumpen	Kaltwas-serpum-pen
Elektro-Ther-mo-Verstärkungsfak-tor ETV	über 28	über 85	über 65
Anteil der elek-trischen Leistung der Komponente an der Rückkühlleistung	höchstens 3,6 %	höchstens 1,2 %	höchstens 1,5 %

### Wärmelasten reduzieren

Externe und interne Wärmelasten treiben den Kühlbedarf hoch. Mit einem guten Sonnenschutz, grosser Speichermasse in der Gebäudesubstanz, effizienten Geräten und Leuchten reduzieren sich die Kühllasten enorm. Besonders wirksam ist die Ableitung von Wärme direkt an der Quelle. Positiv wirkt sich bei hohen Aussenlufttemperaturen die Reduktion des ungekühlten Aussenluftstromes in der Lüftung aus. Dieser Eingriff sollte durch die Steuerung der Lüftungsanlage automatisch erfolgen.