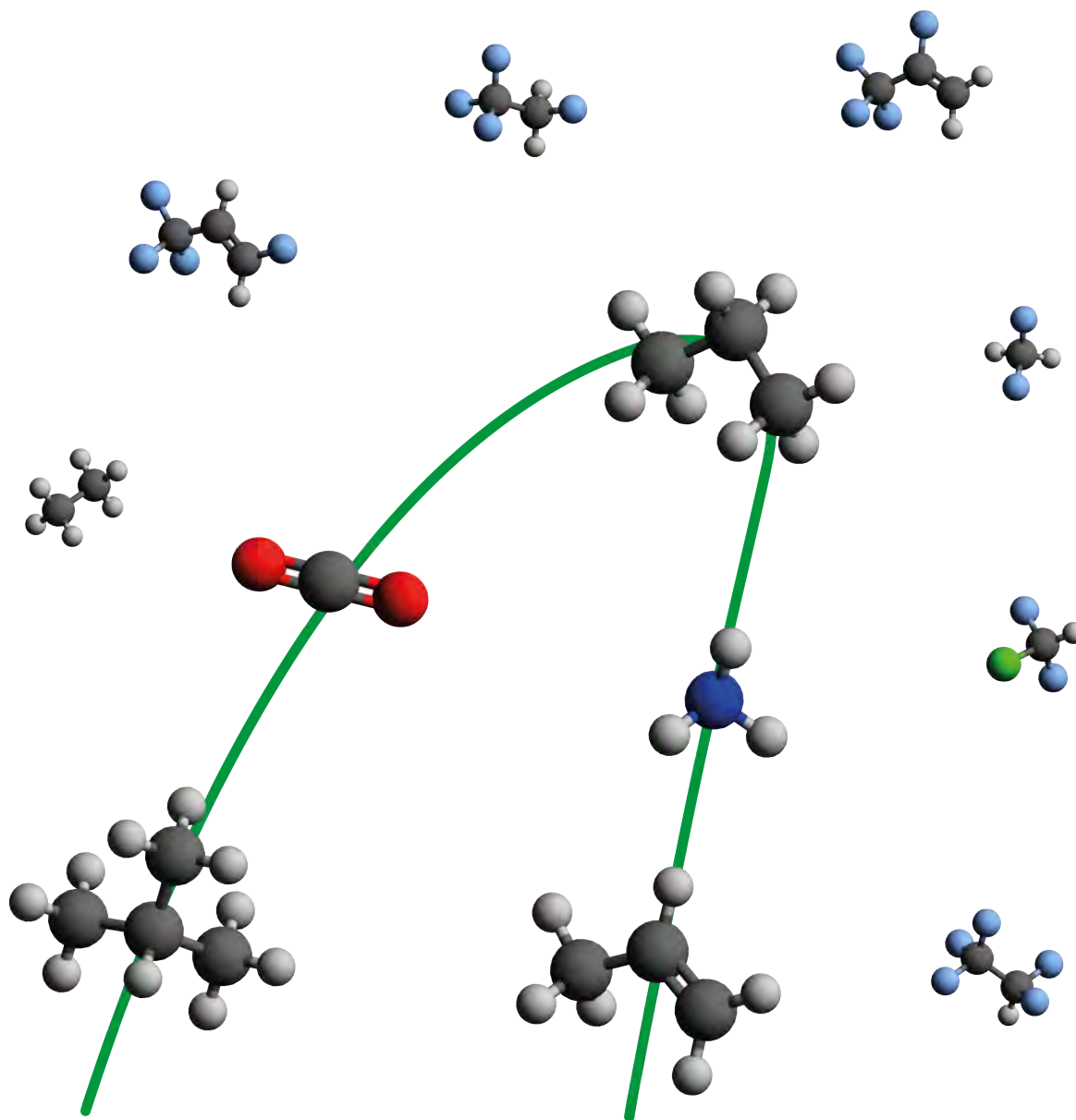


## Kältemittel-Report - Quick Guide



**Vollständige Online-Version:**



## 1 Was sind Kältemittel?

Ein Kältemittel ist nach den Normen EN378-1 oder ISO817 ein "Fluid, das zur Wärmeübertragung in einer Kälteanlage eingesetzt wird und das bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck des Fluids Wärme aufnimmt und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgibt, wobei üblicherweise Zustandsänderungen des Fluids erfolgen". Die Änderungen des Aggregatzustands geschehen dabei u.a. bei Kaltdampfkältemaschinen, die in den genannten Normen und diesem Dokument vorrangig betrachtet werden.

Frühe Kältemaschinen verwendeten Arbeitsstoffe, die dafür bekannt waren, bei Verdampfung oder Verdunstung zu kühlen. Dazu gehörten Ether, Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methylchlorid (CH<sub>3</sub>Cl) und Kohlenwasserstoffe. Die Kohlenwasserstoffe zeigten dabei thermodynamische Eigenschaften, die die Auslegung der Kälteanlagen einfacher machten als bei anderen Kältemitteln. Zudem sind sie ungiftig.

Die Bezeichnung von z.B. Propan als Kältemittel 290 oder R290 oder Ammoniak als R717 nach ISO817 impliziert auch die Anwendbarkeit im Kältemittelkreislauf. Das bedeutet, dass die Bezeichnung R290 eine definierte Reinheit voraussetzt, die thermodynamische Eigenschaften ausreichend genau berechenbar macht und zuverlässigen Betrieb ermöglicht.

### Synthetische Kältemittel

Bei der Entwicklung der ersten synthetischen Kältemittel wurde versucht, die thermodynamischen Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe zu erreichen, aber die Brennbarkeit zu vermeiden. Ein Austausch der Wasserstoffanteile bei Kohlenwasserstoffen durch Halogene (vorrangig Chlor und Fluor, teilweise Brom) führte zu den ersten "Sicherheitskältemitteln" R11 und R12, später R22, R13B1 usw. Diese vollhalogenierten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) kamen ab 1930 auf den Markt. Die einfache und sichere Handhabung führte in der Gewerbekälte und Hausgerätetechnik innerhalb von 20 Jahren zum Verdrängen aller anderen Stoffe.

Da die Chlor- und Bromanteile stark zum Abbau der Ozonschicht beitragen, sind heutige synthetische Kältemittel überwiegend fluorierte Kohlenwasserstoffe. Die meisten sind teilfluoriert und einige basieren auf einfach ungesättigten Kohlenwasserstoffen wie Propen, einige auf Ethern. Dadurch wird die atmosphärische Lebensdauer verkürzt und das Treibhauspotenzial reduziert.

### Wasser als Kältemittel

R718 Wasser ist in Kaltdampfkältemaschinen grundsätzlich als Kältemittel geeignet. Aufgrund des hohen Tripelpunktes bei 0,01°C und des sehr niedrigen Dampfdrucks im Temperaturbereich der üblichen Kälte- und Wärmepumpentechnik ist es jedoch für Standardanwendungen nicht interessant. Für Hochtemperaturwärmepumpen, Prozesskühlung und Rechenzentrumkühlung wird es eingesetzt. Wegen der niedrigen volumetrischen Kälteleistung sind typischerweise sehr hohe Volumenströme notwendig. In diesem Dokument wird R718 nicht näher behandelt.

### Kältemittel für andere Kreisprozesse – Gaskälteprozesse

In Gaskältemaschinen wird ein Gas deutlich über der kritischen Temperatur eingesetzt, im ganzen Prozess wird es gasförmig bleiben. Genutzt wird die Erwärmung beim Verdichten und die Abkühlung beim Entspannen mit Entzug mechanischer Arbeit. Gaskältemaschinen haben daher meist außer dem Verdichter eine Entspannungsmaschine, d.h. einen Expander.

Die Kältemaschine benötigt ein Gas, das eine große Temperaturänderung bei diesen Vorgängen hat, also einen hohen Isentropenkoeffizienten. Gut geeignet als Kältemittel sind R704 Helium und R729 Luft.

Bekannte Gaskältemaschinen sind Stirlingmaschinen und Kaltluftkältemaschinen:

- Eine Stirlingmaschine arbeitet typischerweise mit Helium.
- Die Kaltluftmaschine kann als geschlossener Kreislauf arbeiten, aber auch als offener Kreislauf, bei dem die Luft des zu kühlenden Raumes abgesaugt, verdichtet, gegen die Umgebung gekühlt und nach dem Expander dem Raum wieder zugeführt wird.

Wenn die Temperaturen der kalten Seite nahe an der Umgebungstemperatur sind, gelten Gaskälteprozesse als nicht ganz so energieeffizient wie Kaltdampfprozesse. Bei Temperaturen unterhalb von etwa -50°C können sie – je nach Anwendung – energetisch vorteilhaft sein. Bei Luft setzt dies meist einen offenen Kreislauf voraus. Dabei lassen sich große Temperaturdifferenzen mit niedrigen bis moderaten Druckverhältnissen erreichen.

Bei höheren Nutzttemperaturen kann der Einsatz sich als energetisch sinnvoll zeigen, wenn mehr als nur die Kälteanlage bilanziert wird, wie z.B. bei der Flugzeugklimatisierung, bei der der Energieverbrauch zum Transport der Anlage mit betrachtet wird.

Auf Kältemittel für Gaskälteprozesse wird in diesem Dokument nicht näher eingegangen.

## 2 Kältemittel wählen

Hier geht es um Kältemittel für den Kaltdampfkälteprozess (zu Gaskälteprozessen: *siehe Seite 2*). Der Kaltdampfkälteprozess hat sich in den meisten Bereichen der Kältetechnik durchgesetzt, v.a. in denen mit höherer Stückzahl an Anlagen.

- Die Kälteanlagen und -geräte lassen sich durch den niedrigen erforderlichen Massenstrom mit wenig Material- und Kostenaufwand flexibel gestalten.
- Durch das Nutzen des Phasenwechsels wird viel Energie pro kg transportiert.
- Das flüssige Kältemittel lässt sich einfach zu den Kühlstellen bringen und das verdampfte dort wieder absaugen, während die Wärmeabgabe und die Verdichtung an anderen Orten angebracht sein kann.
- Die Entkopplung von kalter und warmer Seite ist meist energetisch vorteilhaft.

Bevor ein Kältemittel thermodynamisch und damit auch energetisch für den Einsatz in Kälteanlagen bewertet wird, sind noch eine Reihe anderer Dinge zu betrachten: Materialverträglichkeit, Verfügbarkeit passender Schmierstoffe, thermische und chemische Stabilität und auch die Verfügbarkeit des Stoffes in ausreichender Menge zu akzeptablen Kosten.

## 3 Methoden zum Vergleich von Kältemitteln

Bei einem Vergleich von Kältemitteln muss sorgfältig vorgegangen werden, um ein sinnvolles bzw. technisch neutrales Ergebnis zu erhalten. Als Hintergrund kann bedacht werden, dass bei der Auslegung von Kälteanlagen, insbesondere von Wärmeübertragern, die Wahl des Kältemittels zu den ersten Festlegungen gehört. Sie hat deutliche Auswirkungen auf die weiteren Berechnungen. Da verschiedene Kältemittel auch verschiedene Stoffdaten haben, ist es angemessen anzunehmen, dass auch die optimale Kreisprozessführung sich in einigen Punkten unterscheidet.

Einfache und kurze Vergleiche von Kältemitteln sind meist mit viel Vorsicht zu genießen. Die Bandbreite der Vergleiche kann zwischen einer Redewendung aus der Computerindustrie "Benchmarking is lying" und der Aussage von Professor Gustav Lorentzen liegen, dass, wenn Kältemittel in einem Bereich eingesetzt werden, in dem sie gut geeignet sind, der Unterschied in der Effizienz zwischen den Kältemitteln im Bereich weniger Prozente liegt. Beides deutet darauf hin, dass die Ausführung des Vergleichs das Ergebnis bestimmen kann.

Bei jedem Vergleich ist es also wichtig, sinnvoll festzulegen, welche Parameter variiert und welche festgelegt werden müssen, um einen neutralen Vergleich zu bekommen. Schließlich soll der Vergleich dazu führen, ein gut geeignetes oder gar das am besten geeignete Kältemittel für eine Anwendung auszuwählen.

Für eine erste Auswahl sind die Tabellen unten (Kältemittel-Auswahltabellen) geeignet. Mit etwas Fachwissen lassen sich Kandidaten auch anhand der Daten in der BITZER RefRuler App vergleichen, die leichter verfügbar ist.

---

## 4 Langfristig verfügbare Kältemittel

Kältemittel, die langfristig in großer Menge für verbreitete Anwendungen verfügbar sein sollen, werden in ein nachhaltiges Wirtschaftssystem passen und einen möglichst geringen Umwelteinfluss haben müssen. Insbesondere in der EU geht die Entwicklung in diese Richtung.

Nach heutigen Maßstäben kann das heißen:

- Ozonabbaupotenzial ODP = 0
- sehr niedriges Treibhauspotenzial GWP <10
- hohe Energieeffizienz
- wenig bis keine umweltschädigende Abbauprodukte
- sehr geringer Produktionsaufwand
- sehr wenig Produktionsabfälle

Diese Anforderungen werden je nach Anwendung von einer Reihe natürlich vorkommender Substanzen erfüllt:

- R717 Ammoniak
- R744 Kohlendioxid
- R718 Wasser
- R729 Luft
- R290 Propan
- R1270 Propen
- R600a Isobutan
- R600 Butan
- und einige weitere Kohlenwasserstoffe

Diese Stoffe finden sich schon auf der Wunschliste des deutschen Bundesumweltministeriums aus den frühen 1990er Jahren ganz oben, auch wenn einige davon synthetisch erzeugt oder aufwändig verarbeitet werden. Teilfluorierte Substanzen wurden darin als Übergangskältemittel gesehen.

Andere, auch teilfluorierte Kältemittel werden in gewissen Mengen verfügbar sein, ggf. auch abhängig von anderen Regulativen (Verordnungen und andere gesetzliche Regelungen). Die Menge und Dauer der Verfügbarkeit wird sehr stark von nationalen und regionalen Regularien bestimmt sein. Die EU wird hier eher am schnellsten reduzieren.

Da die Kältetechnik mit Klimatisierung, Wärmepumpen, Prozesskühlung und vielen Spezialanwendungen ein breites Arbeitsfeld abdeckt, werden auch in Zukunft viele verschiedene Kältemittel verfügbar sein müssen, um effizient zu arbeiten. Die große Menge an Anwendungen wird sich aber an der Liste oben orientieren.

Da davon auszugehen ist, dass weniger Kältemittel als bisher zur Auswahl stehen werden, muss die Branche daran arbeiten, die Aufgaben mit den vorhandenen Mitteln zu lösen. Dazu kann gehören, bisherige No-Gos zu überdenken, wie Brennbarkeitsklasse A3, Betrieb im Unterdruck, Investition in größere Rohrdurchmesser.

## 5 Kältemittel-Auswahltabellen

Die Tabellen in der Online-Version enthalten mehr Daten und mehr Kältemittel.

### Erläuterung zu den Zeilen- bzw. Spaltenbenennungen der Tabellen

Kältemittel	Benennung nach ISO817/ASHRAE34
Gruppe	Zuordnung zu Gruppe HFC=HFKW, HC=KW, HFO usw.
Bestandteile	Komponentenliste bei Gemisch
Anwendung max	maximale Temperatur der typischen Einsatzgrenze
Anwendung min	minimale Temperatur der typischen Einsatzgrenze
Anw. 2-stufig max	maximale Temperatur der Einsatzgrenze 2-stufig
Anw. 2-stufig min	minimale Temperatur der Einsatzgrenze 2-stufig
Öl 1	typisch verwendetes Öl
Öl 2	mögliches Öl
Öl 3	weiteres mögliches Öl
Normal-Siedepunkt	
Normal-Taupunkt	
Temp.-gleit	Temperaturveränderung von Siede- zu Taupunkt bei Umgebungsdruck
krit. Temperatur	kritische Temperatur
krit. Druck	kritischer Druck
ODP	Ozonabbaupotenzial
GWP AR4	Treibhauspotenzial nach IPCC Report 4
GWP AR6	Treibhauspotenzial nach IPCC Report 6
Sich.-klasse	Sicherheitsklasse gemäß ISO817: A1, A2, A2L, A3, B1, B2, B2L oder B3
prakt. Grenze AEL	"acceptable exposure level", gängiger Anhaltswert für längere Exposition oder 20% LFL bei brennbaren Stoffen

## 5.1 R134a

Die folgende Tabelle zeigt die Daten für R134a und alternative Kältemittel.

	R134a	R1234yf	R1234-ze(E)	R513A	R450A	R600a	R516A	R152a	R476A
Gruppe	HFKW	HFO	HFO	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	KW	HFO/ HFKW	HFKW	HFO/HFKW
Bestandteile				R1234yf / 134a	R1234- ze(E)/ 134a		R1234yf / 152a/ 134a		R134a/ 1234ze(E)/ 1336mzz(E)
Anwendung max (°C)	25	25	40	25	25	40	25	25	25
Anwendung min (°C)	-20	-25	-10	-25	-25	-10	-25	-20	-15
Öl 1	POE	POE	POE	POE	POE	MO	POE	POE	POE
Öl 2	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE	PAO		PVE	
Öl 3						POE			
Normal-Sie- depunkt (°C)	-26,1	-29,5	-19	-29,6	-23,4	-11,8	-29,4	-24	-19,1
Normal-Tau- punkt (°C)	-26,1	-29,5	-19	-29,5	-22,8	-11,8	-29,4	-24	-16,1
Temp.-gleit (K)	0	0	0	0,1	0,6	0	0	0	3
krit. Temp. (°C)	101	95	109	95	104	135	97	113	110
krit. Druck (bar)	40,7	33,8	36,4	36,5	38,2	36,3	36,23	45,2	36,3
ODP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP AR4	1430	4	6	631	604	3	142	124	
GWP AR6	1530	0,501	1,37	673	643		153	164	156
Sich.-klasse	A1	A2L	A2L	A1	A1	A3	A2L	A2	A1
prakt. Grenze AEL (kg/m <sup>3</sup> )	0,25	0,058	0,061	0,319	0,319	0,011	0,042	0,027	0,18

Tab. 1: R134a und alternative Kältemittel

## 5.2 R404A

Die folgende Tabelle zeigt die Daten für R404A und alternative Kältemittel.

	R404A	R448A	R449A	R454A	R454C	R455A	R290	R1270	R744
Gruppe	HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	KW	KW	CO <sub>2</sub>
Bestandteile	R143a/ 125/ 134a	R32/ 125/ 1234yf/ 1234ze(E)/ 134a	R32/ 125/ 1234yf/ 134a	R32/ 1234yf	R32/ 1234yf	R32/ 1234yf/ 744			
Anwendung max (°C)	0	12	12	12	12	12	12	12	20
Anwendung min (°C)	-45	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-20
Anw. 2-stufig max (°C)	-30	-25	-25	-25	-25	-25	-20	-20	-10
Anw. 2-stufig min (°C)	-70	-65	-65	-65	-65	-65	-55	-55	-50
Öl 1	POE	POE	POE	POE	POE	POE	PAO	PAO	POE
Öl 2	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE	PAG	PAG	PAG
Öl 3							POE	POE	
Normal-Siedepunkt (°C)	-46,2	-46,1	-45,7	-47,9	-45,6	-52	-42,1	-47,6	-78,3
Normal-Taupunkt (°C)	-45,5	-39,9	-40	-42,2	-37,8	-39,2	-42,1	-47,6	-78,3
Temp.-gleit (K)	0,7	6,2	5,7	5,7	7,8	12,8	0	0	0
krit. Temp. (°C)	72	83	82	82	86	86	97	91	31
krit. Druck (bar)	37,35	45,95	45	46,3	43,2	46,5	42,5	45,6	73,8
ODP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP AR4	3922	1387	1397	239	148	148	3	2	1
GWP AR6	4728	1494	1504	270	166	166	0,02		1
Sich.-klasse	A1	A1	A1	A2L	A2L	A2L	A3	A3	A1
prakt. Grenze AEL (kg/m <sup>3</sup> )	0,52	0,388	0,357	0,056	0,059	0,105	0,008	0,008	0,07

Tab. 2: R404A und alternative Kältemittel

### 5.3 R410A

Die folgende Tabelle zeigt die Daten für R410A und alternative Kältemittel.

	R410A	R32	R452B	R454B	R463A	R466A	R468B	R468C
Gruppe	HFKW	HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW
Bestandteile	R32/ 125		R32/ 125/ 1234yf	R32/ 1234yf	R32/ 125/ 1234yf/ 134a/ 744	R32/ 1234yf/ 1311	R32/ 1234yf/ 1132a	R32/ 1234yf/ 1132a
Anwendung max (°C)	12	15	15	15	15	15	0	15
Anwendung min (°C)	-25	-15	-25	-25	-25	-25	-40	-25
Anw. 2-stufig max (°C)	-40							
Anw. 2-stufig min (°C)	-80							
Öl 1	POE	POE	POE	POE	POE	POE	POE	POE
Öl 2	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE		
Normal-Siedepunkt (°C)	-51,4	-51,7	-50,7	-50,5	-59,9	-51,7	-52,4	-56,6
Normal-Taupunkt (°C)	-51,4	-51,7	-49,8	-49,5	-46,9	-51	-36,8	-46,2
Temp.-gleit (K)	0	0	0,9	1	13	0,7	15,6	10,4
krit. Temp. (°C)	71	78	77	78	76	76	85	76,8
krit. Druck (bar)	49,01	57,8	52,2	52,67	52,44	51,44	42,5	48,9
ODP	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP AR4	2088	675	698	466	1494	733		
GWP AR6	2256	771	779	531			101	324
Sich.-klasse	A1	A2L	A2L	A2L	A1	A1	A2L	A2L
prakt. Grenze AEL (kg/m³)	0,44	0,061	0,062	0,061	0,299	0,099	0,07	0,069

Tab. 3: R410A und alternative Kältemittel



## 5.4 R22

Die folgende Tabelle zeigt die Daten für R22 und alternative Kältemittel.

	<b>R22</b>	<b>R407C</b>	<b>R422D</b>	<b>R438A</b>	<b>R290</b>	<b>R1270</b>	<b>R717</b>	<b>R744</b>	<b>R454C</b>
Gruppe	HFCK W	HFKW	HFKW	HFKW	KW	KW	NH3	CO2	HFO/ HFKW
Bestandteile		R32/ 125/ 134a	R125/ 134a/ 600a	R32/ 125/ 134a/ 600/ 601a					R32/ 1234yf
Anwendung max (°C)	12	12	0	0	12	12	12	20	12
Anwendung min (°C)	-45	-25	-40	-40	-40	-40	-20	-20	-40
Anw. 2-stufig max (°C)	-20				-20	-20	-15	-10	-25
Anw. 2-stufig min (°C)	-50				-55	-55	-50	-50	-65
Öl 1	MO	POE	POE	POE	PAO	PAO	MO	POE	POE
Öl 2	AB	PVE	PVE	PVE	PAG	PAG	PAO	PAG	PVE
Öl 3					POE	POE	MO/HC		
Normal-Siedepunkt (°C)	-40,7	-43,8	-43,2	-42,3	-42,1	-47,6	-33,4	-78,3	-45,6
Normal-Taupunkt (°C)	-40,7	-36,7	-38,3	-35,7	-42,1	-47,6	-33,4	-78,3	-37,8
Temp.-gleit (K)	0	7,1	4,9	6,6	0	0	0	0	7,8
krit. Temp. (°C)	96	86	78	83	97	91	132	31	86
krit. Druck (bar)	49,9	46,15	37,95	41,79	42,5	45,6	113	73,8	43,2
ODP	0,055	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP AR4	1810	1774	2729	2264	3	2	0	1	148
GWP AR6	1960	1908			0,02			1	166
Sich.-klasse	A1	A1	A1	A1	A3	A3	B2L	A1	A2L
prakt. Grenze AEL (kg/ m³)	0,3	0,31	0,26	0,079	0,008	0,008	0,00035	0,07	0,059

Tab. 4: R22 und alternative Kältemittel

## 6 Anwendungsbereiche

### 6.1 HFKW-Kältemittel

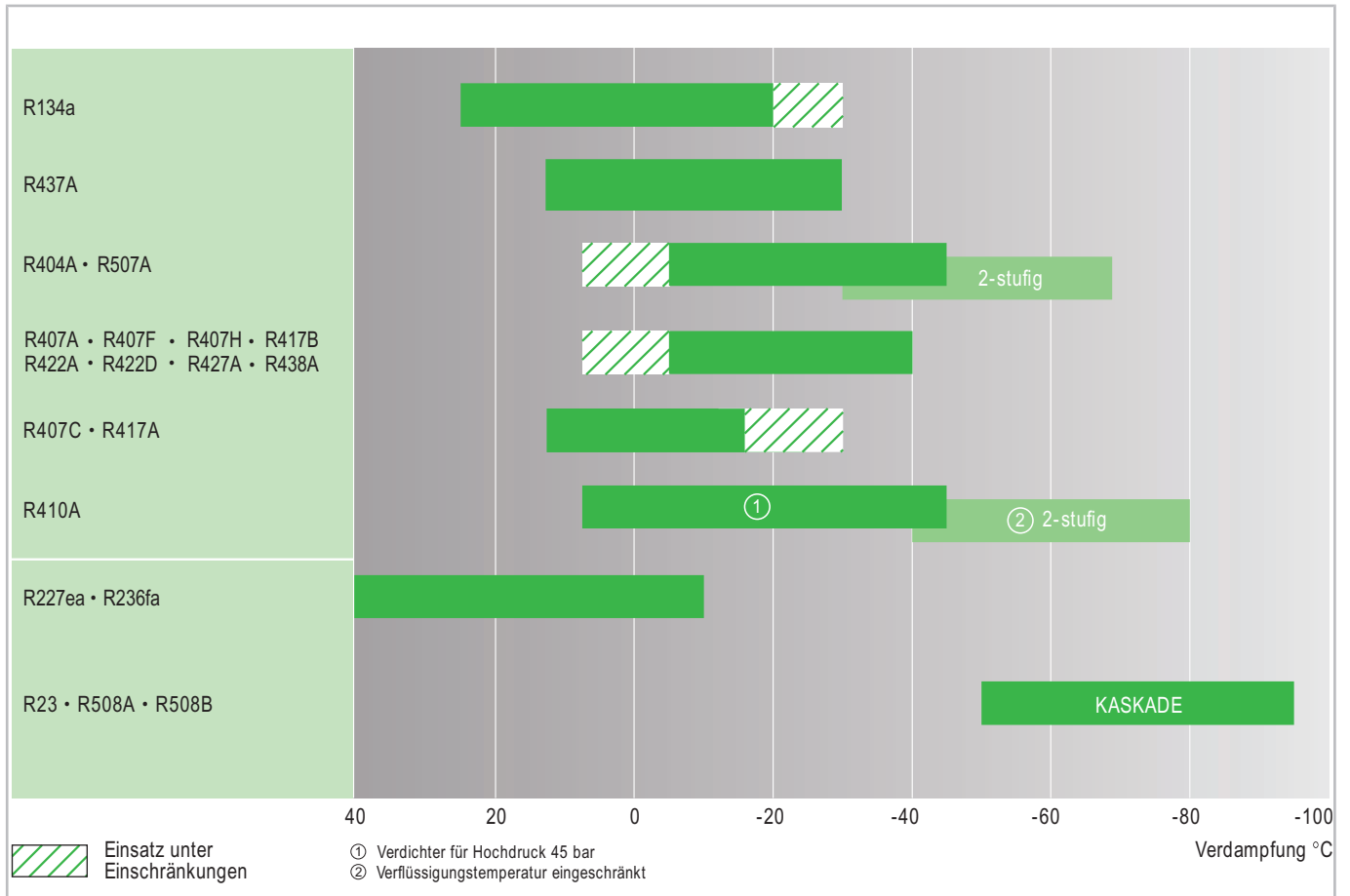


Abb. 1: Anwendungsbereiche von HFKW-Kältemitteln (ODP = 0)

## 6.2 „Low GWP“ Kältemittel

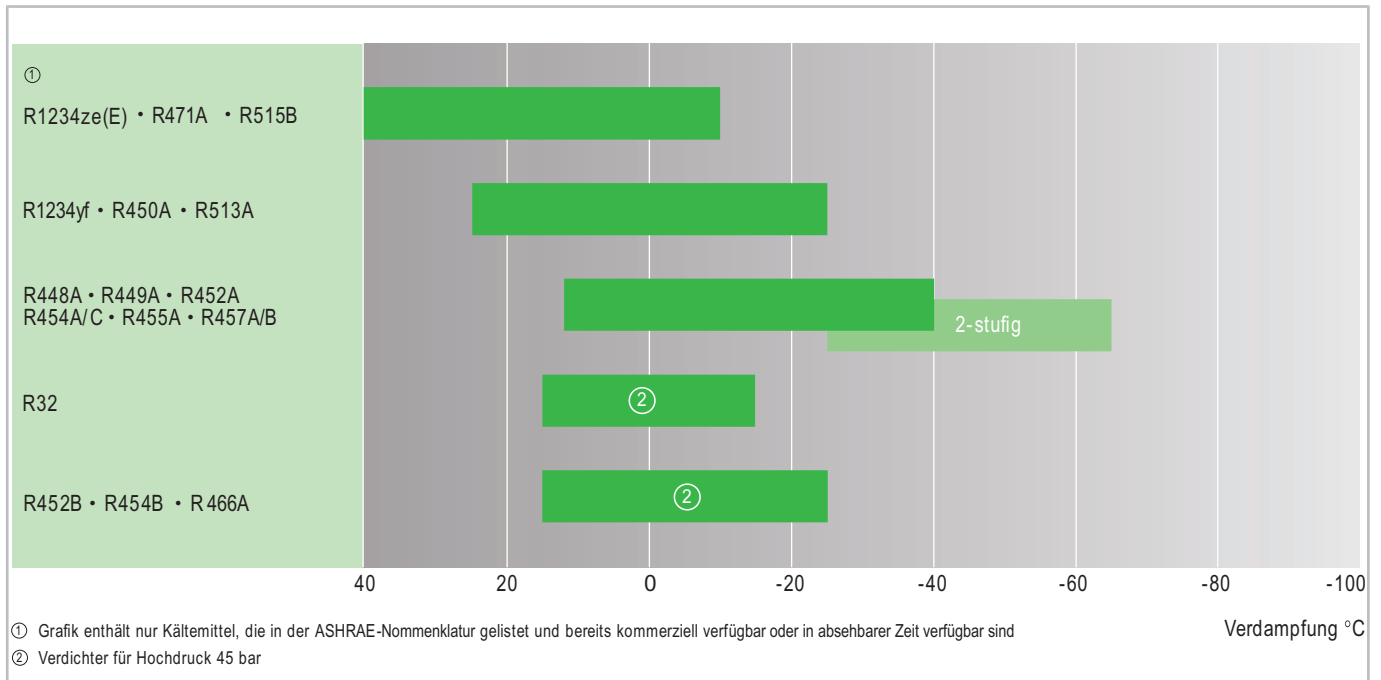


Abb. 2: Anwendungsbereiche von „Low GWP“ Kältemitteln (HFO, HFO/HFKW-Gemische, R32)

## 6.3 Halogenfreie Kältemittel

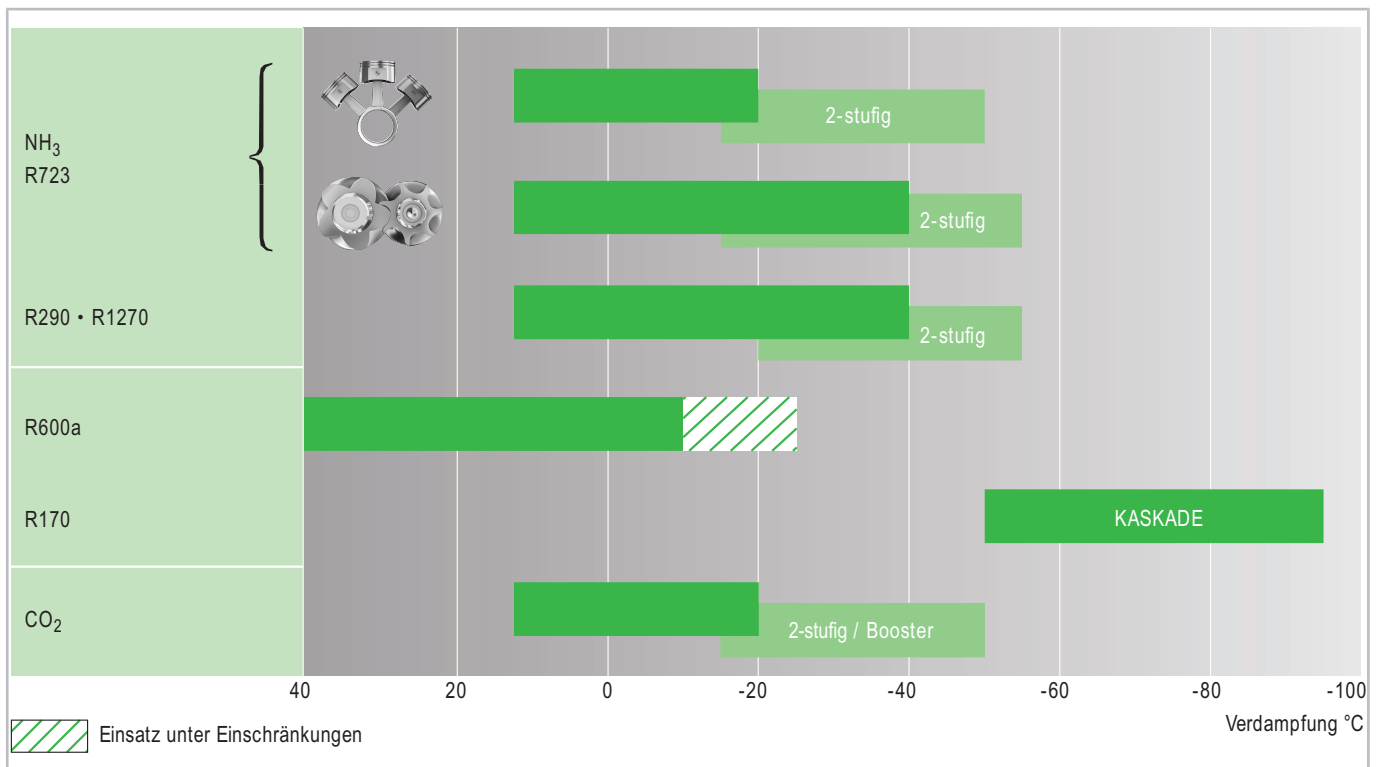


Abb. 3: Anwendungsbereiche halogenfreier Kältemittel

## 6.4 Übersicht Schmierstoffe

	Traditionelle Öle				Neue Schmierstoffe			
	Mineralöl (MO)	Alkybenzol (AB)	Mineralöl + Alkybenzol	Poly-Alpha-Olefin (PAO)	Polyol-Ester (POE)	Polyvinyl-Ether-Öl (PVE)	Poly-Alkylen-Glykol (PAG)	hydriertes Mineralöl
(H)FCKW								
Service-Gemische mit R22								
HFKW + Gemische								
HFKW/KW-Gemische								
HFO+HFO/HFKW-Gemische								
Kohlenwasserstoffe								
NH <sub>3</sub> · R723								
CO <sub>2</sub>								

	Gute Eignung		Eignung abhängig von Systemausführung		Besonders kritisch bei Feuchtigkeit		AD spezielle Formulierung
	Einsatz unter Einschränkungen		Nicht geeignet		VG Eventuell höhere Basis-Viskosität		

Abb. 4: Schmierstoffe für Verdichter