

Koudemiddelen

De internationale zorg over de aantasting van de ozon in de hoge luchtlagen door chloor heeft geleid tot het protocol van Montréal waarbij gasvormige stoffen met chloor atomen op korte termijn worden verboden. Dit heeft grote gevolgen voor de koudetechniek doordat moleculen van vele bekende koudemiddelen chloor bevatten. Bij het zoeken naar alternatieven of oplossingen worden twee hoofdrichtingen onderkend en wel:

- activering van het gebruik van natuurlijke koudemiddelen zoals NH_3 , CO_2 , water en propaan.
- verdere ontwikkeling van gehalogeneerde koolwaterstoffen zonder chlooratomen, wat heeft geleid tot een reeks alternatieve koudemiddelen.

In de discussies over de koudemiddelen worden een aantal afkortingen van begrippen en diverse aanduidingen van de koudemiddelen gebruikt. Voor een beter begrip wordt hieronder een kort overzicht gegeven van deze afkortingen en verschillende indelingen van koudemiddelen.

ODP = ‘Ozon Depletion Potential’, de bijdrage aan de afbraak van de ozon in de hogere luchtlagen. Het is niet mogelijk dit als een absolute maat aan te geven en daarom wordt het steeds als een relatieve waarde gepresenteerd. Als basis is gekozen de ODP van R11 die op één wordt gesteld.

GWP = ‘Global Warming Potential’, het broeikaseffect door de uitstoot van CO_2 . Ook hier is het niet mogelijk een absolute waarde aan te geven en wordt het als een relatieve waarde gepresenteerd. Als basis wordt in de koudetechniek doorgaans gekozen voor de GWP van R11 die op één is gesteld (soms wordt de verhouding met CO_2 als basis genomen).

TEWI waarde = ‘Total Equivalent Warming Impact’. Het geeft de bijdrage aan van een koelinstallatie aan het broeikaseffect veroorzaakt door de koudemiddel-emissie als gevolg van lekkage en onderhoud opgeteld bij het energieverbruik van de installatie. Door het gebruik van de TEWI waarde kan de invloed van iedere koelinstallatie op ons klimaat worden vastgesteld.

In de beschouwingen over koudemiddelen in relatie met de ODP wordt meestal een aanduiding gebruikt die betrekking heeft op de samenstelling van het molecuul zoals:

CFK xxx = het molecuul bevat Chloor, Fluor en Koolstofatomen
(voorbeeld: R11, R12).

HCFK xxx = het molecuul bevat waterstof (chemisch aangeduid door de letter H), Chloor,

Fluor en Koolstofatomen. Dergelijke moleculen bevatten minder chlooratomen (voorbeeld: R22).
HFk xxx = het molecuul bestaat uit waterstof, Fluor en Koolstofatomen en heeft daardoor een ODP waarde van nul (voorbeeld: R134a).

Bij het zoeken van alternatieven voor R11, R12 en R502 etc heeft men getracht stoffen te vinden die wat fysische eigenschappen betreft zoals drukverloop, verdampingswarmte, kookpunt etc, dicht bij het te vervangen koudemiddel komen. Men heeft enkelvoudige stoffen gevonden die aan de eisen voldoen zoals R134a. Daarnaast onderzoekt men of er mengsels zijn te maken, die aan de eisen voldoen en dit heeft geleid tot een andere indeling van de koudemiddelen.

Deze zijn in te delen in de volgende groepen:

1. enkelvoudige stoffen, die dus bestaan uit één type molecuul zoals R134a. Deze vertonen steeds een kookpunt.
2. Azeotropische mengsels (azeotropen genoemd). Dit is een mengsel van twee (of drie) stoffen met een zodanige samenstelling dat het mengsel een duidelijk kookpunt heeft en zich dus gedraagt als een enkelvoudige stof (voorbeeld R507).
3. zeotropische mengsels (zeotropen genoemd) dat zijn mengsels die zich bijna azeotropisch gedragen en een, meestal kleine, kook- en condensatietraject vertonen (Voorbeeld R407c; het kooktraject is afhankelijk van de druk)

De oudste en algemeen gebruikte classificatie en voor de koudetechniek het meest geschikt is de door ASHRAE (USA) opgestelde aanduiding door 'R getal'.

Tabel I en II geeft een recent gepubliceerd overzicht van de alternatieve koudemiddelen met hun aanduiding.

Tabel I heeft betrekking op de HFCKs koudemiddel, die dus alle een ODP waarde hebben en daarom als een middellange termijn koudemiddel worden gezien.

Tabel II heeft betrekking op de HFk's koudemiddelen en deze hebben dus alle een ODP nul en worden daarom gezien als de lange termijn oplossing. In de tabellen zijn tevens de verschillende handelsnamen opgenomen en ook voor welk koudemiddel het als een alternatief is bedoeld. Uit de tabellen blijkt dat verschillende industriële producenten van koudemiddelen alternatieven hebben ontwikkeld en op de markt brengen.

Op de Nederlandse markt zijn verschillende alternatieve koudemiddelen verkrijgbaar waarvan tabel III en IV een overzicht geven. Tabel III geeft een overzicht van alternatieve koudemiddelen voor R12, R502 en R22, die alle worden geclassificeerd als korte termijn oplossing omdat deze HCFC's in Europa na 2015 niet meer mogen worden geproduceerd. Tabel IV geeft een overzicht van de alternatieven voor R12, R502 en R22 voor de lange termijn oplossing omdat deze behoren tot de HFk's, die dus een ODP van nul vertonen.

Uit het grote aanbod alternatieve koudemiddelen komen er een aantal naar voren die kennelijk als de 'winnaars' worden beschouwd. Ook de aandacht voor ammoniak als koude-

middel voor grote en kleine installaties neemt toe. Dit resulteert in een overzicht (tabel V) van de voor de praktijk belangrijke koudemiddelen en de Nederlandse leveranciers (uitgezonderd NH₃)

In tabel VI zijn enige karakteristieke gegevens van deze selectie koudemiddelen weergegeven. Daar er nog vele installaties met R22 zijn gevuld worden de gegevens van dit koudemiddel mede opgenomen.

Van de koudemiddelen zijn door de fabrikanten tabellen over fysische grootheden als functie van de verdampingstemperatuur opgesteld. Van de genoemde koudemiddelen bestaan druk-enthalpie diagrammen van het verzadigings en het oververhittings gebied. Gezien de beperkingen door de afmetingen van de pagina van dit boek is er van afgezien deze op te nemen. De diagrammen zijn, vaak in verhelderende kleurendruk, verkrijgbaar bij de fabrikanten van de koudemiddelen, bij het IIF/IIR (zie adressenlijst) of bij het secretariaat van de NVvK te Apeldoorn.

De leveranciers van de koudemiddelen geven in hun documentatie van de koudemiddelen doorgaans een overzicht van de verdraagbaarheid van het koudemiddel met materialen i.h.b. met kunststoffen.

Bij de vervanging van de nu of binnenkort niet meer geproduceerde koudemiddelen door nieuwe, heeft men gezocht naar z.g. 'drop ins', waarbij vervanging geen aanpassing van de installatie nodig is. Dit is in het algemeen niet mogelijk gebleken (zie ook opmerkingen in Tabel III en IV) en altijd is enige aanpassing noodzakelijk voor de droger/filter, expansie ventiel en in het bijzonder de smeerolie.

Door de NVKL is een advies opgesteld over de vervanging van R12 en R502. Rekening houdende met het verbod in 2015 van de HFCK's is in tabel VII en tabel VIII een aangepast advies gepresenteerd waarin tevens advies over de toe te passen smeerolie is opgenomen. Vaak dient een synthetische smeerolie te worden toegepast en deze zijn bijzonder hygroscopisch, zodat bij het vullen van de installatie er op moet worden gelet dat de olie zo min mogelijk in contact komt met de buitenlucht.

De compressorfabrikanten geven een gedetailleerd advies over het merk en type olie dat in de door hen gefabriceerde compressor moet worden toegepast. De door de NVKL opgestelde overzicht hiervan is in tabel IX weergegeven. Aanbevolen wordt alvorens smeerolie voor de uit de tabel geadviseerde olie te gebruiken, contact op te nemen met de fabrikant/importeur van de compressor om het meest recente inzicht/advies te vernemen.

Tabel I. Overzicht van de HFCK.s volgens de ASHRAE indeling.

1. kookpunt of (kooktraject) bij p= 101,3 kPa (1 atm.)
2. gebaseerd op een periode van 100 jaar
De bij de koudemiddelen genoemde klasse heeft betrekking op de USA indeling over de veiligheid.

ASHREA nr. (klasse)	Samenstelling (% massa)	NBP1(°C) (kookp/traj.)	ODP (R11=1)	GWP ² (R11=1)	vervangt	Handelsnaam
R-22 (A1)		-40.9	0.055	0.35	R-502 Mix.comp.	
R-123 (B1)		27.9	0.020	0.02	CFC-11	
R-124		-13.2	0.022	0.10	CFC-114 mix.comp.	
R-141b		32.2	0.110	0.13	CFC-11	
R-142b (A2)		-9.1	0.065	0.42	mixture component	
R-401A (A1/A1)	R-22/152a/124 (53/13/34)	(-33.0/6.3)	0.037	0.23	CFC-12	Suva™ MP 39
R-401B (A1/A1)	R-22/152a/124 (61/11/28)	(-34.6/5.9)	0.040	0.25	CFC-12 R-500	Suva™ MP 66
R-401C (A1/A1)	R-22/152a/124 (61/11/28)	(-28.3/4.7)	0.030	0.18	CFC-12	Suva™ MP 52
R-402A (A1/A1)	R-125/290/22 (60/2/38)	(-48.9/2.0)	0.021	0.54	R-502	Suva™ HP 80
R-402B (A1/A1)	R-125/290/22 (38/2/60)	(-47.1/2.3)	0.033	0.46	R-502	Suva™ HP 81
R-403A (A1/A10)	R-290/22/218 (5/75/20)	(-50.0/2.5)	0.041	> 1.67	R-502	Isceon™ 69-S
R-403B (A1/A1)	R-290/22/218 (5/56/39)	(-49.5/0.9)	0.030	> 2.71	R-502	Isceon™ 69-L
R-405A (A1/A1)	R-22/152a/142b/C318 (45/7/5.5/42.5)	(-35.5/5.5)	0.028		CFC-12	G2015
R-406A (A1/A2)	R-22/600a/142b (55/4/41)	(-36.0/9.9)	0.057	0.38	CFC-12	GHG 12
R-408A (A1/A1)	R-125/143a/22 (7/46/47)	(-44.4/0.7)	0.026	0.63	R-502	Forane™ FX 10
	R-125/143a/290/22 (42/6/2/50)	(-42.5/1.0)	0.027	0.52	R-502	Meforex™ DI 44
R-409A (A1/A1)	R-22/124/142b (60/25/15)	(-34.3/8.5)	0.048	0.29	CFC-12	Forane™ FX 56
	R-22/124/142b (65/25/10)	(-35.5/7.7)	0.048	0.29	CFC-12	Forane™ FX 57
	R-22/124/600 (50/47/3)	(-32.1/6.1)	0.038	0.23	CFC-12	Meforex™ DI 36
R-509 (A1)	R-22/218 (44/56)	-47.5(azeo)	0.024	4.17	R-502	Arcton™ TP5R2
R-411A (A1/A2)	R-1270/22/152a (1.5/87.5/11)		0.048	0.31	HCFC-22	G2018A
R-411B	R-1270/22/152a (3/94/3)		0.052	0.33	R-502	G2018B
R-412A (A1/A1)	R-22/218/142b (70/5/25)	(-40.1/8.1)	0.055	0.71	R-500	Arcton™ TP5R
	R-134a/124/600 (59/39/2)	(-24.7/2.8)	0.006	0.12	CFC-12	Meforex™ DI 24

Tabel II Overzicht van de HFK's volgens de ASHRAE indeling.

1. kookpunt of (kooktraject) bij p=101,3 kPa (1 atm.)
2. gebaseerd op een periode van 100 jaar
De bij de koudemiddelen genoemde
3. klasse heeft betrekking op de USA indeling over de veiligheid.
3. nog niet toegewezen
* mogelijk alternatief

ASHREA nr. (klasse)	Samenstelling (% massa)	NBP ¹ (°C) (kookp/traj.)	GWP ² (R11=1)	vervangt	Handelsnaam
R-23		-82.1	2.52	*CFC-13/BFC-13B1 *R-503/mix.comp.	
R-32 (A2)		-51.7	0.12	mixture component	
R-125 (A1)		-48.6	0.67	mixture component	
R-134a (A1)		-26.1	0.27	*CFC-12/HCFC-22 mixture component	
R-143a (A2)		-47.4	0.92	mixture component	
R-152a (A2)		-24.7	0.03	mixture component	
R-404A (A1/A1)	R-125/143a/134a (44/52/4)	(-46.5/0.8)	0.77	*R-502/HCFC-22	Forane™ FX 70 Meforex™ M55 Reclin™ 404A Suva™ HP 62
R-407A (A1/A1)	R-32/125/134a (20/40/40)	(-45.5/6.6)	0.40	*R-502	Klea™ 407A
R-407A-B (A1/A1)	R-32/125/134a (10/70/20)	(-47.3/4.4)	0.54	CFC-12/*R-502	Klea™ 407B
R-407C (A1/A1)	R-32/125/134a (23/25/52)	(-44.0/7.2)	0.33	*HCFC-22	Genetron™ 407C Klea™ 407C Meforex™ M95 Reclin™ HX3 Suva™ 9000
	R-32/125/134a (10/45/45)	(-49.7/0.9)	0.73	*R-502	Forane™ FX 40
R-410A (A1/A1)	R-32/125 (50/50)	(-52.7/<0.1)	0.40	HCFC-22	Genetron™ AZ 20 Solkane™ 410A
R-410B (A1/A1)	R-32/125 (45/55)	(-51.8/<0.1)	0.42	HCFC-22	Suva™ 9100
	R-32/125/143a/134a (10/33/36/21)	(-49.4/4.1)	0.63	HCFC-22/*R-502	Reclin™ HX4
	R-23/32/134a (4.5/21.5/74)	(-43.0/10.2)	0.33	*HCFC-22	Forane™ FX 220
R-507 (A1)	R-125/143a (50/50)	-46.7(azeo)	0.79	R-502/R-22	Genetron™ AZ 50 Meforex™ M57
(R-508) ³ (A1) ³	R-23/116 (39/61)	-85.7(azeo)	2.56	*CFC-13/*R-503	Klea™ 508
	R-23/166 (46/54)	-88(nearm)	2.56	*CFC-13/*R-503	Suva™ 95
	R-32/134a (25/75)	(-40.4/7.2)	0.23	*HCFC-22	
	R-290/600 (50/50)	(-31.6/12.3)	0	*CFC-12	OZ 12
R-717 (B2)	NH ₃	-33.3	0	HCFC-22/R-502	

Tabel III Overzicht van de op de Nederlandse markt verkrijgbare alternatieve koudemiddelen (korte termijn)

(ontleend aan: CFK Actie programma; Alternatieven voor de koudemiddelen R 12, R 502 en R 22; mei 1994)

Korte termijn alternatieven	Alternatief voor	Kookpunt (1 atm.) in °C	Temperatuurtraject	ODP (t.o.v. CFK-11)	GWP (t.o.v. CFK-11)	Samenstelling	Opmerking
R-22	CFK-12	-41	0 K	0,055	0,35	22	nieuwe installaties
R-401A	CFK-12	-33	5 K	0,037	0,22	22/152a/124	bijna 'drop-in' vervanging minerale olie
R-401C	CFK-12	-29	5 K	0,030	0,17	22/152a/124	bijna 'drop-in' vervanging minerale olie
R-401B	CFK-12	-35	5 K	0,040	0,24	22/152a/124	bijna 'drop-in' vervanging minerale olie
R-409A	CFK-12	-34	8 K	0,055	0,3	22/124/142a	directe 'drop in'
R-22	R-502	-41	0 K	0,055	0,35	22	in bestaande en nieuwe installaties
R-408A	R-502	-49	1,5 K	0,026	0,63	22/125/ propanan	bijna 'drop-in' vervanging minerale olie
R-402B	R-502	-47	1,5 K	0,033	0,52	22/125/ propanan	bijna 'drop-in' vervanging minerale olie
R-403A	R-502	-50	2,5 K	0,041	1,75	22/218/ propanan	directe 'drop in'
R-403B	R-502	-51	1,0 K	0,030	3,00	22/218/ propanan	directe 'drop in'
R-408A	R-502	-45	0,5 K	0,026	0,76	22/143a	directe 'drop in'

Tabel IV Overzicht van de op de Nederlandse markt verkrijgbare alternatieve koudemiddelen (lange termijn)

(ontleend aan: CFK Aktie programma; Alternatieven voor de koudemiddelen R 12, R 502 en R 22; mei 1994)

Lange termijn alternatieven	Alternatief voor	Kookpunt (1 atm.) in °C	Temperatuur-traject	ODP (t.o.v. CFK-11)	GWP (t.o.v. CFK-11)	Samenstelling	Opmerking
R-134a	CFK-12	-26	0	0	0.26	134a	beschouwd als het alternatief voor CFK-12
R-407A	R-502	-46	5 K	0	0.49	32/125/134a	hogere persgas-temperatuur dan R-502
R-407B	R-502	-47	3 K	0	0.70	32/125/134a	lagere persgas-temperatuur dan R-502
R-404A	R-502	-46	0.5 K	0	0.94	125/143a/134a	lagere persgas-temperatuur dan R-502
	R-502	-48	0.6 K	0	0.89	32/125/134a	hogere persgas-temperatuur dan R-502; geen geschikte compressoren beschikbaar
R-507	R-502	-46	0	0	0.98	125/143a	grotere koelcapaciteit, 10% hoger drukniveau
R-407C	HCFK-22	-36	5 K	0	0.29	32/125/134a	benadert HCFK-22 goed
	HCFK-22	-42	8 K	0	0.40	23/32/134a	
R-410A	HCFK-22	-53	0	0	0.44	32/125	60% hoger drukniveau; herontwerp installatie nodig

Tabel V. Overzicht producenten en Nederlandse leveranciers van de belangrijkste alternatieve koudemiddelen.

<i>Producent:</i>	Allied Signal	I.C.I.	Dehon	DuPont
<i>Nederlandse Vertegenwoordiger:</i>	Westfalen Gassen Deventer	Unie Chemie Apeldoorn	Dehon Service NL p/a Coolgas B.V., Son	Hoek Loos Schiedam
R-134a	Genetron 134a	Klea 134a	Forane R 134a	Suva 134a
R404A	Genetron 404A	Arcton 404A	Forane R 404A	HP 62
R-407C	Genetron 407C	Klea 407C	Forane R 407C	Suva 9000
R-507	Genetron AZ-50	Forane R 507	—
R-717 (NH₃)				

Koude- middel	M kg/k Mol	T _f °C	T _b °C	T _{kr} °C	P _{kr} MPa	V _{kr} dm ³ /kg	Cp/Cv 1)	R J/(kg.K)
R-717 (NH₃)	17,03	-77,9 (NH ₃ : tripelpunt)	-3,35	132,4	11,297	4,26	1,335(0)	488,2
R-22	86,48	-160	-40,8	96,0	4,98	1,905	1,177	96,14
R-134a	102,3	-9,6	-26,1	101,1	4,06	1,953	1,224	
R-404A	97,6		(-46.5/0.8)	72,1	3,732	2,06		
R-407C			(-44.0/7.2)	88,0	4,8	2,00		
R-507	98,9		-46,7	70,9	3,793	2,00		
R-502	111,6	-46	-45,42	179,89	179,89	4,075		

M molaire massa
T_f stoltemperatuur
(voor NH₃ tripelpunt)
T_b kooktemperatuur bij
atmosferische druk
T_{kr} kritische temperatuur

P_{kr} kritische druk
V_{kr} kritische soortelijk volume
R gasconstante
1) De opgegeven waarde voor Cp/Cv geldt
bij 30 °C, tenzij tussen haakjes een an-
dere waarde wordt vermeld.

Tabel VI. Fysische constante waarden voor een aantal koudemiddelen.

Tabel VII. Advies over het retrofitten van R 12 installaties.

Koudemiddel	Toepassings- gebied ¹⁾	Kookpunt °C	Temperatuur- traject ²⁾	Condensatie- temperatuur bij 26 bar (abs) °C	Pergas- temperatuur ³⁾	Smeer- middel ⁴⁾
CFK-koudemiddel als referentie-uitgangspunt						
R-12	HML	-30	0	86	0	M MA A (P) ⁵⁾
HCFK-mengsels met R22 (korte termijn alternatieven)						
R-401A (MP39)	HM	-33	<4.5 (M)	80	+13 (M)	MA A (P) ⁵⁾
R-401B (MP66)	L	-35	<4 (L)	77	+18 (L)	MA A (P) ⁵⁾
R-409A	M	-34	<6 (M)	75	N/A ⁶⁾	MA A (P) ⁵⁾
HFK-koudemiddel chloorvrij (lange termijn alternatief)						
R-134a	HM(L)	-26	0	80	-8 (M)	P

Tabel VIII. Advies over het retrofitten van R22 en R 502 installaties.

Koudemiddel	Toepassingsgebied ¹⁾	Kookpunt °C	Temperatuurtraject ²⁾ K	Condensatietemperatuur bij 26 bar (abs) °C	Pergas-temperatuur ³⁾ K	Smeermiddel ⁴⁾
CFK-koudemiddel als referentie-uitgangspunt						
R-502	ML	-46	0	60	0	M MA A (P) ⁵⁾
R-22	M (L)	-41	0	63	+35 (L)	M MA A (P) ⁵⁾
HCFK-mengsels met R22 (korte termijn alternatieven)						
R-402A (HP39)	M(L)	-49	<1,5	53	0	MA A (P) ⁵⁾
R-403B (69L)	(M)L	-51	<1	54	0	MA A (P) ⁵⁾
R-408A (FX10)	ML	-45	<0,5	58	+10	MA A (P) ⁵⁾
HFK-koudemiddel chloorvrij (lange termijn alternatief)						
R-404A (HP62/FX70)	ML	-47	<0,5	55	-9	P
R-507 (AZ50)	ML	-47	0	54	-10	P
R-407A (Klea 60)	ML	-46	<4	56	+11	P
R-407C (AC 9000/ Klea 66)	H	-44	7,4	60	-10	P

**Tabel IX. Overzicht van de door fabrikanten van compressoren
aanbevolen smeerolie.**

			Aspera	Bitzer	Bock	Bristol	Carrier	Copeland	Cubigel	Danfoss	Dorin	Dunham Bush	DWM Copeland	Frascold	Frigopol	Grasso	L'Unité Hermétique	Maneurop	Mycom**	Necchi R-134a	Necchi R-404A	Prescold	Sabroe	Stal	Tecumseh	York	Trane	McQuay				
Castrol	Icematic	SW 22								•										•												
		SW 32				•	•				•	•		•	•									•		•						
		SW 46			•																			•								
		SW 68			•		•																				•					
		SW 100											•				•							•	•		•					
		SW 150												•			•							•	•		•					
		SW 220							•															•	•							
		SW 350																						•								
CPI	Solest	68															•						•	•								
		85																					•	•								
		120																					•	•								
		220																					•	•								
		370																					•	•								
DEA	Triton	SEZ 32	•	•																												
		SE 55	•	•					•														•	•			•					
		SEZ80								•														•	•							
		SE 120		•																				•	•		•					
		SE 170		•																				•	•							

Tabel X. Thermodynamische tabellen van NH₃

Temp.	Druk (kPa)	Soortelijk Volume (kg/m ³)		Enthalpie (kJ/kg)		Entropie (kJ/kg·K)	
		'	”	'	”	'	”
-77,9	5,9	734,75	0,0624	78,5	1565,6	0,4186	8,0387
-70,00	10,9	725,69	0,1110	113,0	1580,3	0,5917	7,8143
-60,00	21,9	713,77	0,2126	156,3	1598,1	0,7999	7,5640
-50,00	40,8	702,24	0,3780	200,0	1615,2	1,0000	7,3419
-45,00	54,5	696,37	0,4987	222,0	1623,4	1,0973	7,2400
-40,00	71,7	690,13	0,6447	244,0	1631,4	1,1928	7,1435
-35,00	93,1	683,99	0,8230	266,2	1639,2	1,2867	7,0519
-30,00	120	677,96	1,0389	288,2	1646,6	1,3789	6,9649
-25,00	152	671,59	1,2978	310,8	1653,8	1,4697	6,8820
-20,00	190	664,89	1,6056	333,2	1660,7	1,5589	6,8029
-15,00	236	658,76	1,9688	355,7	1667,2	1,6467	6,7273
-10,00	291	651,89	2,3940	378,3	1673,5	1,7331	6,6549
-5,00	355	645,57	2,8885	401,0	1679,3	1,8181	6,5854
0,00	429	638,56	3,4602	423,8	1684,8	1,9019	6,5187
5,00	516	631,71	4,1169	446,6	1690,0	1,9844	6,4544
10,00	615	624,60	4,8709	469,6	1694,7	2,0657	6,3923
15,00	729	617,66	5,7273	492,7	1699,0	2,1459	6,3323
20,00	857	610,12	6,6979	515,9	1702,9	2,2250	6,2741
25,00	1003	602,77	7,7942	539,3	1706,4	2,3032	6,2176
30,00	1167	595,23	9,0334	562,8	1709,3	2,3804	6,1626
35,00	1350	587,54	10,4242	586,4	1711,8	2,4568	6,1089
40,00	1555	579,37	11,9832	610,3	1713,8	2,5324	6,0563
45,00	1782	571,10	13,7287	634,3	1715,2	2,6074	6,0047
50,00	2033	562,74	15,6789	658,7	1716,0	2,6819	5,9539
60,00	2614	545,25	20,2881	708,3	1715,7	2,8299	5,8537
70,00	3312	526,32	26,0349	759,6	1712,3	2,9777	5,7543
80,00	4140	505,56	33,2336	813,2	1705,3	3,1271	5,6533
90,00	5114	482,86	42,3908	870,1	1693,6	3,2806	5,5481
100,00	6252	456,83	54,2888	932,1	1675,3	3,4422	5,4339

‘ index verzadigde vloeistof “ index verzadigde damp

R22**Tabel XI. Thermodynamische tabellen van R 22**

Temp.	Druk (kPa)	Soortelijk Volume (kg/m ³)		Enthalpie (kJ/kg)		Entropie (kJ/kg-K)	
		'	”	'	”	'	”
-80,00	10,8	1518,41	0,5851	-40,53	210,63	-0,1900	1,1104
-75,00	15,2	1504,78	0,8058	-35,56	213,07	-0,1646	1,0901
-70,00	21,0	1491,12	1,0896	-30,56	215,50	-0,1398	1,0715
-65,00	28,5	1477,4	1,4491	-25,55	217,93	-0,1155	1,0543
-60,00	38,1	1463,6	1,8979	-20,51	220,34	-0,0916	1,0384
-55,00	50,2	1449,69	2,4510	-15,44	222,73	-0,0682	1,0236
-50,00	65,1	1435,66	3,1250	-10,34	225,10	-0,0451	1,0099
-45,00	83,4	1421,49	3,9386	-5,19	227,43	-0,0224	0,9972
-40,00	105,6	1407,15	4,9092	0,00	229,74	0,0000	0,9854
-35,00	132,2	1392,61	6,0606	5,24	232,01	0,0221	0,9743
-30,00	163,9	1377,86	7,4129	10,53	234,23	0,0440	0,964
-25,00	201,1	1362,86	8,9928	15,88	236,40	0,0656	0,9543
-20,00	244,7	1347,59	10,8225	21,29	238,52	0,0870	0,9452
-15,00	295,1	1332,01	12,9366	26,77	240,59	0,1083	0,9366
-10,00	353,2	1316,11	15,3610	32,32	242,58	0,1294	0,9284
-5,00	419,7	1299,83	18,1159	37,94	244,51	0,1503	0,9207
0,00	495,4	1283,14	21,2766	43,65	246,36	0,1712	0,9133
5,00	580,9	1265,99	24,8756	49,43	248,12	0,1919	0,9062
10,00	677,1	1248,35	28,9017	55,30	249,79	0,2125	0,8993
15,00	784,9	1230,14	33,4448	61,27	251,35	0,2330	0,8927
20,00	905,0	1211,31	38,6100	67,33	252,79	0,2535	0,8862
25,00	1038,4	1191,79	44,4444	73,51	254,11	0,2740	0,8798
30,00	1185,9	1171,47	51,0204	79,80	255,28	0,2945	0,8734
35,00	1348,5	1150,27	58,4795	86,22	256,29	0,3150	0,8669
40,00	1527,3	1128,06	67,1141	92,78	257,11	0,3356	0,8604
45,00	1723,1	1104,67	76,3359	99,51	257,71	0,3563	0,8536
50,00	1937,1	1079,92	87,7193	106,41	258,06	0,3772	0,8465
55,00	2170,4	1053,55	100,0000	113,53	258,11	0,3984	0,8390
60,00	2424,4	1025,22	113,6364	120,89	257,79	0,4199	0,8308
65,00	2700,3	994,44	131,5789	128,56	257,02	0,4419	0,8218
70,00	2999,7	960,51	151,5152	136,62	255,66	0,4646	0,8116

‘ index verzadigde vloeistof “ index verzadigde damp

Tabel XII. Thermodynamische tabel van R 134a

Temp.	Druk (kPa)	Soortelijk Volume (kg/m ³)		Enthalpie (kJ/kg)		Entropie (kJ/kg-K)	
		'	”	'	”	'	”
-80,00	3,679	1525,71	0,235	100,367	349,209	0,5710	1,8594
-75,00	5,482	1512,01	0,341	106,206	352,292	0,6009	1,8428
-70,00	7,980	1498,29	0,486	112,087	355,399	0,6302	1,8279
-65,00	11,371	1484,54	0,677	118,014	358,525	0,6590	1,8144
-60,00	15,887	1470,73	0,926	123,989	361,667	0,6873	1,8024
-55,00	21,797	1456,86	1,245	130,014	364,818	0,7152	1,7916
-50,00	29,406	1442,89	1,648	136,091	367,975	0,7428	1,7819
-45,00	39,059	1428,82	2,149	142,219	371,134	0,7699	1,7732
-40,00	51,139	1414,61	2,767	148,401	374,288	0,7967	1,7655
-35,00	66,065	1400,25	3,518	154,638	377,434	0,8231	1,7586
-30,00	84,295	1385,71	4,424	160,932	380,566	0,8492	1,7525
-25,00	106,320	1370,97	5,504	167,283	383,681	0,8750	1,7470
-20,00	132,668	1356,00	6,784	173,695	386,773	0,9005	1,7422
-15,00	163,899	1340,77	8,288	180,170	389,836	0,9257	1,7379
-10,00	200,601	1325,27	10,044	186,711	392,866	0,9507	1,7341
- 5,00	243,394	1309,45	12,082	193,319	395,857	0,9755	1,7308
0,00	292,925	1293,28	14,435	200,000	398,803	1,0000	1,7278
5,00	349,868	1276,74	17,140	206,756	401,697	1,0244	1,7252
10,00	414,919	1259,77	20,236	213,593	404,532	1,0485	1,7229
15,00	488,801	1242,33	23,770	220,514	407,300	1,0726	1,7208
20,00	572,259	1224,38	27,791	227,526	409,993	1,0964	1,7189
25,00	666,063	1205,86	32,359	234,634	412,600	1,1202	1,7171
30,00	771,005	1186,69	37,540	241,846	415,109	1,1439	1,7155
35,00	887,907	1166,81	43,413	249,170	417,506	1,1676	1,7138
40,00	1017,616	1146,11	50,072	256,617	419,775	1,1912	1,7122
45,00	1161,013	1124,49	57,630	264,197	421,897	1,2148	1,7105
50,00	1319,017	1101,80	66,225	271,926	423,845	1,2384	1,7086
55,00	1492,592	1077,87	76,035	279,821	425,590	1,2622	1,7064
60,00	1682,762	1052,47	87,287	287,905	427,091	1,2861	1,7039
65,00	1890,623	1025,28	100,283	296,209	428,296	1,3102	1,7009
70,00	2117,366	995,91	115,442	304,772	429,132	1,3347	1,6971
75,00	2364,313	963,73	133,373	313,652	429,496	1,3597	1,6924
80,00	2632,970	927,84	155,010	322,936	429,230	1,3854	1,6863
85,00	2925,109	886,70	181,929	332,764	428,076	1,4121	1,6782

‘ index verzadigde vloeistof “ index verzadigde damp

R404A**Tabel XIII. Thermodynamische tabel van R 404A.**

Temp.	Druk (kPa)		Soortelijk Volume (kg/m ³)		Enthalpie (kJ/kg)		Entropie (kJ/kg-K)	
	'	”	'	”	'	”	'	”
-75,00	20,482	19,338	1384,59	1,1568	103,478	321,001	0,5911	1,6922
-70,00	28,150	26,712	1370,40	1,5631	109,257	324,240	0,6199	1,6811
-65,00	38,008	36,228	1356,13	2,0762	115,111	327,497	0,6483	1,6713
-60,00	50,485	48,317	1341,78	2,7153	121,041	330,765	0,6764	1,6628
-55,00	66,055	63,449	1327,32	3,5010	127,052	334,037	0,7042	1,6552
-50,00	85,233	82,140	1312,73	4,4561	133,146	337,308	0,7318	1,6487
-45,00	108,574	104,947	1297,98	5,6052	139,327	340,571	0,7591	1,6430
-40,00	136,671	132,464	1283,05	6,9754	145,599	343,818	0,7862	1,6380
-35,00	170,143	165,314	1267,90	8,5953	152,422	347,047	0,8150	1,6337
-30,00	209,538	204,060	1252,48	10,4916	159,921	350,257	0,8460	1,6301
-25,00	255,411	249,265	1236,77	12,6924	166,290	353,419	0,8718	1,6271
-20,00	308,668	301,827	1220,71	15,2461	172,774	356,533	0,8975	1,6245
-15,00	370,067	362,506	1204,24	18,1964	179,379	359,589	0,9231	1,6222
-10,00	440,393	432,097	1187,31	21,5929	186,104	362,578	0,9487	1,6202
- 5,00	520,466	511,427	1169,82	25,4924	192,977	365,487	0,9743	1,6184
0,00	611,129	601,346	1151,71	29,9600	200,000	368,303	1,0000	1,6168
5,00	713,260	702,737	1132,85	35,0716	207,184	371,012	1,0257	1,6153
10,00	827,762	816,517	1113,13	40,9174	214,545	373,595	1,0515	1,6138
15,00	955,572	943,633	1092,38	47,6053	222,101	376,035	1,0776	1,6123
20,00	1097,656	1085,065	1070,43	55,2670	229,871	378,306	1,1038	1,6106
25,00	1255,011	1241,829	1047,02	64,0660	237,883	380,381	1,1304	1,6087
30,00	1428,669	1414,977	1021,86	74,2097	246,171	382,225	1,1574	1,6065
35,00	1619,694	1605,603	994,55	85,9681	254,776	383,792	1,1848	1,6038
40,00	1829,186	1814,841	964,55	99,7042	263,757	385,022	1,2130	1,6005
45,00	2058,284	2043,878	931,09	115,9261	273,193	385,835	1,2421	1,5964
50,00	2308,162	2293,957	893,03	135,3836	283,201	386,111	1,2723	1,5910
55,00	2580,028	2566,386	848,57	159,2696	293,966	385,664	1,3043	1,5839
60,00	2875,112	2862,565	794,44	189,7064	305,816	384,164	1,3389	1,5742
65,00	3194,622	3184,040	723,52	231,2706	319,453	380,905	1,3781	1,5599
70,00	3333,899	3300,560	610,82	220,5826	386,862	388,238	1,5755	1,5799

‘ index verzadigde vloeistof “ index verzadigde damp

Tabel XIV. Thermodynamische tabel van R 407C

Temp.	Druk (kPa)		Soortelijk Volume (kg/m ³)		Enthalpie (kJ/kg)		Entropie (kJ/kg-K)	
	‘	”	‘	”	‘	”	‘	”
-75,00	17,271	10,168	1499,69	0,5345	104,283	366,919	0,5942	1,9460
-70,00	23,861	14,525	1482,69	0,7460	110,130	370,124	0,6233	1,9277
-65,00	32,390	20,334	1465,62	1,0213	116,037	373,346	0,6520	1,9112
-60,00	43,257	27,942	1448,47	1,3739	122,007	376,578	0,6803	1,8962
-55,00	56,907	37,744	1431,23	1,8186	128,044	379,817	0,7083	1,8825
-50,00	73,830	50,182	1413,90	2,3721	134,152	383,056	0,7359	1,8702
-45,00	94,560	65,751	1396,47	3,0526	140,335	386,289	0,7632	1,8589
-40,00	119,672	84,993	1378,93	3,8800	146,597	389,510	0,7903	1,8487
-35,00	149,774	108,496	1361,27	4,8762	153,235	392,714	0,8184	1,8394
-30,00	185,473	136,882	1343,49	6,0643	159,632	395,891	0,8448	1,8310
-25,00	227,550	170,862	1325,56	7,4715	165,739	399,029	0,8696	1,8233
-20,00	276,775	211,178	1307,47	9,1272	172,382	402,129	0,8959	1,8162
-15,00	333,846	258,594	1289,22	11,0624	179,132	405,177	0,9221	1,8097
-10,00	399,563	313,942	1270,78	13,3128	185,864	408,162	0,9478	1,8037
- 5,00	474,763	378,123	1252,12	15,9192	192,867	411,077	0,9739	1,7981
0,00	560,282	452,010	1233,23	18,9242	200,000	413,910	1,0000	1,7928
5,00	656,993	536,560	1214,08	22,3779	207,275	416,648	1,0261	1,7879
10,00	765,798	632,769	1194,63	26,3377	214,702	419,278	1,0522	1,7831
15,00	887,619	741,684	1174,84	30,8700	222,295	421,783	1,0784	1,7785
20,00	1023,397	864,397	1154,66	36,0524	230,069	424,148	1,1047	1,7740
25,00	1174,094	1002,056	1134,04	41,9773	238,043	426,351	1,1312	1,7695
30,00	1340,687	1155,862	1112,88	48,7554	246,239	428,369	1,1580	1,7649
35,00	1524,166	1327,078	1091,11	56,5226	254,682	430,174	1,1850	1,7602
40,00	1725,530	1517,041	1068,60	65,4478	263,406	431,730	1,2125	1,7551
45,00	1945,776	1727,168	1045,19	75,7465	272,452	432,996	1,2404	1,7497
50,00	2185,894	1958,977	1020,65	87,7005	281,874	433,916	1,2690	1,7437
55,00	2446,842	2214,108	994,68	101,6908	291,742	434,416	1,2984	1,7369
60,00	2729,515	2494,370	966,82	118,2549	302,157	434,395	1,3289	1,7291
65,00	3034,687	2801,808	936,33	138,1938	313,268	433,702	1,3609	1,7199
70,00	3362,871	3138,845	901,98	162,8001	325,311	432,100	1,3950	1,7086
75,00	3714,008	3508,613	861,30	184,4254	338,717	429,156	1,4324	1,6941

‘ index verzadigde vloeistof “ index verzadigde damp

R507**Tabel XV. Thermodynamische tabel van R 507**

Temp.	Druk (kPa)		Soortelijk Volume (kg/m ³)		Enthalpie (kJ/kg)		Entropie (kJ/kg-K)	
	'	”	'	”	'	”	'	”
-80,00	14,6	14,6	1421,52	0,9049	-46,80	166,03	-0,1546	0,9472
-75,00	20,5	20,5	1407,26	1,2415	-41,16	169,17	-0,1263	0,9350
-70,00	28,2	28,2	1392,87	1,6722	-35,46	172,34	-0,0985	0,9242
-65,00	38,1	38,1	1378,31	2,2153	-29,70	175,51	-0,0710	0,9147
-60,00	50,7	50,7	1363,55	2,8910	-23,87	178,69	-0,0439	0,9063
-55,00	66,4	66,4	1348,57	3,7202	-17,97	181,87	-0,0171	0,8989
-50,00	85,7	85,7	1333,34	4,7281	-12,01	185,04	0,0095	0,8924
-45,00	109,3	109,3	1317,82	5,9382	-5,98	188,19	0,0357	0,8866
-40,00	137,8	137,8	1301,99	7,3801	0,12	191,32	0,0616	0,8816
-35,00	171,8	171,8	1285,81	9,0909	6,29	194,41	0,0873	0,8771
-30,00	212,0	211,9	1269,24	11,0988	12,54	197,46	0,1128	0,8732
-25,00	259,1	259,0	1252,24	13,4409	18,86	200,46	0,1380	0,8698
-20,00	313,9	313,8	1234,77	16,1551	25,27	203,41	0,1631	0,8667
-15,00	377,2	377,0	1216,77	19,2678	31,76	206,28	0,1880	0,8639
-10,00	449,8	449,5	1198,20	22,8833	38,35	209,08	0,2127	0,8614
-5,00	532,6	532,2	1179,00	27,0270	45,02	211,79	0,2372	0,8591
0,00	626,4	625,9	1159,10	31,7460	51,79	214,40	0,2617	0,8570
5,00	732,1	731,5	1138,43	37,1747	58,67	216,89	0,2860	0,8549
10,00	850,7	849,9	1116,89	43,2900	65,66	219,27	0,3103	0,8528
15,00	983,1	982,2	1094,40	50,2513	72,77	221,50	0,3345	0,8507
20,00	1130,3	1129,2	1070,83	58,4795	80,02	223,57	0,3588	0,8485
25,00	1293,3	1291,9	1046,04	67,5676	87,41	225,47	0,3830	0,8461
30,00	1473,0	1471,4	1019,86	77,5194	94,96	227,16	0,4074	0,8435
35,00	1670,4	1668,6	992,09	89,2857	102,70	228,63	0,4318	0,8405
40,00	1886,7	1884,7	962,46	103,0928	110,66	229,84	0,4566	0,8372
45,00	2122,8	2120,6	930,63	119,0476	118,87	230,74	0,4816	0,8332
50,00	2379,7	2377,4	896,12	136,9863	127,38	231,27	0,5071	0,8286
55,00	2658,6	2656,2	858,26	158,7302	136,28	231,35	0,5333	0,8230
60,00	2960,4	2958,0	816,04	185,1852	145,68	230,86	0,5605	0,8162
65,00	3286,3	3284,0	767,76	217,3913	155,80	229,57	0,5893	0,8075

‘ index verzadigde vloeistof “ index verzadigde damp

