

KLIMAKÄLTE

Kampagne effiziente Kälte

# KÄLTEMITTEL-FIBEL

## FÜR HEIZUNGS-, LÜFTUNGS- UND KLIMA-FACHLEUTE



**energie schweiz**  
Unser Engagement: unsere Zukunft.

# INHALT

---

KÄLTEMITTEL – DIE «LEBENSADER» JEDER KÄLTEANLAGE .....	3
SECHS TYPISCHE KÄLTEMITTEL .....	4
DIE WICHTIGSTEN KÄLTEMITTEL IN DER KLIMAKÄLTE .....	5
ENERGIEEFFIZIENZ IN DER KLIMAKÄLTE .....	7
WO DARF WELCHES KÄLTEMITTEL EINGESETZT WERDEN? .....	9
• Komfort-Klimakälte .....	10
• Industrie-Klimakälte .....	12
• Systeme zum Heizen und Kühlen .....	13
• VRV-VRF-Klimasysteme .....	14
BAULICHE MASSNAHMEN .....	16
KÄLTEMITTELERSATZ .....	19
WEITERE INFORMATIONEN .....	20

## ABGRENZUNG

Die Kältemittel-Fibel arbeitet den Themenbereich Kältemittel, Energie und Umwelt bei der Klimakälte für Heizungs-Lüftung-Klima-Fachleute (HLK) auf eine leicht verständliche Art und Weise auf. Das Thema «Kältemittel in Wärmepumpen» wird in diesem Dokument nicht behandelt.

Die Kältemittel-Fibel ersetzt nicht die bestehenden Vorschriften, Vollzugshilfen und Normen, sondern greift die Schwerpunkte auf, die 70 % der Fälle abdecken. So soll den HLK-Fachleuten der Zugang zum Thema Kältemittel vereinfacht werden. Die Fibel versteht sich als Hilfestellung zur Umsetzung der ChemRRV<sup>1</sup> sowie der Normen SN EN 378 (Sicherheit) oder SIA 382/1 (Energie). Im Zweifelsfall kommen die entsprechenden Originaltexte zur Anwendung.

Dieses Dokument wurde im Rahmen des Programms Energie Schweiz und mit finanzieller Unterstützung des Bundesamts für Umwelt BAFU erarbeitet.

## WIR DANKEN UNSEREN PARTNERN



<sup>1</sup> ChemRRV, Anhang 2.10 (SR 814.81)

# KÄLTEMITTEL – DIE «LEBENSADER» JEDER KÄLTEANLAGE

Als Transportmedium der Wärme ist das Kältemittel die unerlässliche Lebensader jeder Klimakälteanlage. Es nimmt die Wärme bei der tiefen Temperatur im Verdampfer auf, wird im Verdichter komprimiert, erwärmt sich dadurch und gibt die Wärme im Verflüssiger wieder ab.

Von der Planung bis zum Betrieb der Klimatisierung gibt es bei den Kältemitteln verschiedene Punkte zu beachten: Kältemittel können die Energieeffizienz beeinflussen, können brennbar, giftig oder klimaschädigend sein. Ihre Zulässigkeit ist hauptsächlich in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) gesetzlich geregelt.

## NATÜRLICHE KÄLTEMITTEL

Die natürlichen Kältemittel bestehen aus Substanzen, die auch in der Natur vorkommen. Sie haben keinen oder nur einen geringen schädigenden Einfluss auf die Umwelt. Allerdings sind viele von ihnen brennbar, explosiv und/oder giftig.

## SYNTHETISCHE, IN DER LUFT STABILE KÄLTEMITTEL

Die synthetischen, in der Luft stabilen Kältemittel (HFKW<sup>1</sup> und FKW<sup>2</sup>) basieren auf Fluorkohlenwasserstoffen. Als stabil werden sie bezeichnet, weil sie sich in der Luft nur langsam abbauen (mittlere Aufenthaltsdauer mehr als 2 Jahre). Wenn sie freigesetzt werden (z. B. Austritt aus einem Leck), haben sie über längere Zeit eine klimaschädigende Wirkung. Sie ermöglichen jedoch ein breites Spektrum an Eigenschaften in der Kältetechnik und sind nicht direkt giftig oder brennbar.

1 HFKW: teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (siehe Seite 9)

2 FKW: Fluorkohlenwasserstoffe

## SYNTHETISCHE, IN DER LUFT NICHT STABILE KÄLTEMITTEL

Die neuen HFO-Kältemittel<sup>3</sup> sind von der Zusammensetzung her synthetisch und bringen auch einen Grossteil der positiven Eigenschaften der synthetischen Kältemittel mit. Im Gegensatz zu den anderen synthetischen Kältemitteln sind sie in der Luft jedoch nicht stabil. Das heisst, sie haben in der Atmosphäre eine Aufenthaltsdauer von wenigen Tagen (also deutlich weniger als 2 Jahre) und somit eine sehr geringe klimaschädigende Wirkung.

## FACHBEWILLIGUNG NOTWENDIG

Wer beruflich oder gewerblich mit Kältemitteln umgeht, benötigt eine Fachbewilligung.

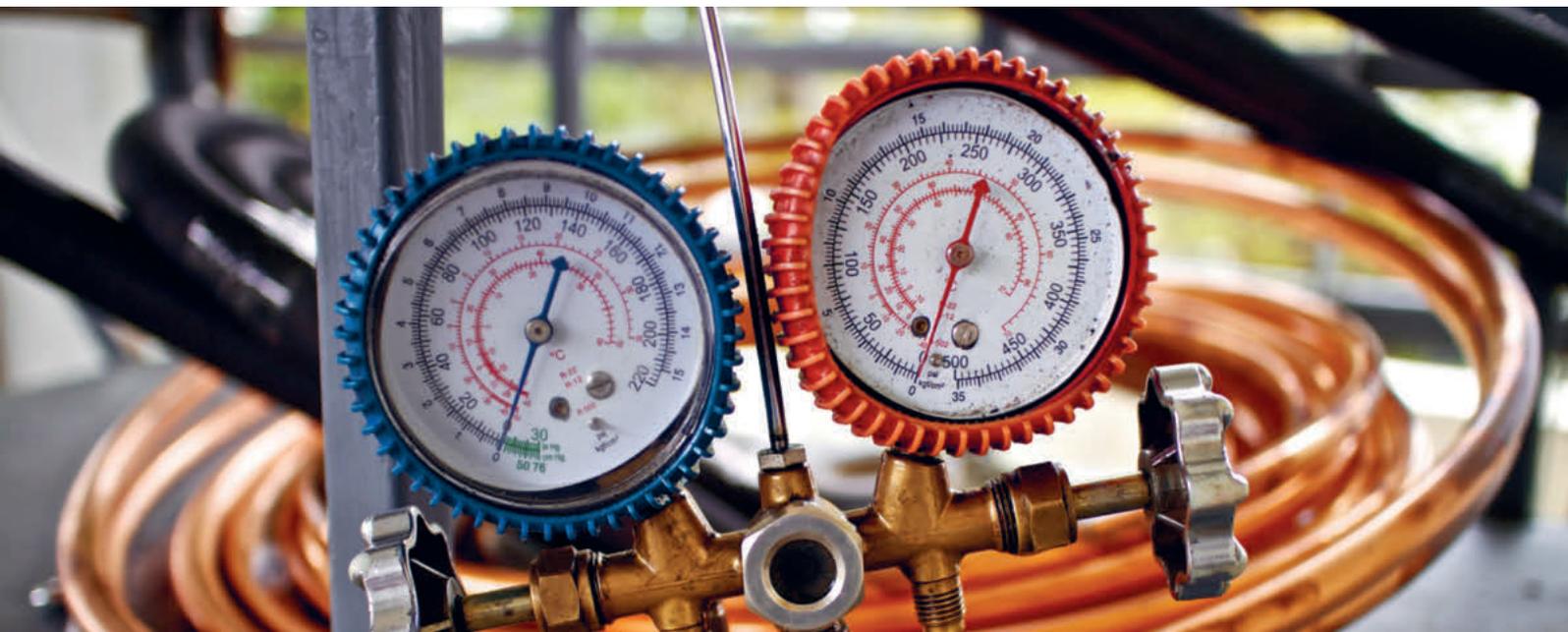
## MELDUNG OBLIGATORISCH

Kältemaschinen oder Wärmepumpen, die mit mehr als 3 kg in der Luft stabilen Kältemitteln betrieben werden, müssen der Meldestelle für Kälteanlagen gemeldet werden:  
[www.meldestelle-kaelte.ch](http://www.meldestelle-kaelte.ch)

## ENERGIEEFFIZIENZ BEACHTEN

Die Wahl des Kältemittels, der Komponenten und das Konzept beeinflussen den Energieverbrauch der ganzen Klimakälteanlage. Die volumenstrombezogene Kälteleistung ist ein erster Hinweis zur Wirtschaftlichkeit einer Klimakälteanlage. Die Wahl des Kältemittels kann die Gesamteffizienz des Systems um 10 bis 15 % verändern!

3 HFO: Hydro-Fluor-Olefine (siehe Seite 9)



# SECHS TYPISCHE KÄLTEMITTEL

Vor- und Nachteile von sechs typischen Kältemitteln der Klimakälte im Überblick.

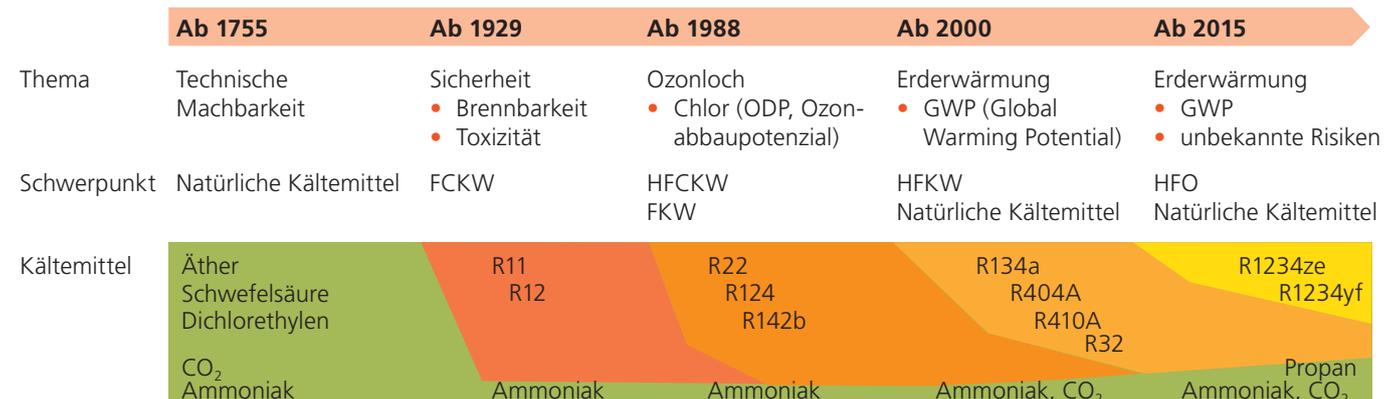
R134a	R290 (Propan)	R410A
synthetisches, in der Luft stabiles Kältemittel	natürliches Kältemittel	synthetisches, in der Luft stabiles Kältemittel
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ erprobtes Kältemittel</li> <li>+ nicht brennbar<sup>1</sup></li> <li>+ geringere Toxizität</li> <li>- hoher GWP (1430)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ erprobtes Kältemittel</li> <li>- höhere Brennbarkeit</li> <li>+ geringere Toxizität</li> <li>+ tiefer GWP (3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ erprobtes Kältemittel</li> <li>+ nicht brennbar<sup>1</sup></li> <li>+ geringere Toxizität</li> <li>- hoher GWP (2090)</li> <li>- hoher Druck (30–35 bar)</li> </ul>
R717 (Ammoniak)	R744 (CO <sub>2</sub> )	R1234ze, R1234yf
natürliches Kältemittel	natürliches Kältemittel	synthetische, in der Luft nicht stabile Kältemittel
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ erprobtes Kältemittel</li> <li>- geringe Brennbarkeit</li> <li>- höhere Toxizität</li> <li>+ tiefer GWP (0)</li> <li>- wirtschaftlicher Einsatzbereich ab 200 kW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ erprobtes Kältemittel</li> <li>+ nicht brennbar<sup>1</sup></li> <li>+ geringere Toxizität</li> <li>+ tiefer GWP (1)</li> <li>- hoher Druck (80–90 bar)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- noch keine Langzeiterfahrung</li> <li>- geringere Brennbarkeit</li> <li>+ geringere Toxizität</li> <li>+ tiefer GWP (4) resp. (7)</li> </ul>

<sup>1</sup> Mit nicht brennbar ist der Fachausdruck «keine Flammenbildung» gemeint.

## WAS UNS DIE GESCHICHTE DER KÄLTEMITTEL LEHRT

Die industrielle Kältetechnik beginnt mit natürlichen Kältemitteln wie zum Beispiel Ammoniak. Diese sind – mit Ausnahme des CO<sub>2</sub> – allerdings nicht ungefährlich. Einige sind explosiv, andere sind giftig. Aus dem Wunsch nach mehr Sicherheit entstanden die synthetischen Kältemittel (FCKW, HFCKW, HFKW), die weniger gefährlich sind in der Handhabung. Erst später erkannte man, dass sie die Umwelt bedrohen: Kältemittel mit Chlor

schädigen die Ozonschicht und fluorhaltige Stoffe fördern die Erderwärmung. Daher sind die ozonschichtabbauenden Kältemittel (FCKW, HFCKW) schon heute verboten. Kältemittel mit hohem Treibhauspotenzial (GWP) werden künftig stärker eingeschränkt. Neue, Low-GWP-Kältemittel (HFO) müssen sich in der Praxis noch bewähren und dürfen kein neues Schadenspotenzial entwickeln.



# DIE WICHTIGSTEN KÄLTEMITTEL IN DER KLIMAKÄLTE

Kältemittel	GWP	Volumenstrom- bezogene Kälteleistung	Temperaturbereich einer wirtschaftlichen Abwärmenutzung	Praktischer Grenzwert	Sicherheits- klasse	Toxizität	Brennbarkeit
	[1]	[2] kJ/m <sup>3</sup>	[3] °C	[4] kg/m <sup>3</sup>	[5] (Seite 16)	[6]	[7]

## Synthetische, in der Luft stabile Kältemittel

R32	675	5300	35–45 (max. 55)	0.061	A2L	gering toxisch	gering brennbar
R134a	1430	2050	30–40 (max. 75)	0.25	A1	gering toxisch	nicht brennbar
R407C	1770	3000	30–40 (max. 55)	0.31	A1	gering toxisch	nicht brennbar
R410A	2090	4600	30–40 (max. 55)	0.44	A1	gering toxisch	nicht brennbar
R452B	698	4400	30–40 (max. 55)	0.062	A2L	gering toxisch	gering brennbar
R454A	466	1600	30–40 (max. 75)	0.061	A2L	gering toxisch	gering brennbar
R513A	631	2050	30–40 (max. 75)	0.35	A1	gering toxisch	nicht brennbar

## Synthetische, in der Luft nicht stabile Kältemittel

R1234ze	7	1550	30–40 (max. 85)	0.061	A2L	gering toxisch	gering brennbar
R1234yf	4	1900	30–40 (max. 75)	0.058	A2L	gering toxisch	gering brennbar

## Natürliche Kältemittel

R290	Propan	3	2750	30–40 (max. 60)	0.008	A3	gering toxisch	hoch brennbar
R717	Ammoniak	0	3650	30–40 (max. 80)	0.00035	B2L	hoch toxisch	gering brennbar
R1270	Propen (Propylen)	3	3350	30–40 (max. 55)	0.008	A3	gering toxisch	hoch brennbar
R744	CO <sub>2</sub>	1	8500	30–60 (max. 90) [8]	0.1	A1	gering toxisch	nicht brennbar

[1] GWP = Global Warming Potential (Treibhauspotenzial), Quelle: IPCC IV, 2007, Assessment report

[2] Werte gelten für  $t_o = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_e = 40^\circ\text{C}$

[3] Richtwerte der Abwärmepertemperaturen, bei denen die Wärmeenergie zu einem Wärmepreis von weniger als 2 Rp./kWh ausgekoppelt werden kann. Je nach Verdichtertyp und Anlagekonzept sind auch nutzbare Abwärmen mit höherer Temperatur möglich. Die maximale Temperatur des jeweiligen Kältemittels liegt im Bereich des in der Klammer aufgeführten Wertes. In jedem Fall muss die Wirtschaftlichkeit (Mehraufwand und Mehrertrag) beachtet werden. Mit einem Enthitzer können ca. 10 % bis 15 % der Verflüssigerleistung – ohne Anheben der Kondensationstemperatur – genutzt werden. Diese Abwärme ist «gratis» (siehe auch: Grundlagendokument zur Leistungsgarantie Kälteanlagen, Seite 3: Abwärmenutzung, EnergieSchweiz/SVK 2015).

[4] Mit dem praktischen Grenzwert kann die höchste zugelassene Konzentration in einem Personen-Aufenthaltsbereich berechnet werden. Je nachdem, welcher Wert höher ist, bestimmt die Toxizität oder die Brennbarkeit den praktischen Grenzwert (siehe Anhang C, SN EN 378-1). Sofern restriktivere nationale oder regionale Bestimmungen vorhanden sind, haben diese vor den Anforderungen der Norm an diese Grenzwerte Vorrang.

[5] Siehe auch Kapitel «Bauliche Massnahmen» (Seite 16 ff.)

[6] Für eine bessere Verständlichkeit sprachlich leicht angepasst. Die verwendeten Bezeichnungen entsprechen der Einordnung in der SN EN 387-1, Anhang E, wie folgt:  
gering toxisch = Klasse A (geringere Giftigkeit)  
hoch toxisch = Klasse B (grössere Giftigkeit)

[7] Für eine bessere Verständlichkeit sprachlich leicht angepasst. Die verwendeten Bezeichnungen entsprechen der Einordnung in der SN EN 387-1, Anhang E, wie folgt:  
nicht brennbar = Klasse 1 (keine Flammenbildung)  
gering brennbar = der Klasse 2 (geringere Brennbarkeit)  
hoch brennbar = entspricht der Klasse 3 (grössere Brennbarkeit)

[8] Beim CO<sub>2</sub> ist die Rücklaufstemperatur (Eintrittstemperatur des CO<sub>2</sub> in den Gaskühler/Verflüssiger) entscheidend. Diese muss möglichst tief sein (Faustregel immer unter 35 °C).



**DAS KÄLTEMITTEL BEEINFLUSST  
DIE ENERGIEEFFIZIENZ UND HAT  
AUSWIRKUNGEN AUF BAU, BETRIEB  
UND KLIMAERWÄRMUNG.**

**DAS «RICHTIGE» KÄLTEMITTEL SENKT  
DIE KOSTEN DER BAUHERRSCHAFT.**

# ENERGIEEFFIZIENZ IN DER KLIMAKÄLTE

Die Wahl des Kältemittels beeinflusst die Energieeffizienz der Anlage um 10 bis 15 %. Die Grafiken zeigen die Situation bei einer mittleren Verflüssigungstemperatur (Praxissituation und nicht Auslegungssituation).

## ENERGIEEFFIZIENZ UND VOLUMENSTROMBEZOGENE KÄLTELEISTUNG

Die volumenstrombezogene Kälteleistung eines Kältemittels sagt nur etwas aus über die Grösse des Verdichters. Ein Kältemittel mit einer hohen volumenstrombezogenen Kälteleistung muss nicht energieeffizienter sein als eines mit einer tiefen.

Die Kältemittelwahl hat

- einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse resp. die Investitionskosten des Verdichters (je grösser die volumenstrombezogene Kälteleistung, desto kleiner wird der Verdichter);
- einen grossen Einfluss auf die baulichen Massnahmen resp. die Baukosten (siehe «Bauliche Massnahmen», Seite 16);
- einen grossen Einfluss auf den Beitrag zur Klimaerwärmung.

## WICHTIG FÜR DIE ENERGIEEFFIZIENZ SIND DIE KALTWASSESTEMPERATUR UND DIE VERFLÜSSIGUNGSTEMPERATUR.

## HEBEL ZU MEHR ENERGIEEFFIZIENZ

Der Hebel zu einer effizienten Klimakälteanlage liegt im korrekten und bedarfsgerechten Betrieb der Klimakälteanlage. Führt die Wahl des Kältemittels zu Effizienzsteigerungen von 10 bis 15 % (in Abbildung 2 hell eingefärbte Bandbreite), so ermöglicht eine korrekte Auslegung (Kaltwassertemperatur 14°C statt 6°C und Kondensationstemperatur 30°C statt 45°C) eine Effizienzsteigerung von gegen 100 %.

\* Berechnungsgrundlagen: Kondensationstemperatur ( $t_c$ ) 35°C, Temperaturdifferenz Kaltwasseraustritt zu Verdampfungstemperatur < 5 K (z. B. für die Berechnung der Werte der Kaltwassertemperatur von 14°C wird mit einer Verdampfungstemperatur von 9°C gerechnet).

\*\* Bei 30°C Kondensationstemperatur ( $t_c = 30^\circ\text{C}$ ) und 18°C Verdampfungstemperatur ( $t_v = 18^\circ\text{C}$ ) kommt der Verdichter an seine Einsatzgrenze (Druckverhältnisse).

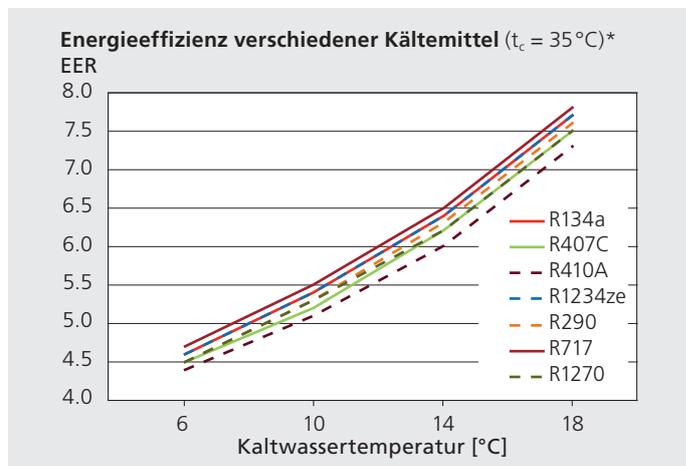


Abbildung 1: Energieeffizienz EER (nur Verdichter) mit verschiedenen Kältemitteln bei unterschiedlichen Kaltwassertemperaturen.

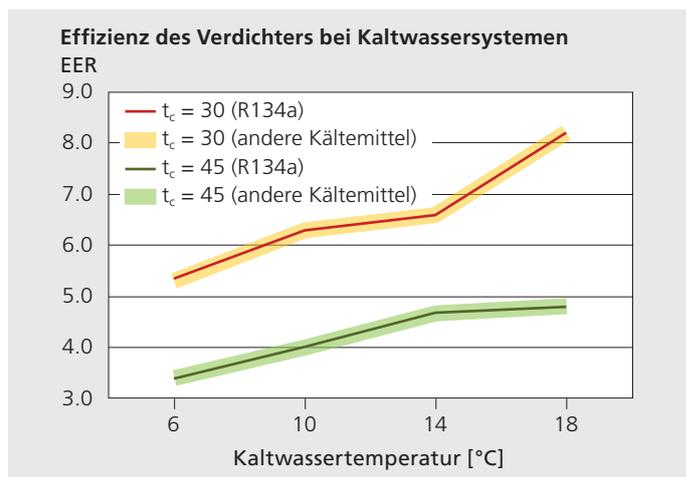


Abbildung 2: Effizienz eines Verdichters (EER) in einem Kaltwassersystem bei unterschiedlichen Kaltwassertemperaturen. Je kleiner der Temperaturhub, desto effizienter die Klimakälteanlage.

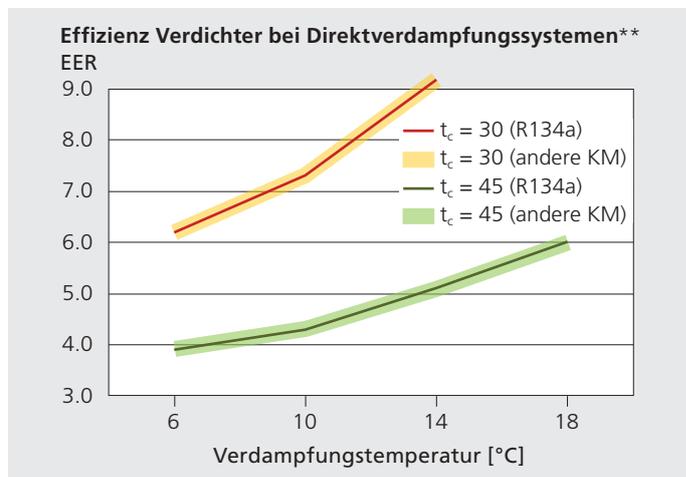


Abbildung 3: Effizienz eines Verdichters (EER) eines Direktverdampfers bei unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen. Je kleiner der Temperaturhub, desto effizienter die Klimakälteanlage.



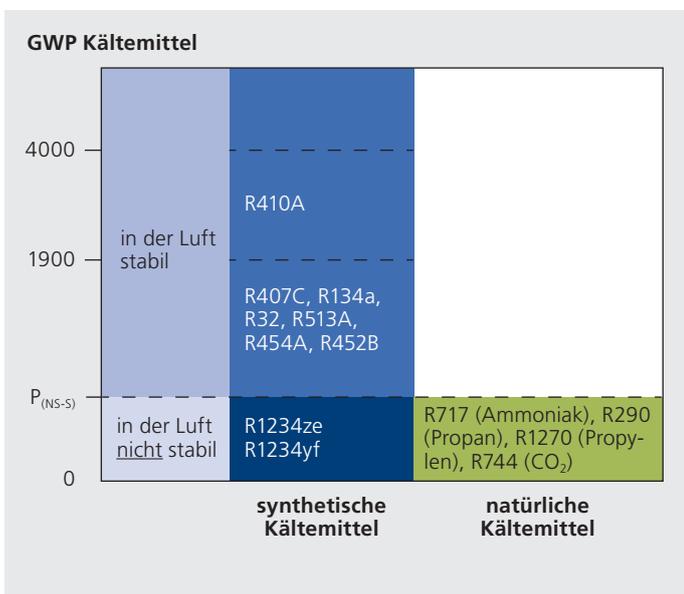
# WO DARF WELCHES KÄLTEMITTEL EINGESETZT WERDEN?

Die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) legt fest, welches Kältemittel (abhängig von der Aufenthaltsdauer in der Luft und vom GWP) in welchen Anlagen (abhängig von der benötigten Kälteleistung) eingesetzt werden darf. In der Regel prüft der Lieferant der Klimakälteanlage, ob die rechtlichen Vorgaben eingehalten werden. Doch bereits bei der Planung von Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen ist es nötig, sich Gedanken über das Kältemittel zu machen. So können bauliche und organisatorische Auswirkungen frühzeitig miteinbezogen werden.

## KLASSIFIZIERUNG DER KÄLTEMITTEL

Die ChemRRV unterscheidet zwischen in der Luft nicht stabilen (natürlichen Kältemitteln und HFO) und in der Luft stabilen Kältemitteln. Innerhalb der in der Luft stabilen Kältemittel gibt es nochmals drei Gruppen. Solche mit einem GWP mit weniger als 1900, solche zwischen 1900 und 4000 und solche mit einem GWP von mehr als 4000. In diesem Dokument wird die Abgrenzung zwischen nicht stabil und stabil mit dem Punkt «P<sub>(NS-S)</sub>» dargestellt.<sup>1</sup> Die unten stehende Grafik illustriert diese Abgrenzungen und zeigt einige wichtige Kältemittel in den beschriebenen Bereichen. Auf den folgenden Seiten sind die Anforderungen an die Kältemittel bei den unterschiedlichen Anwendungen grafisch aufgearbeitet und übersichtlich dargestellt.

<sup>1</sup> Punkt «P<sub>(NS-S)</sub>»: NS = nicht stabile, S = stabile Kältemittel



## KÄLTELEISTUNG Q<sub>o</sub>

Die in der ChemRRV aufgeführte Kälteleistung Q<sub>o</sub> entspricht der Nutzkälteleistung einer Anlage bei Spitzenverbrauch. Eine Kälteanlage umfasst alle Kältemaschinen und Kühlkreisläufe, welche von den unten aufgeführten Kriterien

- die Kriterien 1 und 2, sowie zusätzlich
- das Kriterium 3 oder 4 erfüllen:
  1. Die Kältemaschinen oder Kühlkreisläufe werden vom gleichen Eigentümer betrieben
  2. Sie arbeiten auf ähnlichem Temperaturniveau (≤ 4 K Differenz)
  3. Sie können im gleichen oder in benachbarten Maschinenräumen installiert werden
  4. Deren Kälteverbraucher befinden sich im gleichen Gebäude oder können durch den gleichen Kälte-trägerkreislauf versorgt werden

Die ausführliche Definition und erklärende Beispiele können in der Vollzugshilfe des BAFU nachgelesen werden.

## AUSNAHMEBEWILLIGUNG DURCH DAS BAFU

Ausnahmsweise, wenn aktuelle Sicherheitsnormen für Kälteanlagen und Wärmepumpen (SN EN 378) nur mit einem in der Luft stabilen Kältemittel eingehalten werden können, kann das Bundesamt für Umwelt BAFU auf begründetes Gesuch eine Ausnahmebewilligung für das Inverkehrbringen der betreffenden Anlage gewähren (siehe weitere Informationen, Seite 20).

## EINIGE KURZZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN

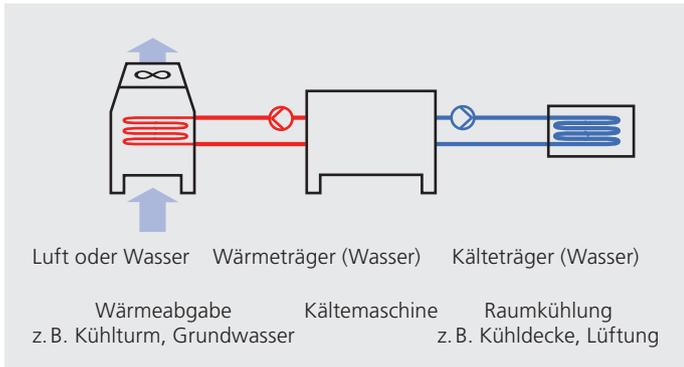
- R410A** R steht für Refrigerant – (englisch Kältemittel), 410A für die chemische Zusammensetzung des Kältemittels
- F-Gase** F-Gase sind fluorierte Treibhausgase mit hoher Klimawirksamkeit. Zu den F-Gasen zählen unter anderem HFKW und PFKW
- GWP** Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
- KW** Kohlenwasserstoffe, z.B. Propan, Isobutan, Propen
- HFKW** Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe enthalten kein Chlor, sind jedoch klimawirksam (GWP)
- PFKW** Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
- HFO** Hydro-Fluor-Olefine, auch Low-GWP-Kältemittel genannt

## ERLAUBTE KÄLTEMITTEL IN DER KOMFORT-KLIMAKÄLTE

Komfort-Klimakälte-Anlagen dienen der saisonalen Klimatisierung von Gebäuden für die Behaglichkeit von Personen (z. B. Verkaufs- oder Bürogebäude, Verwaltungsgebäude, Schulen, Gebäude mit Versammlungsräumen, Hotels usw.). Als saisonale Klimatisierung gilt eine Betriebszeit der Kältemaschine von max. 8 Monaten pro Jahr.

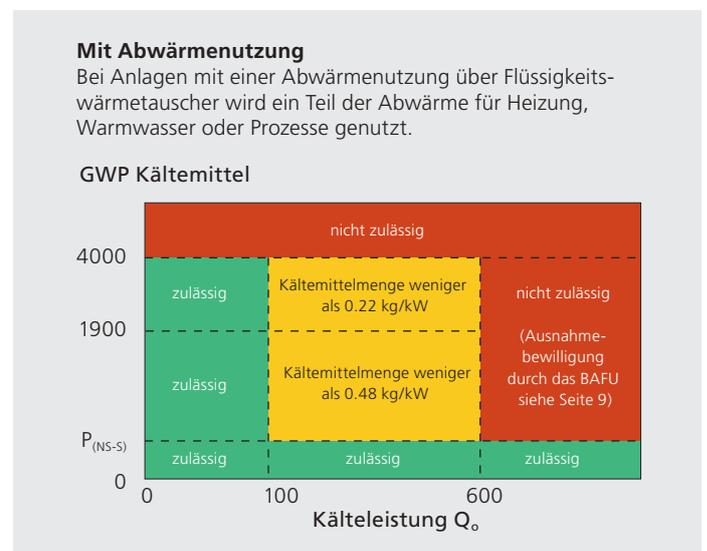
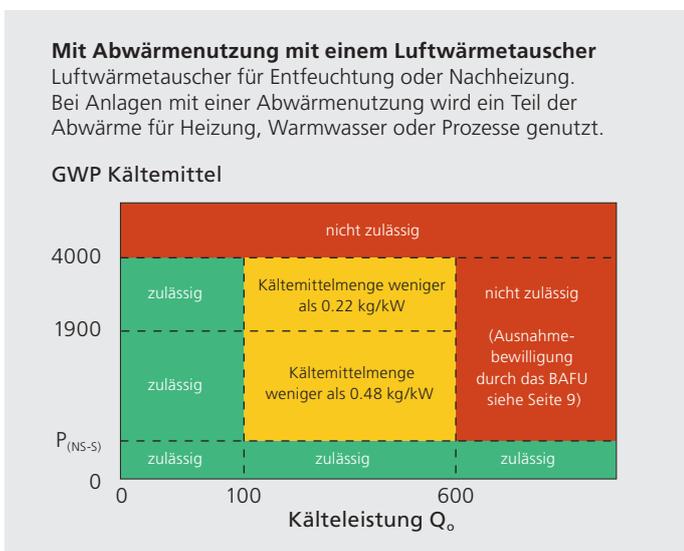
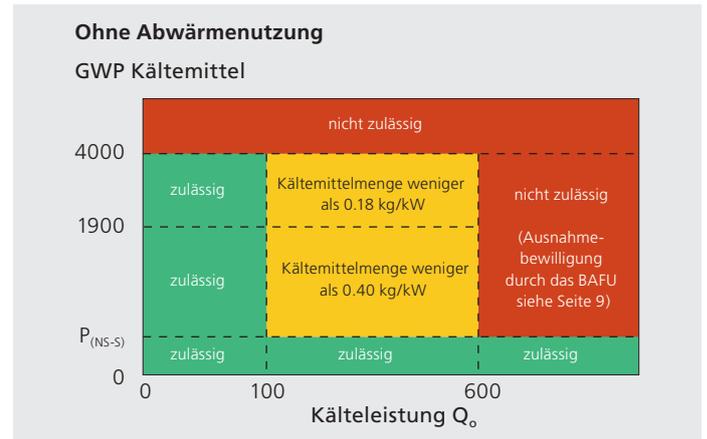
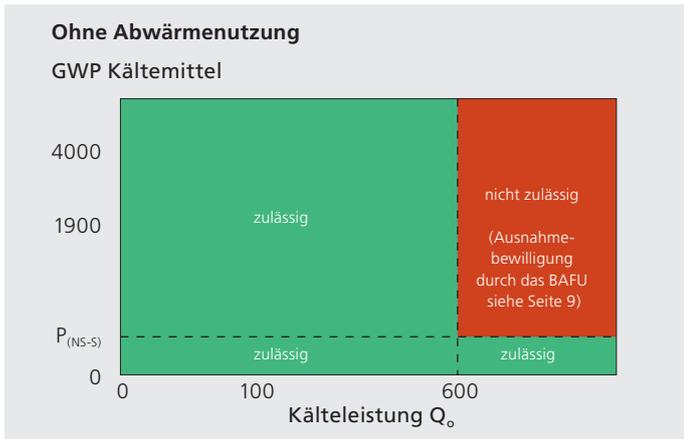
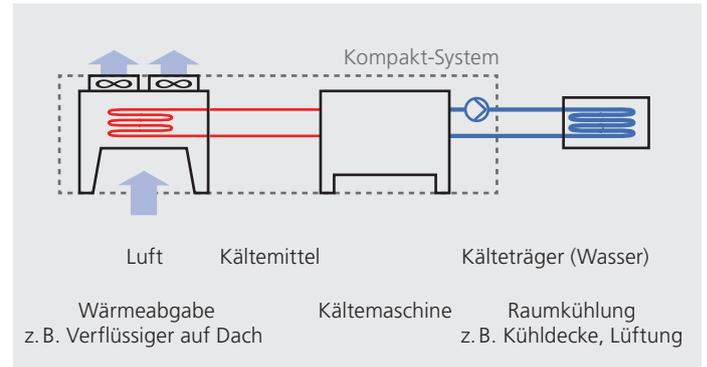
### WASSERGEKÜHLTE KÄLTEANLAGEN

In einer wassergekühlten Kälteanlage wird die anfallende Abwärme über einen Wasserkreislauf in einen Kühlturm, in Grund-, See-, Fluss- oder Fabrikwasser abgegeben.



### LUFTGEKÜHLTE KÄLTEANLAGEN

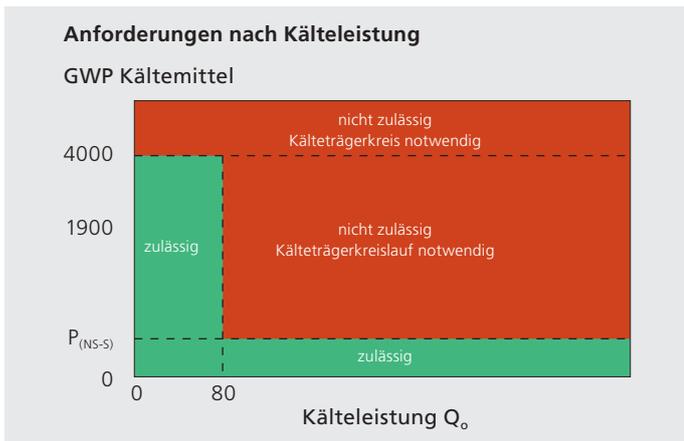
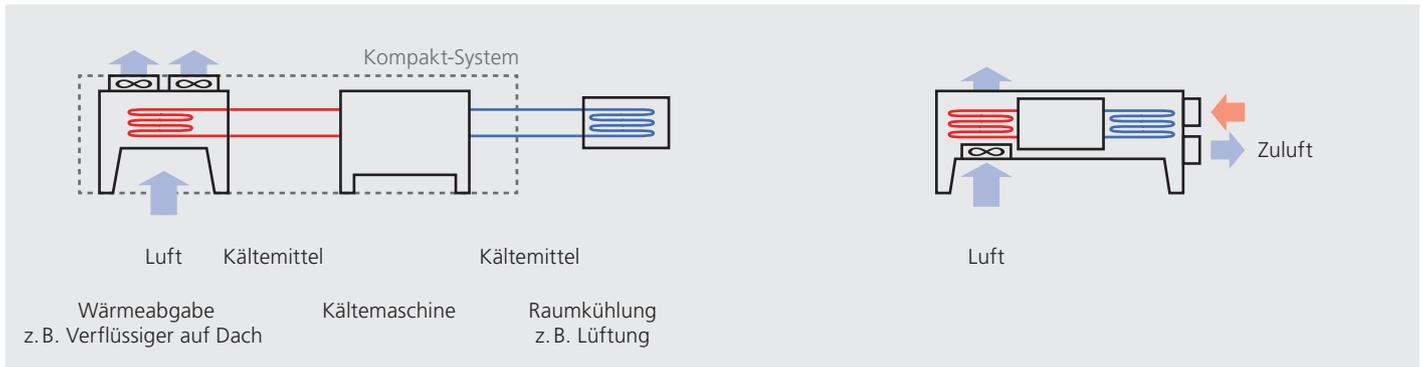
Bei luftgekühlten Kälteanlagen (Kaltwassersatz, Rooftop etc.) wird die anfallende Abwärme über Lamellenwärmetauscher und Ventilatoren direkt an die Umgebung abgegeben (z. B. auf dem Dach).



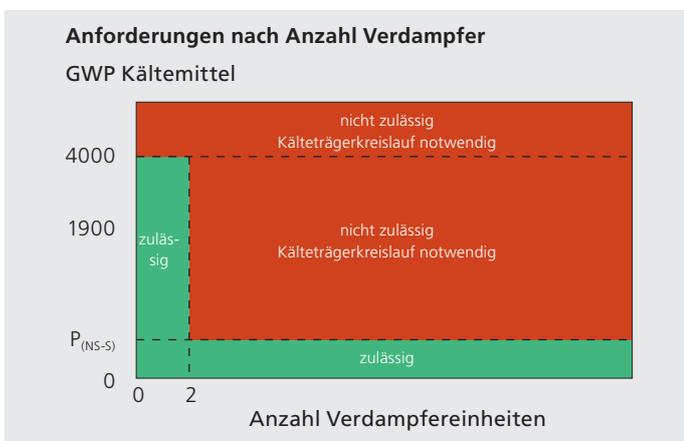
**Hinweis:** Diese Anlagen haben grössere Kältemittelfüllmengen als solche ohne Abwärmenutzung und müssen darum strengere Anforderungen erfüllen.

## DIREKTVERDAMPFUNGS-KÄLTEANLAGEN

Direktverdampfungs-Kälteanlagen haben keinen Kälte­träger­kreis­lauf. Dies gilt un­ab­hän­gig davon, ob die Abwärme an die Aus­sen­luft oder an einen Wärmeträger übergeben wird. In der Praxis trifft man oft kompakte Systeme an.



**DIREKTVERDAMPFUNGS-ANLAGEN SIND ZULÄSSIG, WENN DIE KÄLTELEISTUNG MAXIMAL 80 KW BETRÄGT ODER WENN DIE ANLAGE WENIGER ALS DREI VERDAMPFER-EINHEITEN (LUFTKÜHLER) ENTHÄLT.**

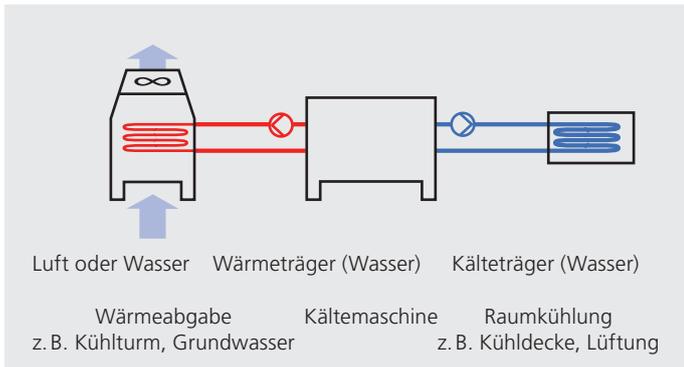


## ERLAUBTE KÄLTEMITTEL IN DER INDUSTRIE-KLIMAKÄLTE

Zur Industrie-Klimakälte werden Anlagen zur Raumkonditionierung in der Industrie (z. B. Produktionsräume oder Labor) und im produzierenden Gewerbe, aber auch in Rechenzentren und in Spitälern gerechnet.

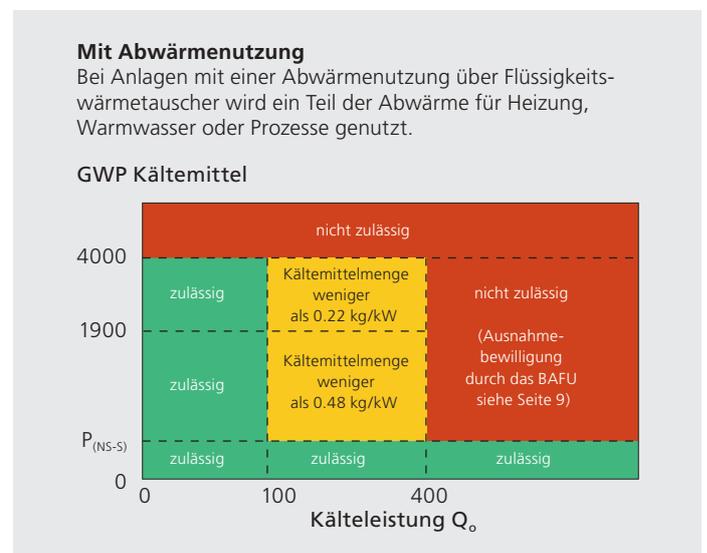
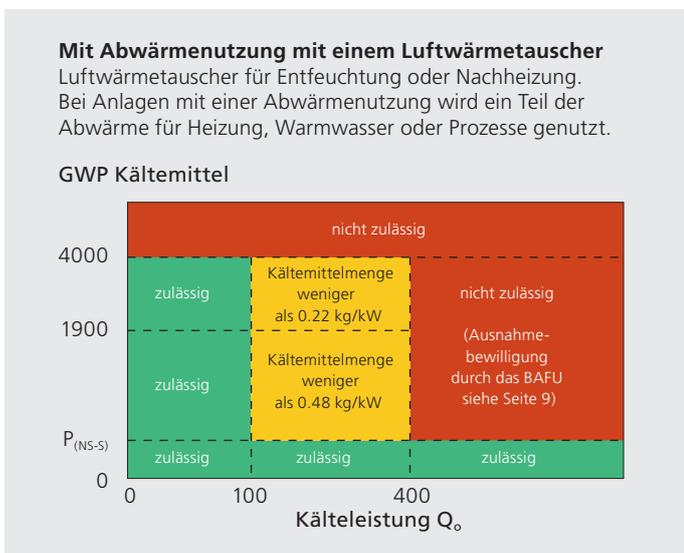
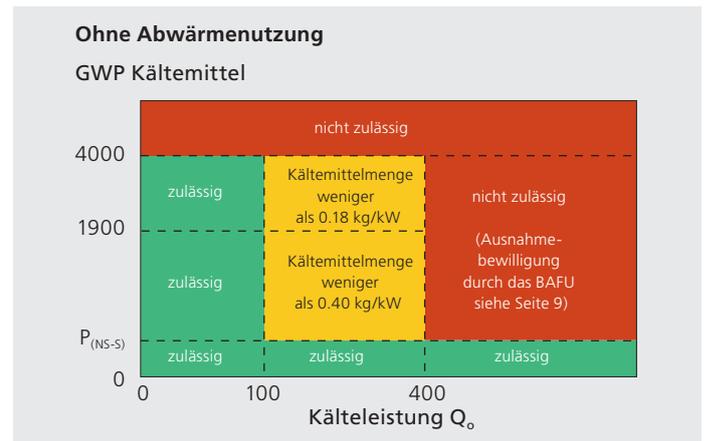
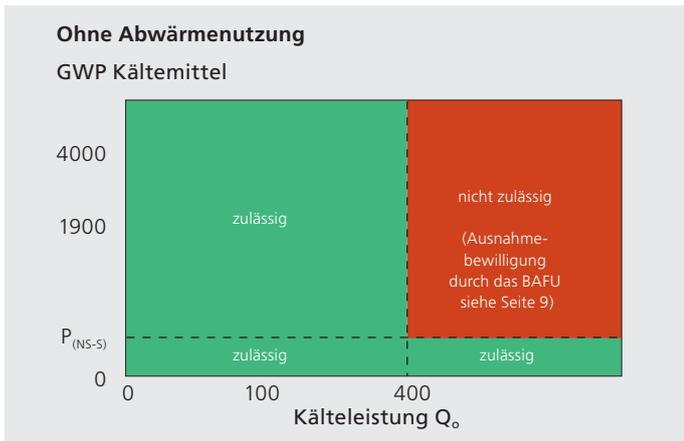
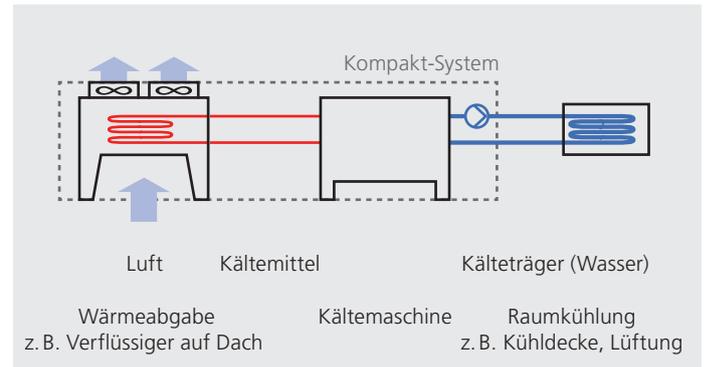
### WASSERGEKÜHLTE KÄLTEANLAGEN

In einer wassergekühlten Kälteanlage wird die anfallende Abwärme über einen Wasserkreislauf in einen Kühlturm, in Grund-, See-, Fluss- oder Fabrikwasser abgegeben.



### LUFTGEKÜHLTE KÄLTEANLAGEN

Bei luftgekühlten Kälteanlagen (Kaltwassersatz, Rooftop etc.) wird die anfallende Abwärme über Lamellenwärmetauscher und Ventilatoren direkt an die Umgebung abgegeben (z. B. auf dem Dach).



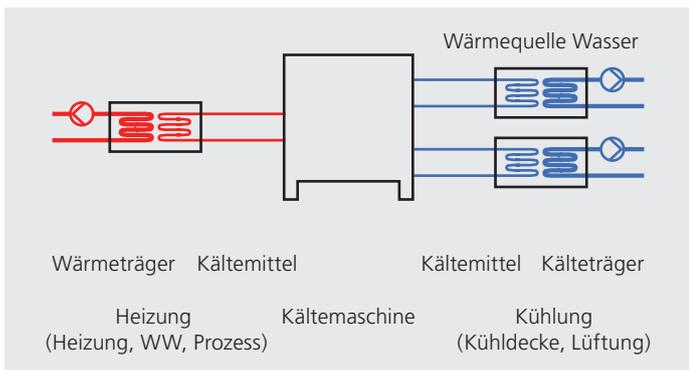
Hinweis: Diese Anlagen haben grössere Kältemittelfüllmengen als solche ohne Abwärmenutzung und müssen darum strengere Anforderungen erfüllen.

## ERLAUBTE KÄLTEMITTEL BEI SYSTEMEN ZUM HEIZEN UND KÜHLEN

Systeme, die gleichzeitig heizen und kühlen (polyvalente Systeme), produzieren Kaltwasser zur Klimatisierung und Warmwasser zum Heizen. Kann die Abwärme aus dem Kühlbetrieb nicht verwendet werden, dann wird diese über einen luftgekühlten Verflüssiger an die Aussenluft oder über einen wassergekühlten Verflüssiger ans Grundwasser abgegeben.

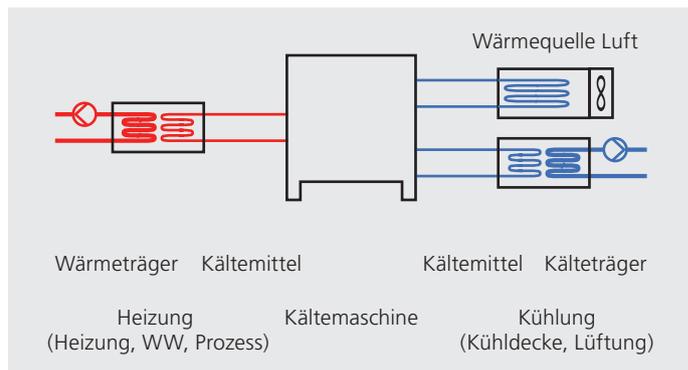
### POLYVALENTE SYSTEME: WÄRMEQUELLE WASSER

Bei diesen Systemen dient Wasser (Grundwasser, Seewasser, Fabrikwasser etc.) als Wärmequelle.



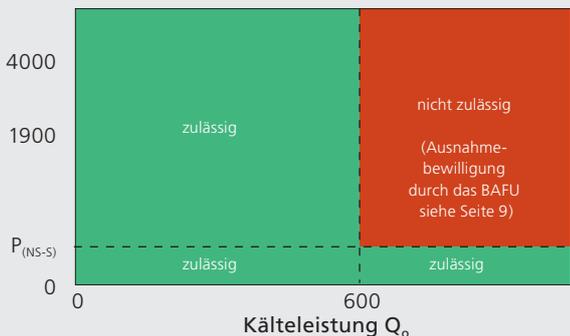
### POLYVALENTE SYSTEME: WÄRMEQUELLE LUFT

Bei diesen Systemen dient die Luft (Aussenluft, Abluft) im Winter als Wärmequelle und im Sommer als Wärmesenke (Verflüssiger).



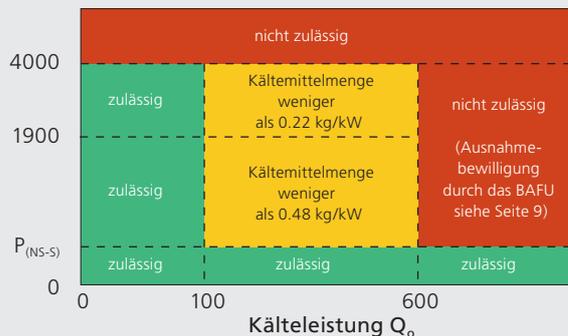
#### Nur Wasser bei Komfort-Klimakälteanlagen

GWP Kältemittel



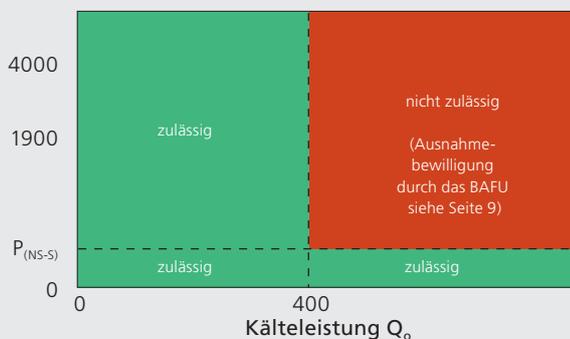
#### Mit 1 Luftwärmetauscher für die Wärmeabfuhr

GWP Kältemittel



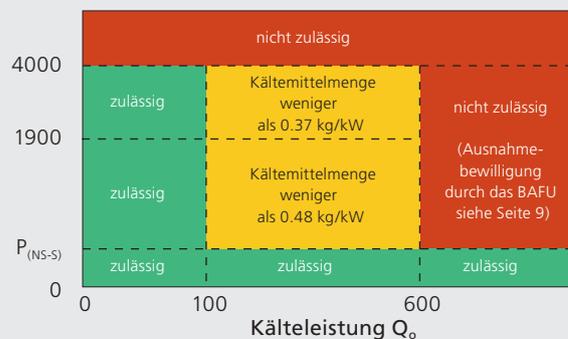
#### Nur Wasser bei Industrie-Klimakälteanlagen

GWP Kältemittel



#### Mit 2 oder mehr Luftwärmetauschern

GWP Kältemittel



## ERLAUBTE KÄLTEMITTEL IN VRV-VRF-KLIMASYSTEMEN

Mit VRV-VRF-Klimasystemen können innerhalb desselben Gebäudes die verschiedenen Gebäudezonen nach Bedarf beheizt, gekühlt und die Wärme zurückgewonnen werden. Das Aussengerät (Verdichter-Verflüssiger-Einheit) beliefert über ein mit Kältemittel gefülltes Leitungssystem die in den Räumen montierten Raumklimageräte mit Kälte oder Wärme. Dabei übernimmt eine sogenannte Controller-Einheit die Steuerung der Wärme- resp. Kälteflüsse.

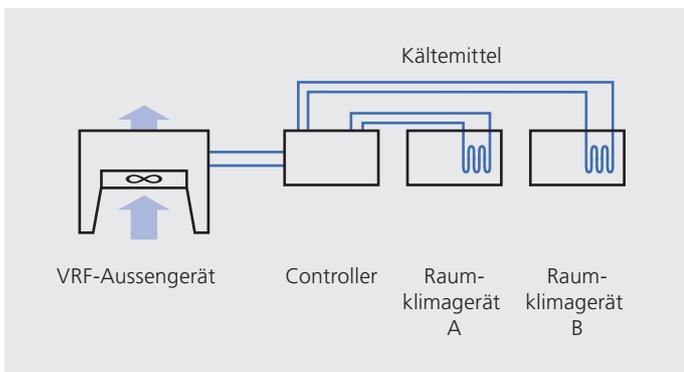
### KLIMASYSTEME VRV-VRF

VRV-VRF-Klimasysteme konditionieren das Raumklima in verschiedenen Räumen innerhalb desselben Gebäudes.

VRV: Variable Refrigerant Flow  
= variabler Kältemittelmassenstrom

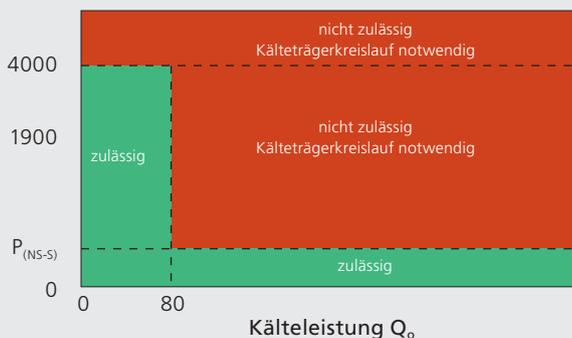
VRV: Variable Refrigerant Volume  
= variables Kältemittelvolumen

**BEI VRV-VRF-KLIMASYSTEMEN MIT MEHR ALS 40 VERDAMPFEREINHEITEN ODER EINER KÄLTELEISTUNG VON MEHR ALS 80 KW MUSS DIE KÄLTE ÜBER EINEN KÄLTETRÄGERKREISLAUF VERTEILT WERDEN.**

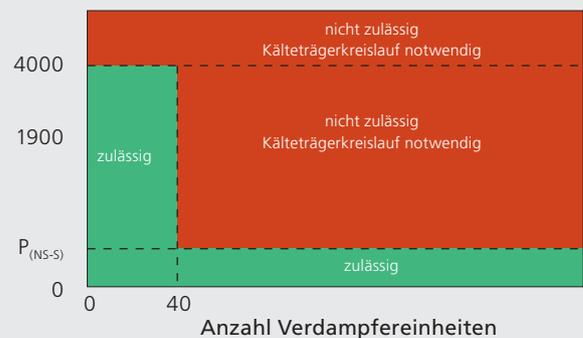


### Die Anforderungen nach Kälteleistung $Q_o$ und nach Anzahl Verdampfer müssen erfüllt werden

GWP Kältemittel



GWP Kältemittel



## VERSCHIEDENE SPLIT-SYSTEME

### SPLIT-SYSTEM (HEIZEN/KÜHLEN)

Bei Split-Systemen handelt es sich um eine Kombination verbundener kältemittelführender Teile, in denen das Kältemittel zirkuliert, um Wärme zu entziehen oder bereitzustellen. Das Kältemittel befindet sich auch in Bereichen mit Publikumsverkehr oder mit beschränktem Personenzutritt (siehe Seite 16).

#### Vorteile

- Energieeffiziente Lösung (falls mit Inverter-Steuerung)
- Preiswert

#### Nachteile

- Grössere Kältemittelfüllmenge
- Allenfalls ist eine Kältemittelüberwachung im Zugangsbereich erforderlich (Toxizität, Brennbarkeit)

### KOMBI-SPLIT-SYSTEM (KALTWASSER/WARMWASSER)

Bei diesem System wird die Energie über ein Kältemittel vom Aussengerät in eine Box (Controller) geführt. Mittels der Box kann simultan gekühlt und geheizt und so auch die anfallende Abwärme genutzt werden. Die Wärmeübertragung von der Box zu den Räumen erfolgt mit einem Kälte-Wärme-Träger (Wasser-Glycol-Gemisch).

#### Vorteile

- Energieeffiziente Lösung
- Geringe Kältemittelfüllmenge
- Überwachung der Toxizität im Personenzugang nicht erforderlich

#### Nachteil

- Höhere Kosten



# BAULICHE MASSNAHMEN

Bei Planung und Bau des Maschinenraums von Klimakälteanlagen müssen Sicherheitsvorgaben eingehalten werden. Diese sind abhängig von Art und Füllmenge des Kältemittels. Je nach Sicherheitsklasse des Kältemittels (vgl. Tabelle Seite 5) sind unterschiedliche Massnahmen nötig. Die Details zu den baulichen Massnahmen sind in der Norm SN EN 378-1 bis 378-3 und in der Vollzugshilfe Punkt 4.4.3 beschrieben.

Je nachdem, wo die kältetechnischen Komponenten installiert werden, verlangt die SN EN 378-3 unterschiedliche Sicherheitsmassnahmen. Dabei werden folgende Aufstellungsorte unterschieden:

1. im Freien
2. im Maschinenraum
3. in einem Raum, in dem sich Personen aufhalten (Personen-Aufenthaltsbereich)
4. in einem (beliebigen) Raum ohne Personen-Aufenthalt
5. in einem belüfteten Gehäuse

Die SN EN 378 beschreibt unter anderem verschiedene Anforderungen an die Sicherheit von Klimakälteanlagen:

- Dichtigkeit des Raums, in dem sich die Anlage befindet
- Lüftung (Raumlüftung, Sicherheitslüftung/Sturmlüftung)  
→ Details siehe SN EN 378-2, Punkt 6.2.14 und 6.2.15
- Alarminrichtungen (z. B. Gasalarm) und Detektoren  
→ Details siehe SN EN 378-3, Punkt 8 und 9
- Notschalter, Signalton
- Fluchtwege, Türen, Warntafeln, Notbeleuchtung  
→ Details siehe SN EN 378-3, Punkt 5.1, 10.2 und 7.3

## ELEKTRISCHE INSTALLATIONEN IN RÄUMEN, IN DENEN BRENNBARE KÄLTEMITTEL EINGESETZT WERDEN

Es muss sichergestellt werden, dass bei einem Kältemittelaustritt die elektrische Installation im Raum stromlos gemacht wird. Das muss der Fall sein, sobald die Kältemittelkonzentration im Raum 25 % der unteren Explosionsgrenze (LFL-Wert) überschreitet. Elektrische Elemente, die spannungsführend bleiben (z. B. Notbeleuchtung oder Ventilatoren) müssen explosionsgeschützte Ausführungen sein. Zu beachten ist dies beispielsweise bei der Klimatisierung von Hotelzimmern, die mit VRF-VRV-Anlagen mit brennbaren Kältemitteln direkt gekühlt werden.

## GEHÄUSE

Bei den Gehäusen unterscheidet man:

**Nicht begehbare Gehäuse:** Beim Arbeiten ist das Gehäuse offen und das Kältemittel kann in den Raum entweichen.

**Begehbare Gehäuse:** Beim Arbeiten ist das Gehäuse geschlossen und das Kältemittel kann nicht in den Raum entweichen.

### 1. GEHÄUSE OHNE BELÜFTUNG

Bei Anlagen mit Kältemitteln A1, in einem Gehäuse ohne Belüftung, darf die maximal erlaubte Füllmenge (Toxizität) am Aufstellungsort nicht überschritten werden.

→ Siehe Seite 18, Tabelle C 1, SN EN 378-1

### 2. BELÜFTETE GEHÄUSE

Anlagen in einem Gehäuse, mit brennbarem Kältemittel (z.B. A2L) benötigen eine Belüftung ins Freie. Weiter ist zu beachten:

#### Aufstellung im Freien

→ Anforderungen siehe Seite 17 unten

#### Aufstellung im Maschinenraum

- Nicht begehbare belüftete Gehäuse  
→ Anforderung an die Lüftung im Maschinenraum beachten (SN EN 378-2, Punkt 6.2.15 und 6.2.14).
- Begehbare belüftete Gehäuse  
→ Sind wie ein Maschinenraum zu behandeln.

#### Aufstellung im Personen-Aufenthaltsbereich

- Nicht begehbare belüftete Gehäuse  
→ Dürfen nur eingesetzt werden, wenn die maximal erlaubte Füllmenge nicht überschritten wird (Seite 18).
- Anforderung an die Lüftung beachten (SN EN 378-2, Punkt 6.2.15 und 6.2.14).
- Begehbare belüftete Gehäuse  
→ Sind wie ein Maschinenraum zu behandeln.

## EINIGE WICHTIGE GRUNDSÄTZE AM BEISPIEL EINES MASCHINENRAUMS

Für die Kältemittel der Klassen A1 und A2L sind unten die wichtigsten baulichen Massnahmen beschrieben.<sup>1</sup> In den Klammern wird zudem auf die massgebenden Passagen in der SN EN 378-3 verwiesen. Es ist zu beachten, dass für die anderen Kältemittel-Klassen (A3, B2L...) strengere Anforderungen gelten und am besten ein erfahrener Planer beigezogen wird. Zudem sind die in der SN EN 378 im nationalen Vorwort erwähnten Verordnungen und Richtlinien zu beachten.

### LUFT UND LÜFTUNG

Der Maschinenraum muss mit ausreichend frischer Aussenluft versorgt werden. (5.13.1)

Eine mechanische Notlüftung ist notwendig, wenn die Konzentration der Kältemittel der Sicherheitsklasse A1 entweder den praktischen Grenzwert oder die Toxizitätsgrenze überschreitet. (5.13)

Für Kältemittel der Sicherheitsklasse A2L ist zusätzlich die untere Explosionsgrenze (LFL) zu beurteilen. (5.14)

Tritt Kältemittel aus, muss sichergestellt werden, dass dieses ins Freie abgeführt wird. (5.13.1)

Stehen andere Maschinen (Heizkessel, Druckluftkompressoren etc.) im Maschinenraum, dürfen diese keine Kältemittelgase ansaugen. Die Luft muss über ein eigenes Kanalsystem von aussen zugeführt werden. (5.3)

### Hinweis zu Brandmelder

Brandmelder dürfen nicht auf Kältemittel-Nebel reagieren. Die Priorität des Einschaltbefehls der Lüftung ist mit der zuständigen Behörde oder Gebäudeversicherung zu klären.

### NOTMASSNAHMEN

Alle Maschinenräume müssen mit Kältemittel-Detektoren ausgerüstet werden, sofern der praktische Grenzwert überschritten wird. Die Kältemittel-Detektoren müssen einen Alarm auslösen, die mechanische Lüftung (Sturmlüftung) einschalten. (9.1)

Not-Aus-Schalter 1: Im Maschinenraum muss ein Not-Aus-Schalter vorgesehen sein. (5.6)

Ein Notausgang muss ins Freie oder in einen Notausgangskorridor führen. (5.12.2)

Not-Aus-Schalter 2: Ausserhalb des Maschinenraums – in der Nähe der Türe – ist eine Fernabschaltung vorzusehen. (5.6)

### DICHTIGKEIT

Alle Stellen, an denen Rohrleitungen und Lüftungskanäle durch Wände, Decken und Böden dringen, müssen abgedichtet sein. (5.8)

Maschinenräume müssen dicht sein. Kältemittel, das entweicht, darf nicht in andere Räume gelangen. (5.2)

### TÜREN

Die Türen müssen nach aussen öffnen und eine Feuerbeständigkeit von 1 h haben. (5.12.1)

Übersteigt die Füllmenge der Kältemittel der Sicherheitsklasse A2L den zugelassenen praktischen Grenzwert ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), muss der Raum entweder eine Tür haben,

- die direkt ins Freie führt oder
- die in einen Vorraum mit einer selbst-schliessenden dichten Tür führt. Der Vorraum wiederum muss eine Türe haben, die ins Freie führt. (5.14.5)

<sup>1</sup> Im Zweifelsfall kommen immer die entsprechenden Originaltexte der SN EN 378 zur Anwendung.

### AUFSTELLUNGORT IM FREIEN

- Bei einem Leck darf das Kältemittel nicht in Lüftungsöffnungen (z. B. Zuluftkanal), über Türen oder Dachöffnungen ins Gebäude eindringen. (4.2)
- Kann sich austretendes Kältemittel ansammeln (z. B. Aufstellung in einer begehbaren Vertiefung), sind weitere

Anforderungen wie eine Belüftung, Gas-Detektoren etc. einzuhalten. (4.2)

- Bei Anlagen mit mehr als 25 kg Kältemittelfüllung sind zudem Detektoren, eine Alarmierung etc. erforderlich (BAFU, Vollzugshilfe, 4.4.3)

## WIE BESTIMME ICH DIE MAXIMAL ERLAUBTE KÄLTEMITTEL-FÜLLMENGE?

Je nach Nutzung des Gebäudes und dem Standort der kältemittelführenden Teile kann aus Sicherheitsüberlegungen (Toxizität und Brandschutz) die maximale Kältefüllmenge begrenzt sein. Die folgenden 5 Schritte zeigen den Weg zur maximalen Füllmenge.

**Wichtig:** Die maximale Füllmenge ist eine sicherheitstechnische Vorgabe. Diese kann durch die Umweltvorgaben wie die ChemRRV noch verschärft werden.

### 1. ZU WELCHER SICHERHEITSKLASSE GEHÖRT DAS KÄLTEMITTEL?

Die Sicherheitsklasse (siehe Seite 5) zeigt, wie toxisch (A oder B) und wie brennbar (1, 2L, 2 oder 3) das Kältemittel ist.

### 2. WER HAT ZUGANG ZUM GEBÄUDE?

Die SN EN 378-1 (Kapitel 4.2.5) unterscheidet drei verschiedene Aufstellungs- respektive Zugangsbereiche (Räume, Gebäudeteile, Gebäude).

**Kategorie a Publikumsverkehr:** Hier halten sich eine unkontrollierte Anzahl Personen auf. Diese sind mit den Sicherheitsvorkehrungen nicht vertraut.  
Beispiele: Spitäler, Supermärkte, Schulen, Hotels, Gaststätten, Wohnungen etc.

**Kategorie b Beschränkter Personenzutritt:** Hier halten sich nur eine bestimmte Anzahl Personen auf. Mindestens eine ist mit den Sicherheitsvorkehrungen vertraut.  
Beispiele: Büro- oder Geschäftsräume, Laboratorien etc.

**Kategorie c Kontrollierter Personenzutritt:** Hier halten sich nur berechnete Personen auf. Diese sind mit den Sicherheitsvorkehrungen vertraut.  
Beispiele: Produktionsbetriebe (Nahrungsmittel, Chemie, Molkereien, Schlachthöfe), nicht öffentlicher Bereich von Supermärkten etc.

### 3. WO BEFINDEN SICH DIE KÄLTEMITTELFÜHRENDE TEILE?

Beim Aufstellungsort der Kälteanlage respektive der kältemittelführenden Teile werden folgende vier Klassen unterschieden:

**Klasse I Alles im Personen-Aufenthaltsbereich:** Die Kälteanlage oder die kältemittelführenden Teile befinden sich im Personen-Aufenthaltsbereich.

**Klasse II Alle Verdichter und Druckbehälter befinden sich im Maschinenraum oder im Freien.** Rohrleitung, Verdampfer, Ventile können sich im Personen-Aufenthaltsbereich befinden.

**Klasse III Alles im Maschinenraum oder im Freien:** Alle kältemittelführenden Teile befinden sich in einem Maschinenraum oder im Freien.

**Klasse IV Belüftetes Gehäuse:** Alle kältemittelführenden Teile befinden sich in einem belüfteten Gehäuse.

### 4. WIE GROSS IST DER RAUM?

Das massgebende Raumvolumen wird durch den kleinsten Raum bestimmt, in dem sich kältemittelführende Teile befinden und in dem sich Personen aufhalten können. (SN EN 378-1, Kapitel 7)

### 5. BESTIMMUNG DER MAXIMALEN FÜLLMENGE

Die Anforderungen an die Grenzwerte für die Kältemittel-Füllmenge können mit den oben ermittelten Werten aus den Tabellen der SN EN 378-1 entnommen werden:

1. Basis Toxizität vgl. Tabelle C1

2. Basis Brennbarkeit vgl. Tabelle C2

Der kleinere der beiden Werte bestimmt die maximal erlaubte Füllmenge.

**BEI ANLAGEN MIT DEM KÄLTEMITTEL A1 ODER A2L, DIE IN MASCHINENRÄUMEN ODER IM FREIEN AUFGESTELLT SIND, BESTEHT AUS SICHERHEITSTECHNISCHER SICHT KEINE BEGRENZUNG DER FÜLLMENGE.**



# KÄLTEMITTELERSATZ

## ERSATZ NICHT MEHR ZUGELASSENER KÄLTEMITTEL

Anlagen mit einem Kältemittel, das nicht mehr nachgefüllt werden darf (z. B. R22), dürfen weiterbetrieben werden, sofern sie dicht sind. Bei einem Kältemittelverlust (z. B. durch ein Leck) muss das Kältemittel vollständig zurückgewonnen und durch ein erlaubtes ersetzt werden. Das Alter der Anlage sowie absehbare Reparaturen sind massgebend, ob eine Umrüstung infrage kommt oder die Anlage ersetzt wird.

### FAUSTREGEL

- Bei Kaltwassersätzen, die älter als 10 Jahre sind, immer einen Anlageersatz prüfen.
- Bei Klimaanlage (unter 80 kW) immer einen Anlageersatz prüfen.

## UMRÜSTEN AUF EIN ERSATZKÄLTEMITTEL

Die Umrüstung auf ein geeignetes Ersatzkältemittel macht allenfalls Anpassungen im Kältekreis sowie den Austausch von Kältemaschinenöl und Einspritzventilen nötig. Zudem muss das Kältesystem gespült und gereinigt werden. Im schlimmsten Fall droht der Ersatz des Verdichters.

**Achtung:** Wird der Verdichter umgebaut, muss immer geprüft werden, ob die umgebaute Anlage nun als Neuanlage oder als bestehende Anlage eingeteilt wird. Je nachdem gelten die Vorschriften für neu erstellte oder bestehende Kälteanlagen. Da bei einem Umbau einer bestehenden Kälteanlage ganz verschiedene Punkte die Einteilung beeinflussen (Veränderung bei der Kälteleistung, Tiefe des Eingriffes, wurden Wärmeübertrager ersetzt...) muss diese situativ mit der BAFU-Vollzugshilfe vorgenommen werden (Vollzugshilfe siehe Seite 20).

### ANLAGEERSATZ

Es lohnt sich, einen absehbaren Anlageersatz frühzeitig zu planen, um einen Totalausfall und Betriebsunterbrüche zu verhindern. Dabei sorgt die Beschaffung mit der Leistungsgarantie Kälte für sichere, richtig dimensionierte und wirtschaftliche Klimakälteanlagen.

# WEITERE INFORMATIONEN

## NORMEN, RICHTLINIEN, VORSCHRIFTEN

- Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV), SR 814.81, Anhang 2.10
- Anlagen mit Kältemitteln: vom Konzept bis zum Inverkehrbringen, Vollzugshilfe Kältemittel, BAFU 2017
- Ausnahmegewilligung durch das BAFU. «Gesuchsformular für eine Ausnahmegewilligung von Kälteanlagen», [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)
- Energiegesetz – Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEN)
- Richtlinie zu Lagerung und Umgang mit Ammoniak, Richtlinie Flüssiggas Nr. 6517 (EKAS)
- Instandhaltung von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen), Eidgenössische Kommission für Arbeitssicherheit (EKAS)
- Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen für Kälteanlagen und Wärmepumpen, SN EN 378-1 bis 378-3, und von der SN EN 378-4 der Teil Wartung
- Verordnung über die Sicherheit von Druckgeräten (Druckgeräteverordnung), SR 819.121 (1.7.2015)
- Wartung: Artikel 58 des OR (Haftung des Werkeigentümers)

## VERTIEFENDE INFORMATIONEN

- Bitzer, Kältemittelrapport 19
- Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA)

## LINKS

- Bundesamt für Umwelt BAFU: Über den Umgang mit Kältemitteln, [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch) → Chemikalien → Kältemittel
- Schweizerische Meldestelle für Kälteanlagen und Wärmepumpen: [www.meldestelle-kaelte.ch](http://www.meldestelle-kaelte.ch)
- Förderprogramm Klimafreundliche Kälte Stiftung KLIK: [www.kaelteanlagen.klik.ch](http://www.kaelteanlagen.klik.ch)
- Kampagne effiziente Kälte: [www.effizientekaelte.ch](http://www.effizientekaelte.ch)

## ENERGIE- UND KOSTENEFFIZIENZ

Die Kampagne effiziente Kälte zeigt den Betreibern von Kälteanlagen und den Kältefachleuten, wie sie mit praxistauglichen Massnahmen bestehende Kälteanlagen optimieren und neue Anlagen nachhaltig planen können. Gleichzeitig sensibilisiert die Kampagne die Installateure und Planer von Kälteanlagen für das Thema Energieeffizienz und stärkt ihre Kompetenzen in diesem Bereich:

[www.effizientekaelte.ch](http://www.effizientekaelte.ch)

## KÄLTEANLAGEN OPTIMIEREN

Bärenstark! So einfach senken Sie Ihre Kosten fürs Kühlen

- Der jährliche Kälte-Check
- Angenehmes Raumklima: 5 Tipps für den Sommer
- Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen



## KÄLTEANLAGEN NEU BAUEN

Leistungsgarantie Kälteanlagen inkl. Grundlegendokument



## Quellen

Kältemittelrapport 18 und 19, Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Sindelfingen  
ChemRRV, Bundesamt für Umwelt, Bern, 2015  
Der Kälteanlagenbauer, Karl Breidenbach, Verlag C. F. Müller, 2002  
Taschenbuch der Kältetechnik, Pohlmann, VDE-Verlag, 2013  
Bilder: 123rf.com

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

Vertrieb: [www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)  
Bestellnummer 805.405.D

