

Österreich Schulungsunterlagen



Mit uns behalten Sie den Überblick

Thema 12:

Quo vadis Kältemittel?

 **SCHIESSL**

»SIS« INFORMATIONEN-SYSTEM

Das Schiessl Informations-System »SIS« ist mehr als nur ein Shop!

- Alle Produkt-Infos auf einen Blick
- Mit Zubehör und Alternativen
- Schnellsuche und Direktauswahl
- Verfügbarkeit/Lagerstand
- Alle Infos tagesaktuell
- Bequem online bestellen



BRANDNEU:
Laden Sie sich jetzt Ihre Schiessl App fürs Smartphone!

...damit sind Sie immer bestens informiert!



JETZT EINLOGGEN UNTER

www.schiessl.at

www.schiessl.ch

www.schiessl-kaelte.de

...fordern Sie noch heute Ihre Zugangsdaten an.



Mechatroniker

Bundesinnung der Mechatroniker Kälte- und Klimatechnik

Herzlich Willkommen
zu unserer Veranstaltung unter dem Motto

Aus der Praxis für den Praktiker-
"das sollte der Kältemonteur wissen"

Thema 12:

Quo vadis Kältemittel?

Referent: Dipl. Ing. Hans-Jürgen Ullrich

Diese Schulungsunterlagen wurden zur Verfügung gestellt von

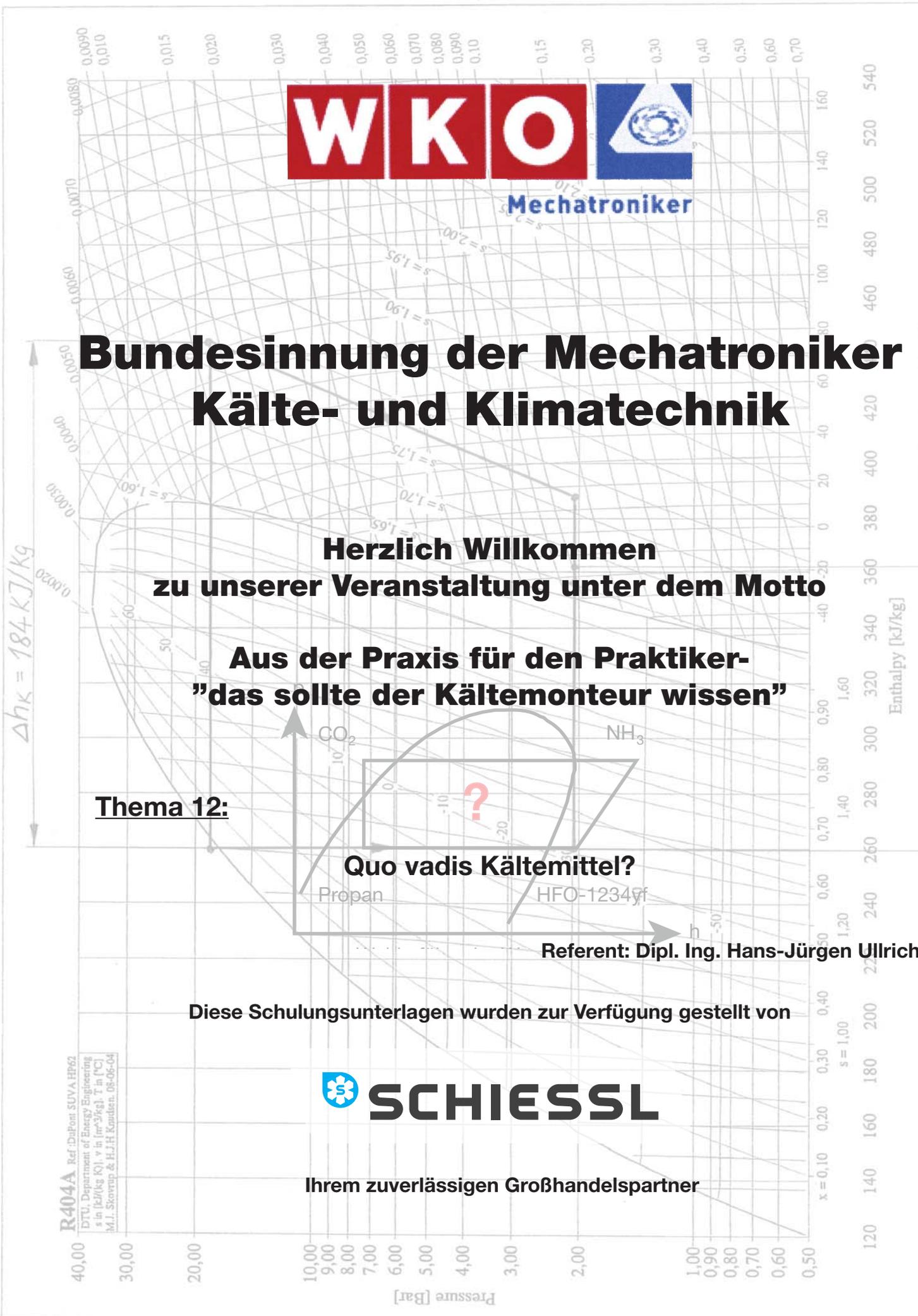


Ihrem zuverlässigen Großhandelspartner

R404A Ref.: DuPont SUVA HP62
DTU, Department of Energy Engineering
s in [kJ/(kg K)], v in [m³/kg], T in [°C]
M.J. Skovrup & H.J.H. Kousten, 08-06-04

$\Delta h_k = 184 \text{ kJ/kg}$

$\Delta h_o = 102 \text{ kJ/kg}$



Inhalt:

	Seite	
1.	Geschichtliche Entwicklung der Kältemittel	1
2.	Ozonabbau und Treibhauseffekt	2
3.	Klimaschutzziele in der EU bis 2020	4
4.	Verordnungen und Gesetze zur Reduzierung des Ozonabbaues und der Treibhauseffektes	5
4.1.	Verordnung der EG Nr. 10005/2009 vom 31.10.2009 zum Schutz der Ozonschicht	7
4.2.	Vereinbarungen und Vorschriften zur Reduzierung des Treibhauseffektes	8
5.	Mittel- und langfristig einsetzbare Kältemittel	10
5.1	Übersicht	10
5.2	HFKW-Kältemittel und -Gemische	10
5.3	Halogenfreie Kältemittel	18
5.3.1	R717 (Ammoniak) und R723	20
5.3.2	Kohlenwasserstoffe als Kältemittel	24
5.3.3	Das Kältemittel R744 (CO ₂)	27
5.3.4	„LOW GWP“-Kältemittel	36
6.	Umstellung von Kälteanlagen, die R22 oder dessen Gemische enthalten	40
6.1	Gesetzliche Grundlagen	40
6.2.	Übersicht über Kältemittelgemische, die R22 enthalten	41
6.3.	Ersatzstoffe für R22 und dessen Gemische	41
6.4.	Umstellungsverfahren	44
6.4.1	Allgemeine Hinweise	44
6.4.2	Umstellungstechnologie	44
Anlage:	Dampftabellen und h,logp-Diagramme der Kältemittel NH ₃ , Propan, CO ₂ , R32, R723 und HFO-1234yf	

1. Geschichtliche Entwicklung der Kältemittel

Die ersten Kältemittel waren Methyläther, Ammoniak (NH_3), Schwefeldioxid (SO_2), Kohlendioxid (CO_2) und Chlormethyl (CH_3Cl). Bis auf CO_2 sind diese Stoffe brennbar oder giftig, was einem breiten Einsatz entgegenstand. Die Entwicklung der modernen Kältemittel begann in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts in den USA. Auf Basis der Kohlenwasserstoffe Methan (CH_4), Ethan (C_2H_6) und Propan (C_3H_8) entstanden die FCKW- und HFCKW-Kältemittel. Dabei wurden die Wasserstoffatome ganz oder teilweise (HFCKW) durch die Halogene Chlor, Fluor seltener durch Brom oder Jod ersetzt (siehe Bild 1).

Die Entwicklung startete mit dem R12 im Jahre 1932, das R 22 folgte in den 40er Jahren und ab den 50er Jahren wurde auch das R 502 eingesetzt. Die Vorteile dieser sogenannten "Sicherheitskältemittel" (nicht giftig und nicht brennbar) führten neben guten thermodynamischen Eigenschaften zu einer Revolution in der Kälte- und Klimatechnik. Sie legten die Grundlage für die moderne Lebensmittelwirtschaft (weite Verbreitung von Kühlgeräten) und die Komfortklimatisierung. Die Entdeckung des Ozonabbaupotenzials (ODP) der Halogene Chlor und Brom führte schließlich zur Entwicklung der FKW- und HFKW- Kältemittel, die nur noch Fluor enthalten und damit ein $\text{ODP}=0$ haben (siehe Bild 2).

Der verbleibende mehr oder weniger große Treibhauseffekt (GWP) dieser Kältemittel lässt die Politiker bereits über deren Ablösung diskutieren. Die Orientierung geht zu halogenfreien Kältemitteln (sog. natürliche Stoffe) wie Ammoniak, Kohlenwasserstoffe, CO_2 bzw. zu neuen Kältemitteln mit geringem GWP (Low GWP Stoffe).

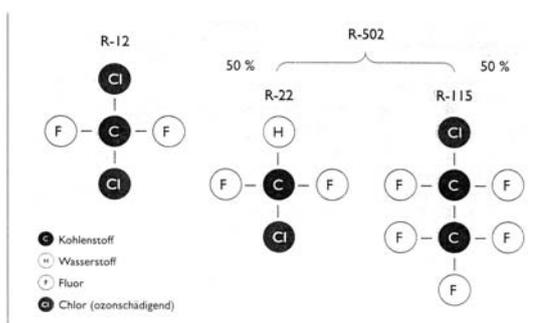


Bild 1: Strukturformeln von FCKW- und HFCKW- Kältemitteln

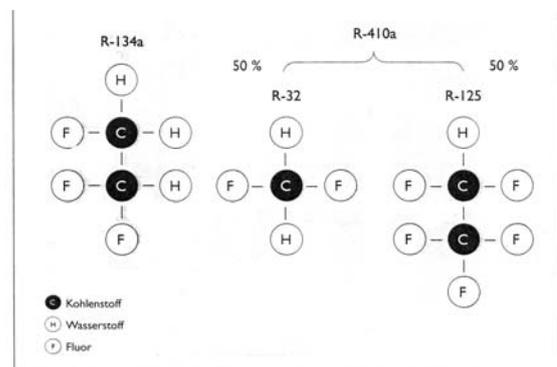


Bild 2: Strukturformeln von HFCKW- Kältemitteln

Eine Übersicht der Entwicklung vermittelt Tabelle 1.

Etappe	Zeitraum	Kältemittel
1	1850 - 1930	NH ₃ , SO ₂ , CO ₂ , CH ₃ Cl
2	1930 - 1990	FCKW und HFCKW, z.B. R12, R11, R22, R502, R13, R13B1, R21, R114 u.a.
3	ab 1990	FKW und HFKW, mit ODP = 0, z.B. R134a, R507, R404A, R407C, R410A u.a.
		Drop-In Gemische, z.B. R413A, R401A, R402A, R409A u.a.
4	ab 1995	verstärkter Einsatz von natürlichen Stoffen mit ODP = 0 und GWP ≤ 3 wie NH ₃ , R290, R600a, CO ₂ , H ₂ O, Luft
5	ab 2007	Stoffe mit ODP = 0 „Low GWP“ werden entwickelt und erprobt z.B. HFO-1234yf, Opteon XP10, DR-7, DR-33

Tabelle 1: Geschichtliche Entwicklung der Kältemittel

2. Ozonabbau und Treibhauseffekt

In den 70er Jahren wurde von den amerikanischen Forschern Roland und Molina das "Ozonloch" über der Antarktis entdeckt. Messungen in den Folgejahren ergaben, dass der Ozonabbau in der Stratosphäre sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordhalbkugel dramatisch zugenommen hat. Ozonzerstörend wirken die Halogene Chlor, Brom und Jod, von denen vor allem Chlor ein Bestandteil der FCKW-Kältemittel ist.

Die Ozonschicht der Erde schützt das Leben vor intensiver UV(B)-Strahlung der Sonne. Verstärkte Strahlung führt kurzfristig bei Menschen zu Hautverbrennungen (Augenkrankheiten, Sonnenbrand) und langfristig zu Hautkrebs.

Ein weiteres großes Problem für die Umwelt ergibt sich aus dem Treibhauseffekt, der zu einer immer größeren globalen Erwärmung und zu noch nicht absehbaren katastrophalen Folgen durch den Klimawandel führen kann. Hochrechnungen der Klimaforscher gehen von einer durchschnittlichen globalen Erwärmung bis zum Jahre 2050 von bis zu 6 K aus. Der Treibhauseffekt wird durch bestimmte Gase in der Atmosphäre hervorgerufen wie CO₂, Methan aber auch die FCKW- und FKW-Kältemittel.

Diese Gase wirken wie ein Spiegel in der Atmosphäre, der einen Teil der notwendigen Wärmeabstrahlung zurück auf die Erde reflektiert. Damit wird das Gleichgewicht zwischen von der Sonne zur Erde abgegebener Strahlungswärme und notwendiger Abstrahlung von der Erde gestört, und die Erde erwärmt sich übermäßig. Tabelle 2 gibt einen Überblick über Ozonabbau- und Treibhauspotenziale von Kältemitteln.

	Kältemittel	Ersatz für	ODP ¹⁾	GWP ²⁾
HFCKW und -Gemische	R22		0,05	1500
	R401A	R12	0,03	970
	R402A	R502	0,02	225
	R409A	R12	0,05	1290
HFKW und -Gemische (Chlorfrei)	R134a	R12	0	1300
	R413A	R12		1770
	R404A	R502, R22		3260
	R407C	R22		1525
	R410A	R22, R13B1		1725
	R507	R502, R22		3300
	R23	R13		11700
	R508	R503		11850
halogenfreie Stoffe	R717 (NH ₃)	R22	0	0
	R290 (Propan)	R22		3
	R600a (Isobutan)	R12		3
	R744 (CO ₂)	diverse		1

¹⁾ Ozonabbaupotenzial relativ zu R11 = 1,0

²⁾ Treibhauspotenzial relativ zu CO₂ = 1 (Zeithorizont 100 Jahre)

Tabelle 2: Ozon- und Treibhauspotenzial bekannter Kältemittel

Beim Treibhauseffekt muss in den direkten durch Kältemittlemissionen und den in indirekten (ca. 80 %) durch den Energieverbrauch der Kälteanlagen (CO₂-Produktion bei Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Elektro-Energieproduktion) unterschieden werden.

3. Klimaschutzziele in der EU bis 2020

- Europäische Union:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen in der EU um mindestens 20 % gegenüber dem Wert von 1990
- Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energie auf 20 % des Gesamtenergieverbrauches
- Reduktion des Energieverbrauchs um 20 % durch verbesserte Energieeffizienz

- Deutschland:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990

- Österreich:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber 1990

- Stationäre Kälte- und Klimaanlage -

HFKW-Kältemittelverkauf in Mill. t CO₂-Equivalent

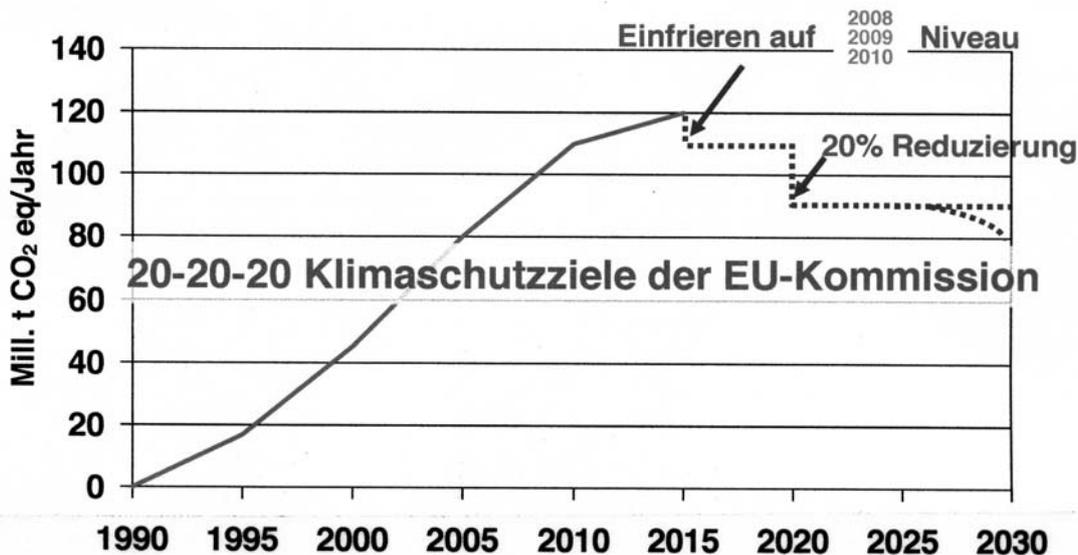


Bild 3: HFKW-Kältemittelverkauf in Mill. t CO₂-Equivalent

- Beiträge der Kältefachbetriebe zur Reduzierung des Treibhauseffektes:

- Vermeidung von Leckagen und damit Kältemittlemissionen,
- Bau und Betrieb von energieeffizienten Kälte- und Klimaanlage,
- fachgerechte Entsorgung von FCKW- und HFCKW-Kältemitteln zur Beseitigung der FCKW-Altlasten
- Einsatz von Kältemitteln mit geringem Treibhauspotential.

4. Verordnungen und Gesetze zur Reduzierung des Ozonabbaues und des Treibhauseffektes

In Brüssel wird über den Ausstieg aus den F-Gasen, zumindestens in bestimmten Bereichen diskutiert. Die neue Fassung der F-Gase-Verordnung wird 2015 vorliegen. Darüberhinaus erlassen die einzelnen Staaten eigene Gesetze zur Einschränkung des F-Gase-Einsatzes (Bild 4).

GESETZGEBUNG IN EUROPA

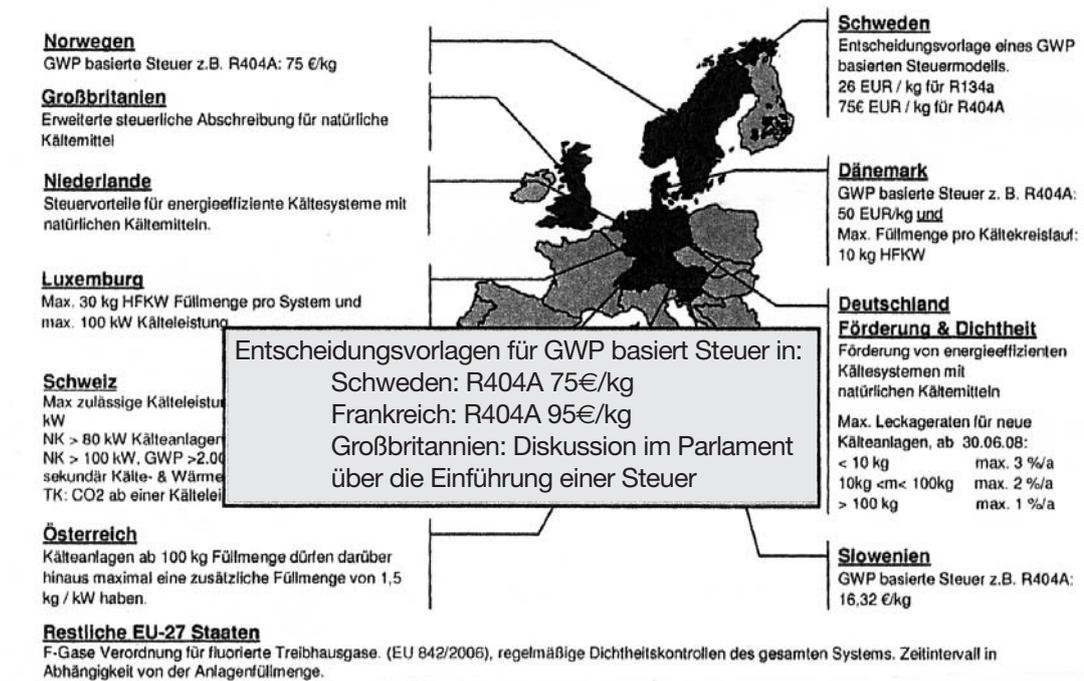


Bild 4: Einschränkung des F-Gase-Einsatzes in Europa
Die Verordnungen der EU sind in Bild 5 dargestellt.

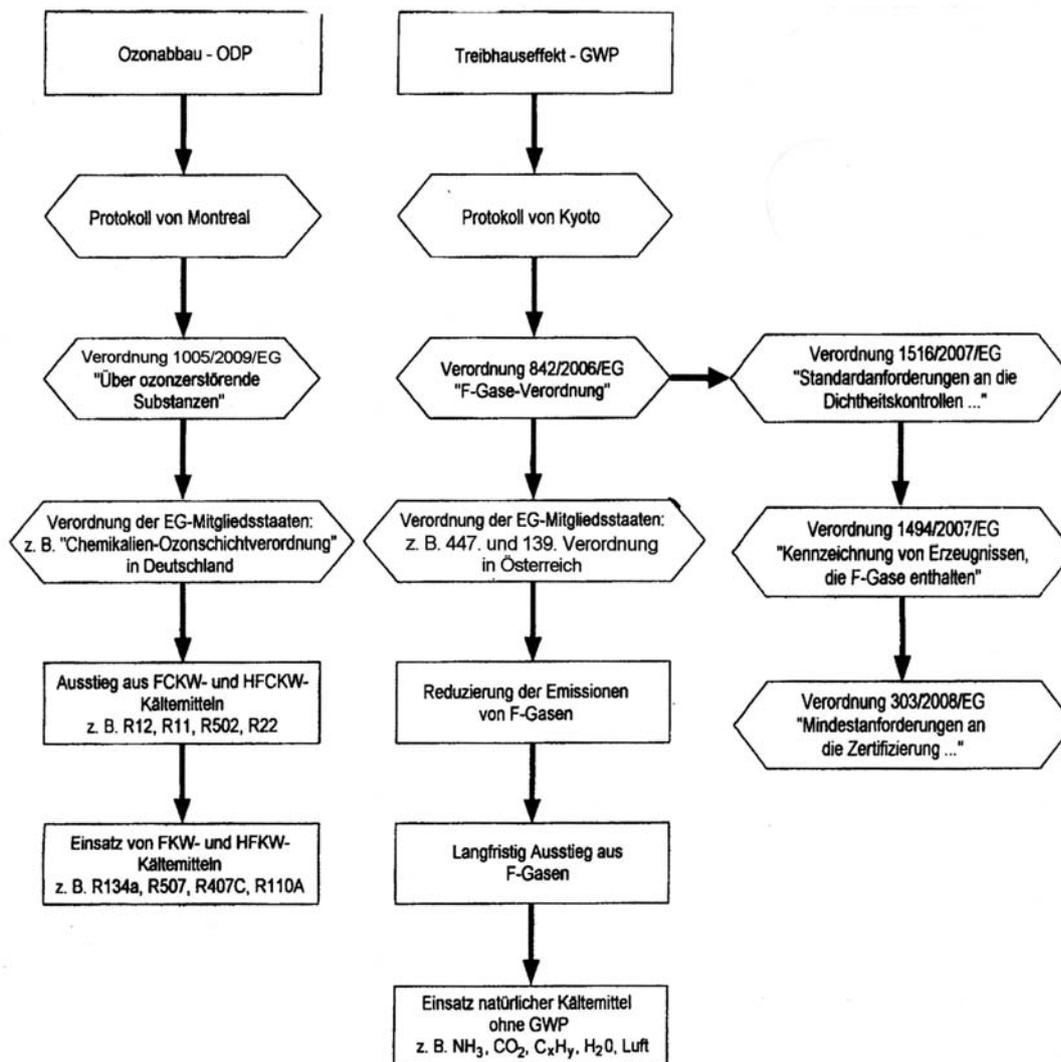


Bild 5: EU-Verordnungen zum Kältemiteleinsatz

4.1 Verordnung der EG Nr. 10005/2009 vom 31.10.2009 zum Schutz der Ozonschicht

Diese Verordnung löst die bisherige Verordnung 2037/2000/EG ab. Es folgt eine Angleichung an die „F-Gase-Verordnung“.

- **Ausstiegsfristen für FCKW und H-FCKW:**

Seit 01.01.2010 - Verwendung von HFCKW, z.B. R22 als Frischware in Kälte- und Klimaanlage verboten bis 31.12.2014 HFCKW als Recycling-Ware erlaubt.

Neu ist, dass nur die Unternehmen recyceltes HFCKW verwenden dürfen, die es selbst zurückgewonnen haben.

- **Kennzeichnungspflicht:**

Für Anlagen mit mehr als 3 kg recyceltes HFCKW analog „F-Gase-Verordnung“.

- **Dichtheitsprüfungen:**

Gleiche Fristen wie unter Pkt. 4.2. Auch bei Einsatz eines automatischen Leckage-Erkennungssystems bleibt bei Füllmengen ab 300 kg die vierteljährliche Prüfpflicht im Gegensatz zu F-Gasen.

- **Aufzeichnungspflicht/Anlagenbuch:**

Ab 3 kg HFCKW wie in „F-Gase-Verordnung“.

4.2 Vereinbarungen und Vorschriften zur Reduzierung des Treibhauseffektes

- Verordnung Nr. 842/2006/EG vom 17.5.2006 „F-Gase-Verordnung“

Kein Verbot der HFKW, sondern der verantwortungsbewusste Einsatz verbunden mit Energieeffizienz und Anlagendichtheit! Mit dieser Verordnung werden vom Europäischen Parlament und dem Rat der EU folgende konkrete Maßnahmen zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls festgelegt:

1. Reduzierung der Emissionen der Treibhausgase

- Die Betreiber von Kälteanlagen sind verpflichtet, das Entweichen der Gase zu verhindern bzw. zu minimieren und Lecks so schnell wie möglich zu beseitigen.
- Kontrolle der Anlagen auf Dichtheit:
 - ab 3 kg Füllmenge 1x/Jahr
 - ab 30 kg Füllmenge 2x/Jahr
 - ab 300 kg Füllmenge 4x/Jahr
- Installation von Leckage-Erkennungssystemen ab 300 kg Füllmenge.
- Aufzeichnungspflicht ab 3 kg Füllmenge über Füllen und Entnahme von F-Gasen.

2. Rückgewinnung von fluorierten Treibhausgasen

- Betreiber sind dafür verantwortlich, dass F-Gase durch zertifiziertes Personal ordnungsgemäß zurückgewonnen werden (Recycling, Entsorgung).

Für "Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen" gilt eine gesonderte Richtlinie 2006/40/EG vom 17.5.2006. Danach dürfen ab dem 1.1.2011 in PKW-Klimaanlagen neuer PKW-Modelle nur noch Kältemittel mit einem GWP < 150 eingefüllt werden.

- Chemikalien-Klimaschutzverordnung vom 07.07.2008 in Deutschland

Zusätzlich zur „F-Gase-Verordnung“ der EU legt die deutsche Verordnung die Leckagen für Kälte- und Klimaanlage sowie Wärmepumpen fest:

	Füllmenge < 10 kg	Füllmenge 10 bis 100 kg	Füllmenge > 100 kg
Nach dem 30. Juni 2008 in Betrieb genommen	3 %/Jahr	2 %/Jahr	31 %/Jahr
Vom 30. Juni 2005 bis 30. Juni 2008 in Betrieb genommen	6 %/Jahr	4 %/Jahr	2 %/Jahr
Vor dem 30. Juni 2005 in Betrieb genommen	8 %/Jahr	6 %/Jahr	4 %/Jahr

- **447. Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (geändert durch die 139. Verordnung vom 21. Juni 2007)**

Die Verwendung von HFKW ist für folgende Einsatzbereiche bis auf weiteres erlaubt:

1. In Geräten

- für Hochleistungsrechner und -server - unbegrenzt
- Klima- und Gefriergeräte - 150 bis 20 kg

2. In ortsfesten Anlagen

- Einzelanlagen - bis 20 kg
- Kompaktanlagen auf einem Maschinenrahmen, z.B. Kaltwassersatz - 0,5 kg/kW
- Verbundkälteanlagen - bis 100 kg
- darüber 1,5 kg/kW

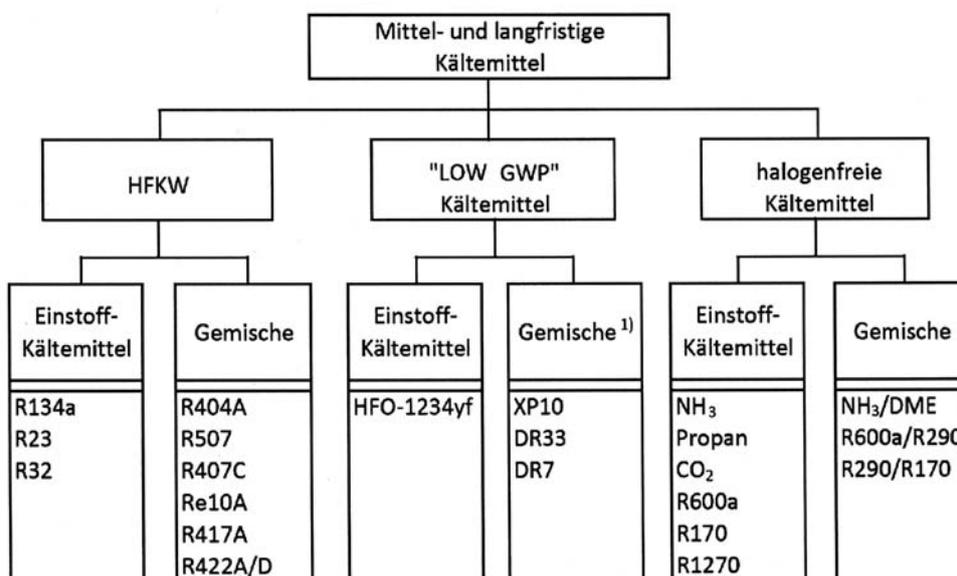
Dabei gelten für die Kälteleistung folgende Nennbedingungen:

$$t_o = 0 \text{ °C}, t_k = +40 \text{ °C}, t_u = 0 \text{ K}, t_{oH} = +20 \text{ °C (EN12900)}$$

5. Mittel- und langfristig einsetzbare Kältemittel

5.1 Übersicht

Da seit 01.01.2010 gemäß Verordnung 1005/2009/EG die Produktion und die Verwendung von R22 als Frischware verboten ist, betrifft das gleichzeitig alle R22-haltigen Gemische (sogenannte Drop In) wie R401A, R402A, R409A u. a. Eingesetzt werden können HFKW-Kältemittel (chlorfrei) und deren Gemische sowie natürliche Stoffe (halogenfrei) wie NH₃, Propan, CO₂ und Gemische aus diesen. Zur Reduzierung des Treibhauseffektes werden in den nächsten Jahren „Low GWP“ - Kältemittelgemische zum Einsatz kommen. Bild 6 zeigt einen Überblick der Möglichkeiten.



¹⁾ in Erprobung

Bild 6: Mittel- und langfristige einsetzbare Kältemittel

5.2 HFKW-Kältemittel und -Gemische

FKW- und HFKW-Kältemittel sind die chlorfreien Alternativen zu den FCKW und HFCKW-Kältemitteln. Sie enthalten nur Fluoratome und haben deshalb ein ODP von Null. Als Reinstoffe kommen im wesentlichen R134a und R23 zum Einsatz. Alle anderen Stoffe sind Gemische, um keine brennbaren Kältemittel wie R 32 oder R152a einsetzen zu müssen. Es wird unterschieden in zeotrope und azeotrope Gemische. Azeotrope Gemische (2 Komponenten) wie R507 und R508A/B verhalten sich thermodynamisch ähnlich den Reinstoffen. Zeotrope Gemische (meistens 3 Komponenten) wie R407C, R404A, R417A u.a. haben bei der Aggregatzustandsänderung (Verdampfer, Verflüssiger) einen Temperaturgleit, d.h. im Nassdampfgebiet lässt sich einem Druck keine eindeutige Temperatur zuordnen.

Nachteile der zeotropen Gemische mit Temperaturgleit sind:

- Die Kälteanlagen dürfen nur mit Kältemitteln aus der flüssigen Phase gefüllt werden, damit das eingestellte Mischungsverhältnis stimmt.
- Der Rest in einem LGB oder einer Kältemittelflasche (Gasanteil) allein darf nicht mehr abgefüllt werden, da die Gemischzusammensetzung nicht mehr stimmt.
- Bei größeren vor allem wiederholten Leckagen in einer Kälteanlage verschiebt sich die Gemischzusammensetzung derart, dass der Verdampfungsdruck absinkt. Die Folge davon ist eine zu geringe Überhitzung am thermostatischen Expansionsventil und damit flüssiges Kältemittel im Verdichter (Schmierungsmangel, Flüssigkeitsschläge), siehe Bild 7.

Bild 7 zeigt die Änderung des Saugdruckes bei Leckagen für zwei Gemische.

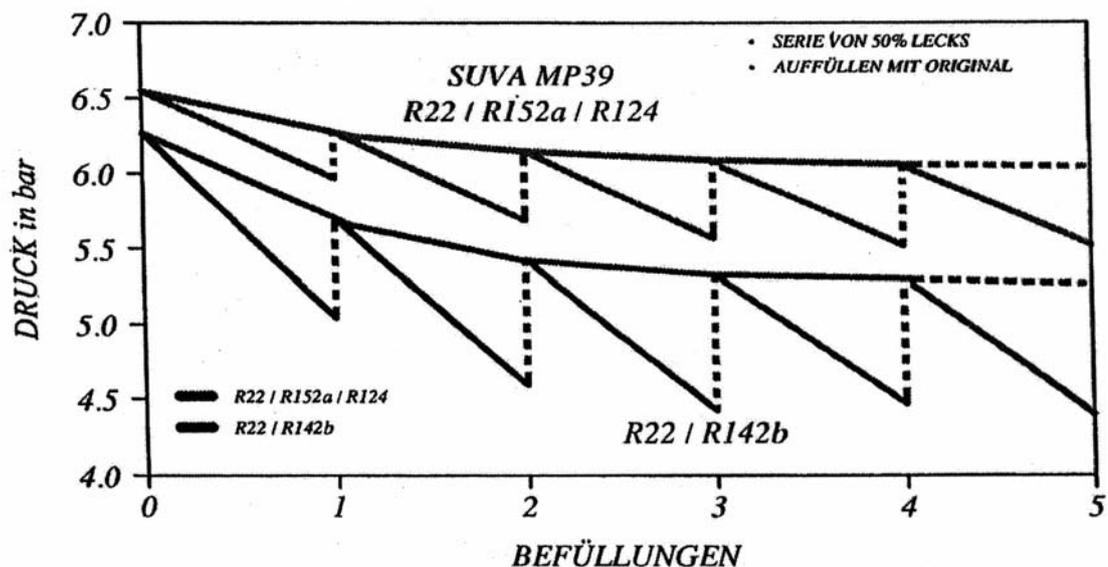


Bild 7: Verhalten von zeotropen Gemischen bei Leckagen

Bild 8 zeigt am Beispiel von R407C die unterschiedliche Zusammensetzung in der Flüssig- und Dampfphase sowie die Änderung der Zusammensetzung bei Leckagen.

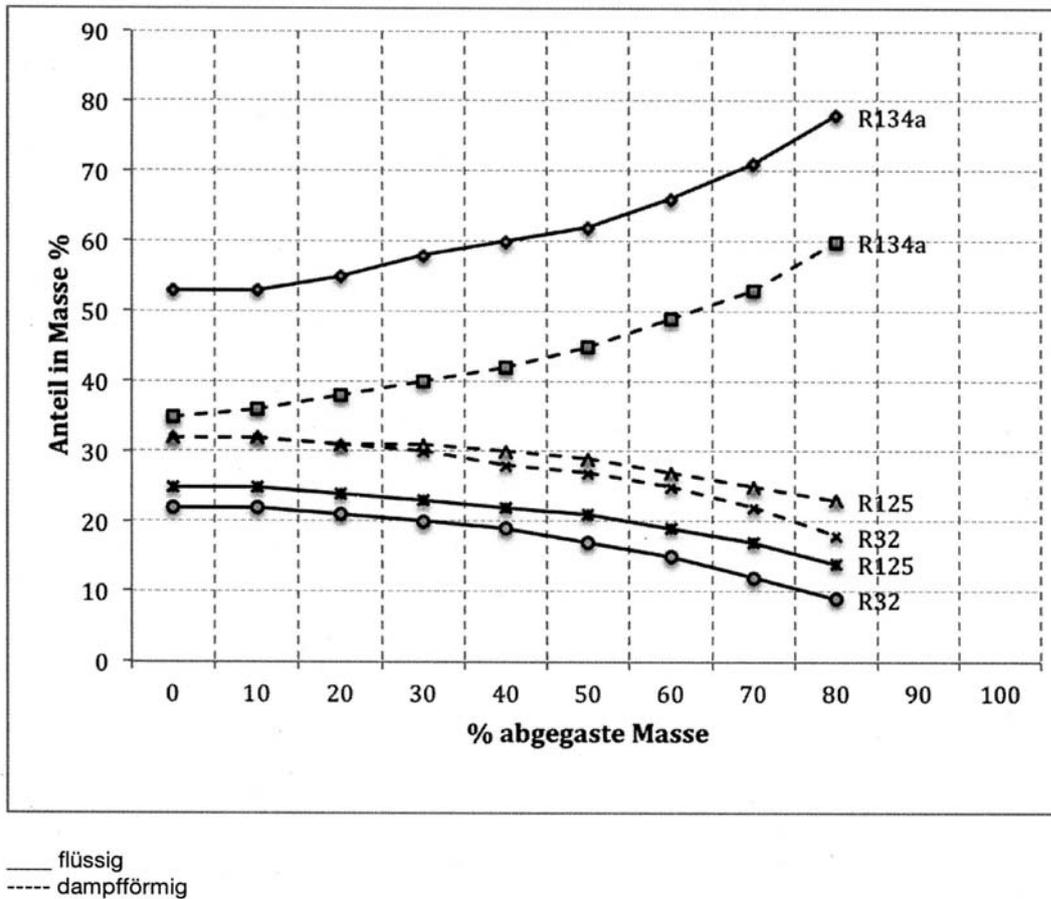


Bild 8: Leckageversuche R407C
 Zusammensetzung Flüssigphase und Dampfphase

In Tabelle 3 sind wichtige auf dem Markt angebotene HFKW-Kältemittel und -Gemische aufgeführt. Generell kommen dabei in Kälteanlagen Esteröle (POE) zum Einsatz.

Anwendungsbereich	ASHRAE-Bezeichnung	Handels-Bezeichnung	Zusammensetzung	Öl ¹⁾	Temperaturgleit
Haushalt – Turboverdichter	R134a			POE	-
Gewerbe	R507	AZ50	R143a/R125 (50/50 %)		azeotrop
	R404A	HP62 FX70	R143a/R125/R134a (52/44/4 %)		nahe azeotrop 0,5 K
	R407A	Blend 60	R32/R125/R134a (20/40/40 %)		6,6 K
	R407B	Blend 61	R32/R125/R134a (10/70/20 %)		4,4 K
Klima	R410A	AZ20	R32/R125 (50/50 %)		azeotrop
	R407C	AC9000, Klea 66	R32/R125/R134a (30/10/60 %)		7,2 K
Tiefkühlung Kaskaden	R23				-
	R508A	Klea 508A	R23/R116 (39/61 %)		azeotrop
	R508B	Suva 95	R23/R116 (46/54 %)		azeotrop

¹⁾ POE = Polyolesteröl

Tabelle 3: Anwendungsbereiche von HFKW-Kältemitteln

Für die Umstellung vorhandener Kälteanlagen wurde eine Reihe von chlorfreien HFKW-Kältemittelgemischen entwickelt, die prinzipiell auch in Neuanlagen zum Einsatz kommen könnten. Schwerpunkt sind dabei die Isceon-Kältemittel von DuPont. Durch die Beimischung eines geringen Anteils an Kohlenwasserstoffen wurde erreicht, dass bei der Umstellung der Anlagen in der Regel kein Ölwechsel erforderlich wird (siehe Tabelle 4).

Bisherige Kältemittel	ASHRAE Bezeichnung	Handels-Bezeichnung	Zusammensetzung	Öl ¹⁾	Temperaturgleit	GWP
R12	R437A	Isceon MO49Plus	R125/134a/600/601	POE MO AB		1680
R502/R22 TK-Bereich	R422A R417B	Isceon Mo79 Solkane 22L	R125/134a/600a R125/134a/600		2,5 K 3,5 K	2530 2920
R22 TK- und NK-Bereich	R407F R427A	Perforax LT Forane 427A	R32/125/134a R32/125/143a/134a	POE POE	6,4 K 7,1 K	1500 2010
R22 alle Bereiche	R422D R438A	Isceon Mo 29 Isceon Mo 99	R125/134a/600a R32/125/134a/600/601a	POE MO AB	4,5 K 6,6 K	2230 2150
R22 Klima Bereich	R417A	Isceon Mo 59 Solkane 22 M	R125/134a/600 R125/134a/600		5,6 K 5 K	1950 2230
R13B1	R410A	Isceon Mo 89	R32/125 R125/218/290	POE POE, MO,AB	0,1 K 0,27K	1900

¹⁾ POE = Polyolesteröl, MO = Mineralöl, AB = Akybenzolöl (synthetisch)

Tabelle 4: Chlorfreie HFKW-Kältemittelgemische für die Umstellung von Kälteanlagen

In Bild 9 ist die Kälteleistung von R22 mit verschiedenen HFKW-Kältemitteln in Abhängigkeit von t_o und t_c verglichen. Während die meisten Kältemittel eine negative Abweichung haben, hat R410A eine höhere Kälteleistung von 40 % und mehr. Der große Nachteil von R410A ist aber die bis 50 % höhere Drucklage Bild 10. Energetisch gesehen (COP) sind aber alle Kältemittel schlechter als R22.

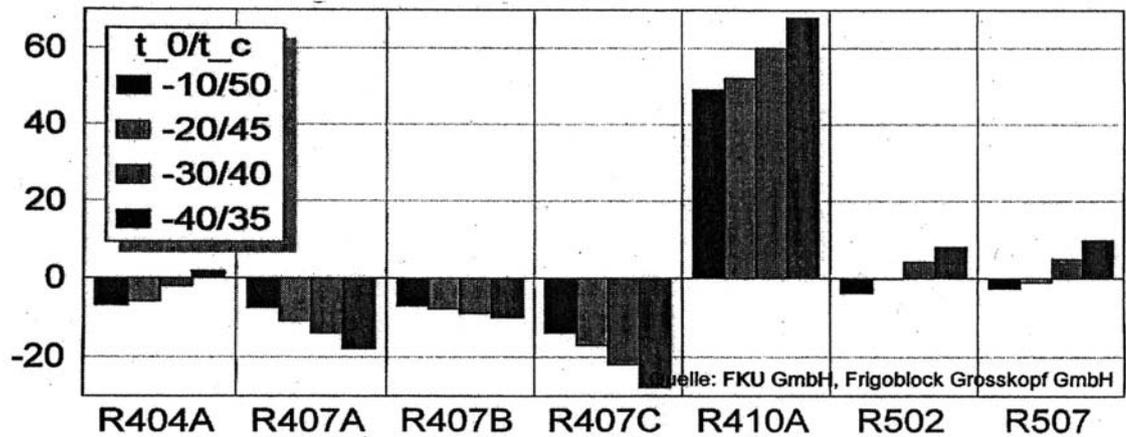


Bild 9: Relative Kälteleistung in % zu R22 (R22 = 0)

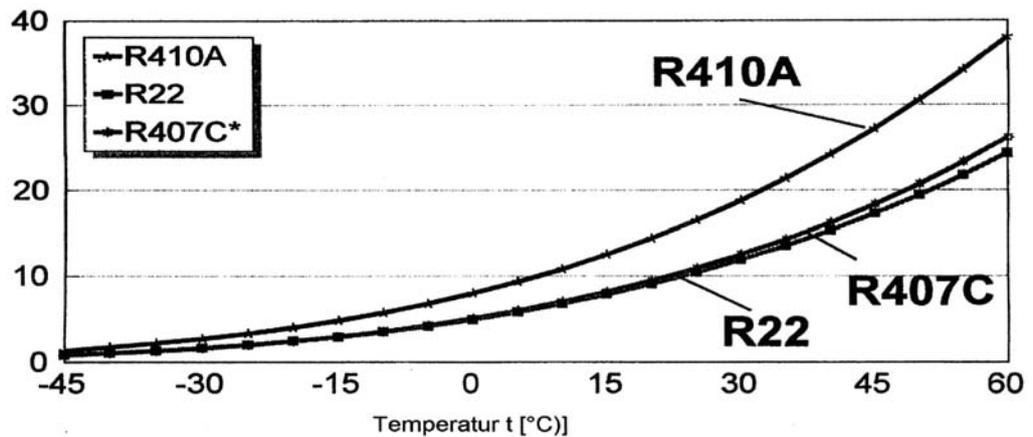


Bild 10: Dampfdruck verschiedener Klima-Kältemittel nach Solvay

- Einsatz von R32 statt R410A

Zur weiteren Reduzierung des Treibhauseffektes wird z. Z. der Einsatz von R32 statt R410A in Klimageräten, Wärmepumpen und Kaltwassersätzen untersucht und erprobt, vor allem von den Firmen Daikin und Copeland / Emerson. R410A besteht zu 50 % aus R32 und 50 % R125.

Vorteile von R32 gegenüber R410A:

- GWP = 550 gegenüber R410A mit GWP = 1900
- volumetrische Kälteleistung 11 % höher
- COP von Wärmepumpen höher als bei R22 und R410A
- wesentlich geringere Füllmengen

Nachteile:

- geringe Brennbarkeit (Klasse A2 nach EN 378)
Zündgrenzen - UG = 0,27 kg/m³; OG = 0,71 kg/m³
- Verdichtungsendtemperatur ca. 18 K höher
- schlechte Mischbarkeit mit normalen POE

Tabelle 5 zeigt Testergebnisse von Copeland mit Scroll-Verdichtern bei Klimabedingungen (ARI +7,2 / 54,4 °C).

Model	Refrigerant	Capacity	Power	COP	DLT
-	-	KW	KW	-	°C
12HP Commercial	R410A	35,1	10,8	3,3	93
	R32	36,8	11,5	3,2	115
	Delta	+5 %	+6 %	-2 %	+22 K
3HP Residential	R410A	6,5	2,2	3,03	94
	R32	6,9	2,3	2,99	119
	Delta	+6 %	+7 %	-1 %	+24 K

- Kälteleistung bis 6 % höher statt 11 % vorausberechnet
- COP 2 % niedriger statt +2 % berechnet
- Verdichtungsendtemperatur bis 24 K höher statt 18 K berechnet

Tabelle 5: Testergebnisse mit R32 bei ARI-Bedingungen

Durch den Einsatz von Scroll-Verdichtern mit Dampfeinspritzung können wesentliche Effizienzsteigerungen erreicht werden (Tabelle 6).

ET/CT	EVI	Capacity	Power	COP	DLT
-		KW	KW	-	°C
Cooling 7.2/54.4 °C	On	39,1	11,8	3,3	102
	Off	33,9	11,0	3,1	118
	Δ	15 %	7 %	8 %	-16 K
Heating -12.2/32.2 °C	On	45,6	7,0	3,6	92
	Off	21,3	6,4	3,3	103
	Δ	20 %	9 %	10 %	-11 K

- COP-Steigerung um 10 % bei WP und 8 % bei Klimatisierung
- Reduzierung der Verdichtungsendtemperatur um 16 bzw. 11 K
- Erweiterung des Einsatzbereiches und Leistungssteigerung

Tabelle 6: Effizienzsteigerung durch Dampfeinspritzung bei R32

5.3 Halogenfreie Kältemittel

Langfristig orientiert die Politik auf den Einsatz halogenfreier Kältemittel ohne direktes Treibhauspotenzial. Das sind sogenannte natürliche Stoffe wie NH₃, Kohlenwasserstoffe, CO₂, Wasser und Luft. Voraussetzungen für einen breiten Einsatz sind die technische Beherrschung der Sicherheitsrisiken bei stark brennbaren bzw. giftigen Stoffen sowie keine Erhöhung des Energieverbrauches gegenüber F-Gasen. Der Energieverbrauch einer Kälteanlage = indirekter Treibhauseffekt, macht etwa 80 % des gesamten Treibhauseffektes aus.

Unproblematisch ist der Einsatz von giftigen und brennbaren Kältemitteln bei indirekter Kühlung mit Kaltwasser oder Sole. Nachteile sind dabei:

- 10 - 15 % höherer Energieverbrauch durch 3 - 4 K tiefere Verdampfungstemperatur (2. Wärmeübergang) und Antriebsleistung für Pumpen.
- 15 - 20 % höhere Investitionskosten gegenüber Direktverdampfung

Das sind die Erfahrungen der Fa. Carrier / Linde über einen längeren Zeitraum im Supermarktbereich.

In Tabelle 7 sind bekannte Anwendungsbereiche natürlicher Kältemittel angegeben.

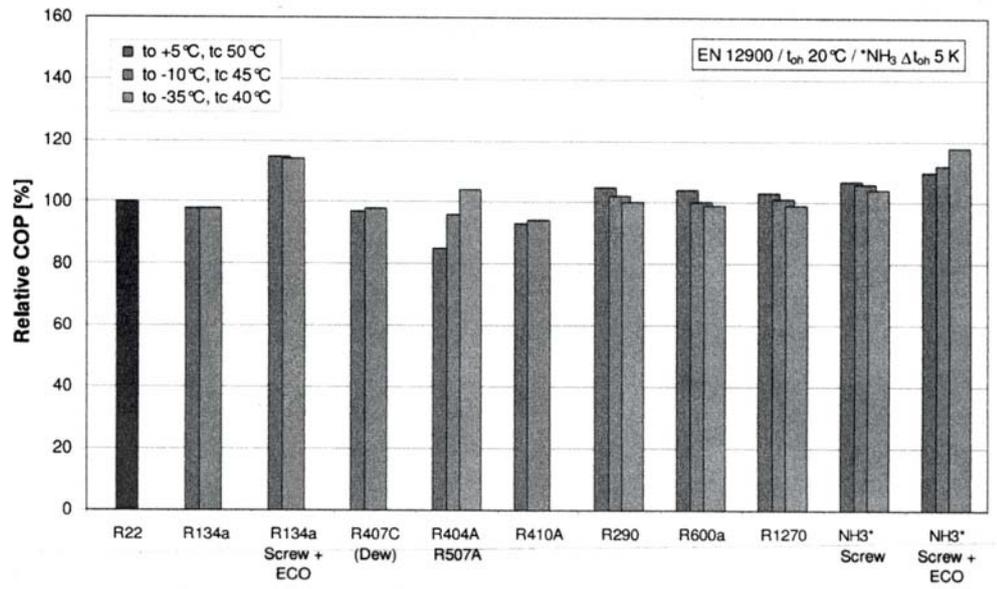
Anwendungsbereich	Kältemittel
Haushaltkühlgeräte	R600a (Isobutan)
Gewerbekälte: - steckerfertige TK-Truhen - Supermarktkühlung	R290 (Propan), CO ₂ CO ₂ -Kaskaden, Booster-Systeme
Wärmepumpen: - kompakt - Heißwasser-WP, Erdsonden	R290 CO ₂
Klimatechnik: - Splitgeräte - Kaltwassersätze - Absorptions- und Absorptionsanlagen - Kaltgaskälteanlagen (ICE3, Flugzeuge)	R290 R290, NH ₃ R718 (Wasser) Luft
Industriekälte: - allgemein - Dampfstrahlkälteanlagen	NH ₃ R718
Medizin/Pharmazie	R1270/R170-Kaskaden (Propen/Ethan)

Tabelle 7: Anwendungsbereiche halogenfreier Kältemittel

In den Diagrammen (Bild 11 und 12) sind Vergleichsmessungen an Bitzer-Verdichtern mit Kohlenwasserstoffen und NH₃ zu R22 bzw. HFKW-Kältemitteln aufgetragen.

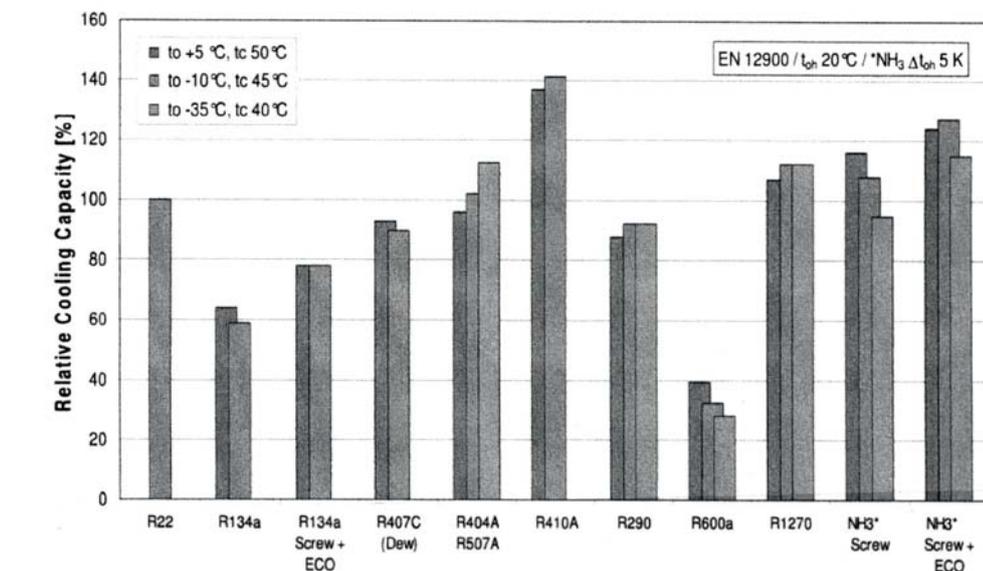
Relative Verdichter-Leistungszahl - H-FKW, KW & NH₃ vs. R22

Verdichter-Typen: H-FKW & KW vs. R22 ⇨ halbherm. Kolbenverdichter (Schraubenverdichter)
NH₃ vs. R22 ⇨ Offene Schraubenverdichter



Relative Verdichter-Kälteleistung - H-FKW, KW & NH₃ vs. R22

Verdichter-Typen: H-FKW & KW vs. R22 ⇨ halbherm. Kolbenverdichter (Schraubenverdichter)
NH₃ vs. R22 ⇨ Offene Schraubenverdichter



5.3.1 R717 (Ammoniak) und R723

Ammoniak (NH₃) hat bezüglich Umweltverträglichkeit und Sicherheit folgende Eigenschaften:

ODP und GWP	0
Klassifikation nach EN 378	Klasse B2 (stark giftig, schwer entflamm-bar)
untere Explosionsgrenze (LFL)	0,104 kg/m ³
praktischer Grenzwert, ATEL-Wert	35 mg/m ³ (50 ppm)
Wahrnehmung	ab 3,5 mg/m ³ (5 ppm)
tödlich	> 3.500 mg/m ³ (5.000 ppm)

NH₃ wird seit über 100 Jahren vor allem in Industrie-, Großkälte- und Eissportanlagen eingesetzt.

- Anwendungsgebiete von NH₃

- Industrieanlagen in der Chemie und Petrochemie
- Großkälteanlagen in Schlachthöfen, Brauereien, Molkereien
- Eissportanlagen
- KWS großer Leistungen zur Klimatisierung von Flughäfen, Bürogebäuden, Produktionshallen
- NK-Stufen von Kaskaden für Frosteranlagen für Lebensmittel
- Kleine Absorptionskühlgeräte mit dem Stoffpaar NH₃/H₂O

Die klassische NH₃-Kälteanlage arbeitet mit Abscheidebehälter, Hoch- oder Niederdruckschwimmer, Pumpenumlauf und überflutetem Verdampfer (Bild 13). Im mittleren Leistungsbereich, z. B. in Brauereien werden aber auch Direktverdampfer-Systeme analog F-Gasen gebaut.

Wegen möglicher Gefahren für Mensch und Kühlgut werden in erster Linie Kältesysteme mit indirekter Kühlung (Sole, Kaltwasser) eingesetzt. Das bedingt höhere Investitionskosten (ca. 15 – 20 %) und durch den zweifachen Wärmeübergang mit einem größeren Δt einen höheren Energieverbrauch.

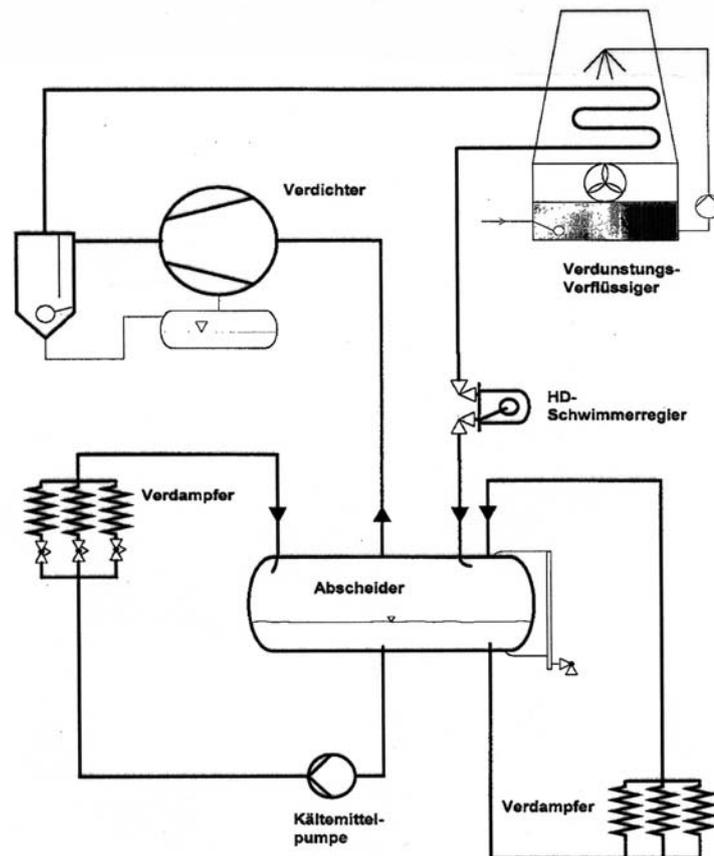


Bild 13: Ammoniak-Kälteanlage mit überflutet arbeitenden Verdampfer

- Vorteile von NH_3 :

- sehr energieeffizientes Kältemittel
- extrem niedriger Preis
- hohe volumetrische Kälteleistung (kleine Verdichter und Rohr - \emptyset)
- hohe Wärmeübertragungswerte
- geringere Wartungskosten
- kostengünstige Entsorgung

- Nachteile von NH_3 :

- giftig, aber gute Warnwirkung
- brennbar, aber schwer entzündlich, Klasse B2 nach EN 378
- Explosionsgefahr bei 15 bis 35 Vol. %
- hohe Druckgastemperatur (1-stufig nur bis $t_o = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ einsetzbar)
- feuchtes NH_3 greift Kupfer an
- bei großen Füllmengen verschärfte Auflagen durch das BImSchG

- Besonderheiten von NH₃-Kälteanlagen:

- Einsatz von offenen Hubkolben - oder Schraubenverdichtern
- vorrangig überflutete Verdampfer mit Pumpen- oder Schwerkraftumlauf (energetisch effizienter, Ölabscheider)
- Mineralöle nicht mischbar mit NH₃ (Verdampfer muss entölt werden, hocheffiziente Ölabscheider)

Bild 14 zeigt Anlagenschaltungen zur Ölrückführung

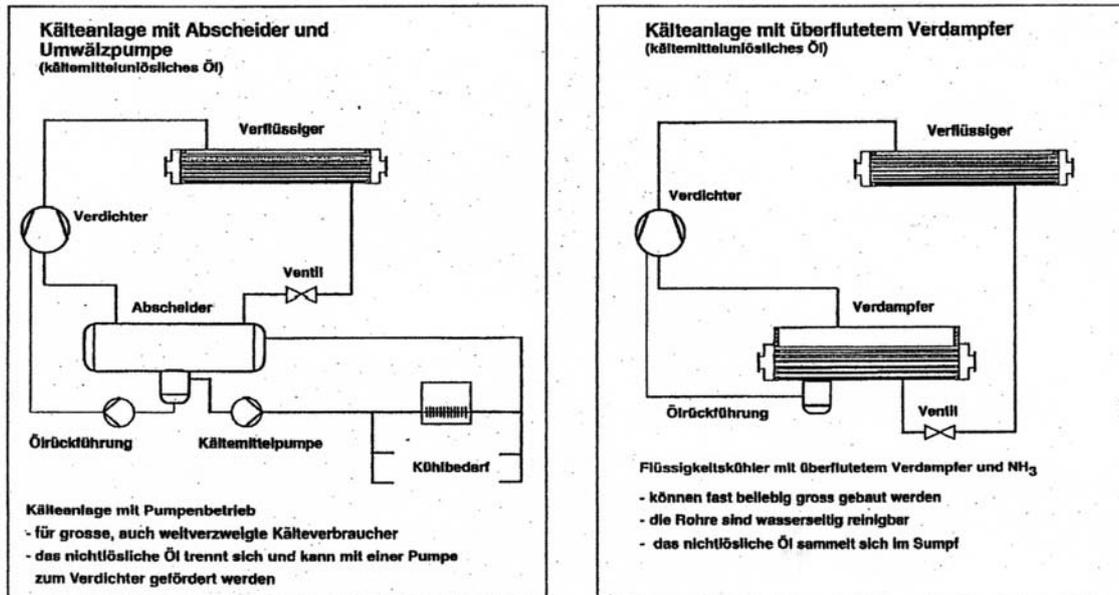


Bild 14: Ölrückführung in NH₃-Kälteanlagen

- NH₃ ist leichter als Luft (Deckenabsaugung im Maschinenraum)
- Brand- und Explosionsgefahr bei Schweißarbeiten an NH₃-Kälteanlagen, die schon in Betrieb waren
- NH₃-Wasser darf nicht in Kanalisation oder Gewässer
- Einsatz von unlegiertem Stahl oder CrNi-Stahl für Rohre und Wärmetauscher
- bei großen Füllmengen spezielle Maschinenräume mit entsprechenden Sicherheitseinrichtungen

- Neuentwicklungen im Bereich NH₃:

- Halbhermetische Verdichter mit Al-Motorwicklung (Fa. Bock, Mafa Halle)
- lösliche PAG-Öle für Direktverdampfungs-Systeme
- Einsatz von Al-Rohren mit Lötverbindungen für kleine Anlagen
- spezielle Wärmetauscher zur Reduzierung der Füllmengen
- Entwicklung einfacher Systeme mit Direktverdampfung für den Gewerbebereich
- „Hermetisierung“ von kleinen NH₃-Anlagen (m < 50 kg), kompakte KWS in einer Sicherheitshülle = Container mit Absorptionseinrichtungen
- Einsatz eines azeotropen Gemisches R723 (60 % NH₃ und 40 % DME)

- Vorteile von R723 gegenüber R717 (NH₃):

- keine Entmischung bei Verdampfer, Kondensation und bei Leckagen, da azeotropes Gemisch
- gute Löslichkeit mit Mineralöl
- geringerer Dampfdruck und damit kleineres Verdichtungsverhältnis
- geringere Verdichtungsendtemperatur
- höhere COP-Wert (ca. 7 %)
- größere volumetrische Kälteleistung
- bessere Wärmeübergangskoeffizienten bei trockener Verdampfung

5.3.2 Kohlenwasserstoffe als Kältemittel

Tabelle 8 gibt eine Übersicht über Kohlenwasserstoffe, die als Kältemittel oder als Gemischkomponenten zum Einsatz kommen.

Kurzzeichen nach ASHRAE	chem. Bezeichnung	chemische Formel	Klasse nach EN 378	GWP	Prakt. Grenzwert kg/m ³	Untere Zündgrenze kg/m ³	Zündtemperatur °C
R170	Ethan	CH ₃ CH ₃	3	3	0,008	0,038	515
R290	Propan	CH ₃ CH ₂ CH ₃	3	3	0,008	0,038	470
R600	Butan	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	3	3	0,0089	0,048	365
R600a	Isobutan	CH(CH ₃) ₃	3	3	0,011	0,038	460
R601	Pentan	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	3	3	0,008	0,041	
R601a	Isopentan	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃	3	3	0,008	0,041	
R1150	Ethen	CH ₂ = CH ₂	3	3	0,006	0,036	540
R1270	Propen	CH ₃ - CH = CH ₂	3	3	0,008	0,036	455

Tabelle 8: Kohlenwasserstoffe für Kälteanlagen

Außerdem werden auch Gemische, z.B. R290/R600a oder R290/R170 eingesetzt.

- Einsatzmöglichkeiten von Kohlenwasserstoffen

- gemäß EN 378 ist der Einsatz von brennbaren Kältemitteln der Gruppe A3 bei Füllmengen < 150 g, z.B.: Haushaltskühlgeräte, Getränkeautomaten, steckerfertige TK-Truhen und Kühlteken unproblematisch
- kompakte Wärmepumpen
- Splitklimageräte bis etwa 3 kW Kälteleistung
- Kaskadenkälteanlagen im Industriebereich (Pharmazie, Medizin)
- indirekte Kühlung-Kaltwassersätze, Solekühlung

Bild 15 zeigt eine Propan-Kälteanlage in einem Supermarkt gebaut von der Fa. Linde

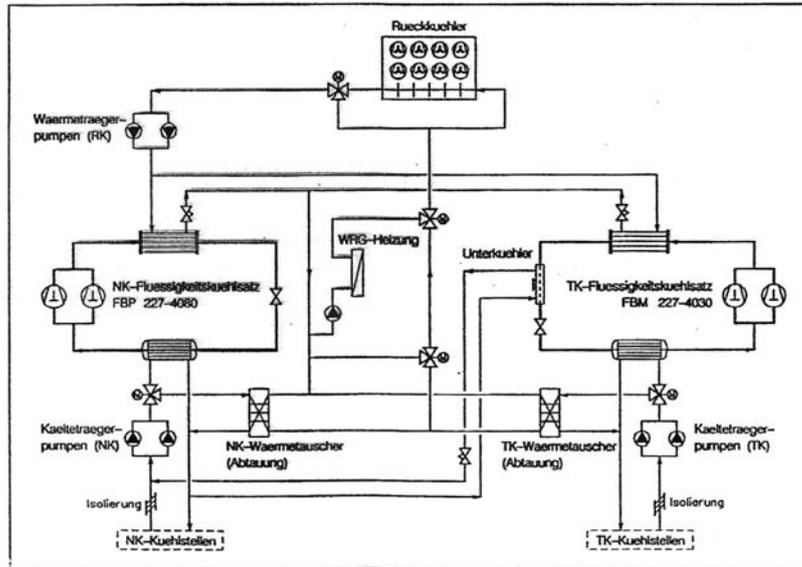


Bild 15: Prinzipschema der Propan-Kälteanlage im Magnet-Markt Bad Freienwalde.

- Verkaufsfläche von ca. 3000 m²
 - Kühlmöbel:
 - Kühlregale 57 m
 - Bedienungstheken 15 m
 - Tiefkühlinseln 44 m
 - Kühlräume:
 - Tiefkühlraum 66 m³
 - 4 Normalkühlräume ca. 194 m³
 - je 2 Kältekreisläufe für Normal- und Tiefkühlung mit insgesamt nur 17 kg Propan
 - Abtauung mit Warmsole / Heizung des Marktes mit der Abwärme
- Haupthindernisse für eine breite Anwendung von KW:
- das Sicherheitsrisiko der Kälteanlagen
 - die Frage der Produkthaftung
 - höherer Anlagenpreis für neue Systemlösungen und Sicherheitstechnik sowie indirekte Kühlung
 - Qualifikation des Montage- und Servicepersonals

Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe:

- Vorteile gegenüber R22 und den HFKW-Kältemitteln
 - hohe Energieeffizienz - höherer COP (siehe Bild 17)
 - ODP = 0, GWP = 3

- geringeres Druckverhältnis und niedrigere Druckgastemperatur (siehe Bild 16) von R290 gegenüber R22
 - höhere spezifische Kälteleistung
 - Massestrom nur etwa 60 % gegenüber R22 (Rohrleitungsdimensionierung)
 - wesentlich reduzierte Füllmengen
- Nachteile der Kohlenwasserstoffe
- Brennbarkeit und Explosionsgefahr - Gruppe A3 nach EN 378
 - dadurch begrenzte Füllmengen und Anlagengröße
- Anwendungshinweise
- Die verschärften Sicherheitsvorschriften bei Füllmengen > 150g sind zu beachten (EN 378, DIN 7003E, VDE 0165 und ggf. EG-Verordnung 94/9/EG - ATEX-Richtlinie)
 - Freigabe des Verdichterherstellers ist erforderlich
 - höhere Löslichkeit von Mineralölen ist zu beachten
 - höhere Ölviskosität von 60 ... 80 mm²/s erforderlich
 - Keine Materialprobleme, Cu-Rohr sowie Halbhermetik- und Hermetik- Verdichter können eingesetzt werden
 - Systeme vor Lötarbeiten und Elektrotests gut evakuieren (Kältemittelreste sind im Öl gelöst), ausgebaute Verdichter mit Stickstoff füllen

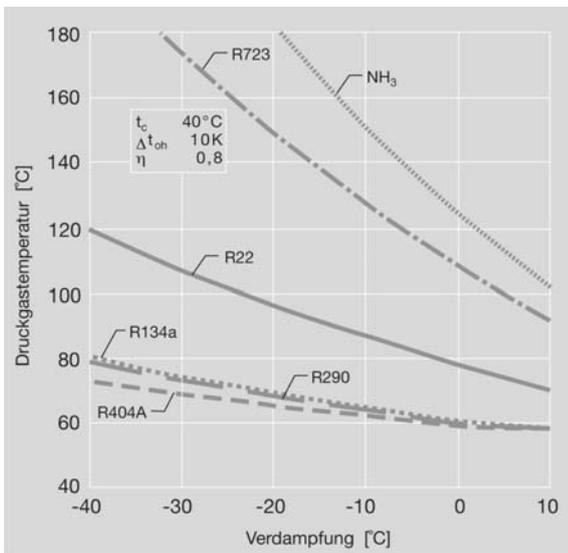


Bild 16: Vergleich von Druckgastemperatur (nach Bitzer-Report)

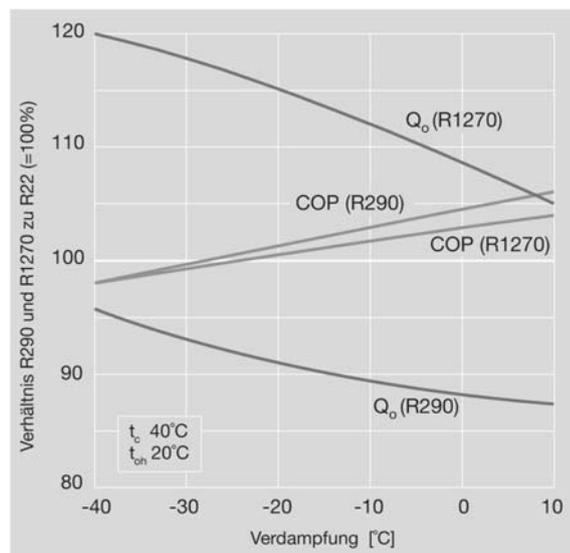


Bild 17: Vergleich der Leistungsdaten eines halbhermetischen Verdichters für R290/R1270/R22 (nach Bitzer-Report)

5.3.3 Das Kältemittel R744 (CO₂)

Kohlendioxid (CO₂) hat in der Kältetechnik eine ähnlich lange Tradition wie NH₃. Es wurde besonders im Industriebereich und der Schiffs-Kälte eingesetzt. Nachdem es ab den 50er Jahren immer mehr in Vergessenheit geriet, gewinnt es durch die Treibhausproblematik als Kältemittel und Sekundärfluid wieder verstärkt an Bedeutung. Einsatzschwerpunkte sind z.Z.:

- Supermarktkälteanlagen (Kaskaden- und Boostersysteme)
- Industrieanlagen und große gewerbliche Kälteanlagen
- Wärmepumpen für Brauchwasser und Trocknungsprozesse, Hochtemperatur-WP bis $t_w \geq +90 \text{ °C}$
- Schockfrosteranlagen
- Kaskaden in der Pharmaindustrie
- CO₂-Erdsonden für Wärmepumpen (Wärmerohr-Prinzip)

Die Eigenschaften von CO₂ als Kältemittel lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Vorteile von CO₂:
 - zukunftsicheres Kältemittel (keine GWP-basierten Steuern, keine Füllmengenbegrenzungen, keine Ausstiegszenario)
 - ODP = 0, GWP = 1
 - unbrennbar, nicht toxisch, chemisch inaktiv
 - hohe volumetrische Kälteleistung (5- bis 8-fach gegenüber R22)
 - dadurch sehr kleiner Massestrom gegenüber HFKW (kleinere Verdichter, Rohr-Ø, Füllmengen)
 - sehr gute Wärmeübertragungswerte (kleinere Δt , höhere t_0)
 - Druckabfälle auf der Saugseite wirken sich gering auf t_0 aus
 - sehr niedriger Energiebedarf für Umwälzpumpen bei Einsatz als Sekundärfluid
 - sehr preiswert
 - keine Rückgewinnung und Entsorgung
- Nachteile von CO₂:
 - sehr hohe Drucklage (je nach Temperatur ist der Saugdruck 15 bis 45 bar, Hochdruck im transkritischen Betrieb 100 bis 140 bar)
 - sehr niedriger kritischer Punkt bei 31 °C, 74 bar
 - sehr hoher Tripelpunkt bei 5,2 bar (CO₂ wird fest).
 - Gesundheitsrisiko durch Sauerstoffverdrängung (CO₂ wird im Blut gelöst, ab 8 Vol % Atemnot, Bewusstlosigkeit)

Der sehr niedrige kritische Punkt bedeutet bei einer CO₂-Kälteanlage mit Wärmeabfuhr an die Umgebungsluft im Sommerbetrieb ab max. $t_u = +27\text{ °C}$ eine überkritische Betriebsweise, d. h., dass CO₂ kann in dem Wärmetauscher nicht verflüssigt werden. Das komprimierte CO₂ wird in einem Gaskühler nur abgekühlt. Die Verflüssigung erfolgt erst bei der anschließenden Expansion, z. B. in einem Mitteldrucksammler. Man unterscheidet aus dieser Tatsache heraus CO₂-Kälteanlagen mit unterkritischer und überkritischer Betriebsweise (siehe Bild 18).

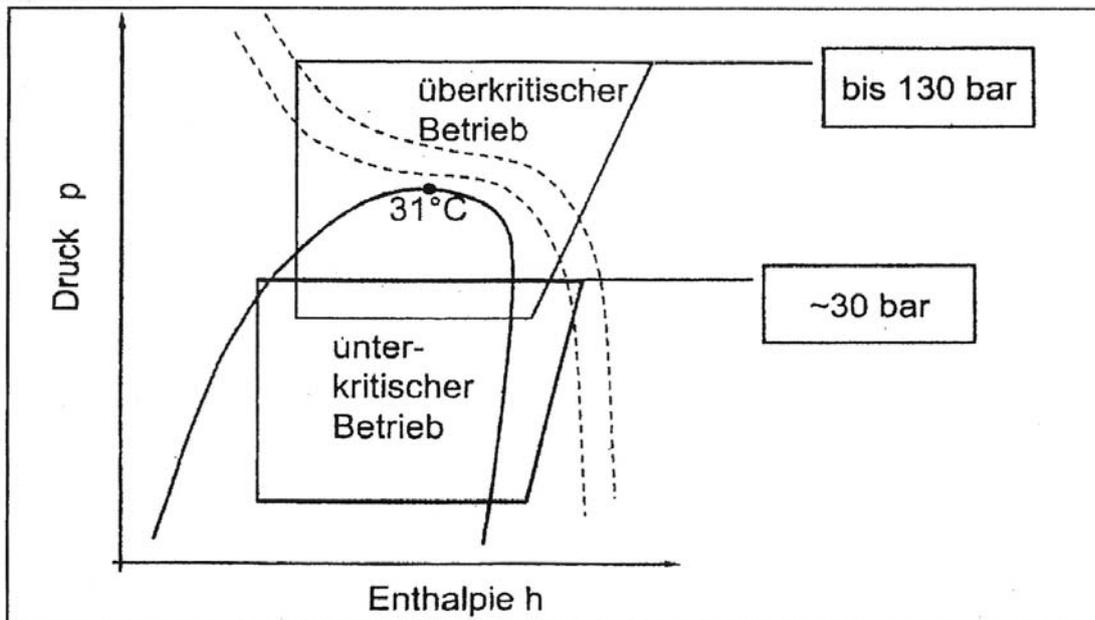


Bild 18: Überkritischer und unterkritischer Betrieb einer CO₂-Kälteanlage

- Unterkritische CO₂-Kälteanlagen

Aus energetischer Sicht und wegen der niedrigen Drucklage ist vor allem die unterkritische Betriebsweise sehr interessant. Im Supermarktbereich gelangen Kaskaden-Kälteanlagen mit CO₂ in der TK-Stufe und R134a in der NK-Stufe zum Einsatz. In Österreich wurde bereits durch die Fa. Hauser ein Spar-Markt mit einer XP10/CO₂-Kaskade ausgerüstet. Das CO₂ wird dabei in einem Kaskadenwärmetauscher mit verdampfendem R134a verflüssigt. Der CO₂-Anlagenteil kann mit Direktverdampfung betrieben werden (Bild 19) oder mit Pumpenzwangsumlauf mit CO₂ als Sekundärfluid wie bei einer klassischen NH₃-Kälteanlage oder als kombiniertes System.

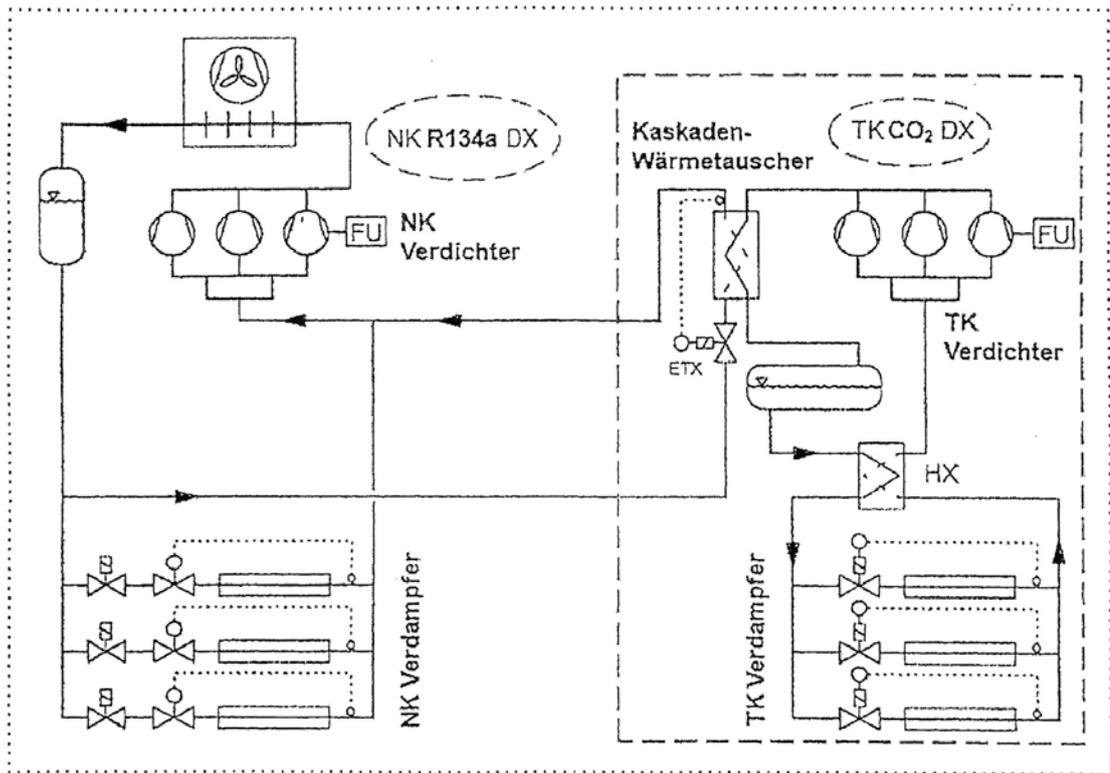


Bild 19: Hybridsystem mit R134a/CO₂-Kaskade

Bild 20 zeigt ein RI-Fließbild einer Kaskaden-Kälteanlage mit Kältemittelpumpen für CO₂ für den NK- und TK-Bereich.

Vereinfachte Darstellung

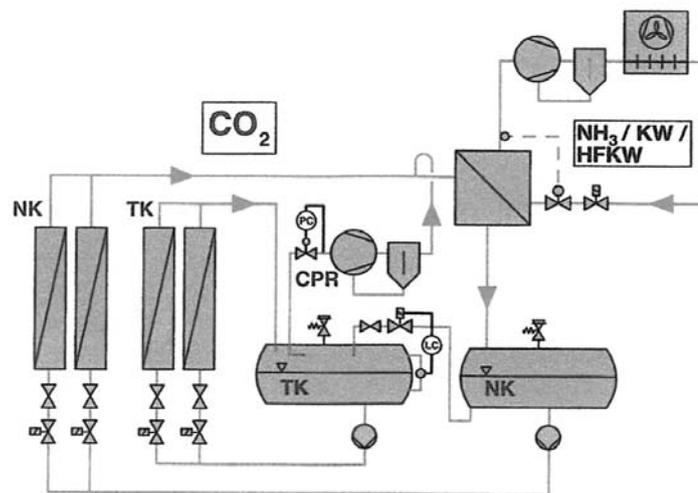


Bild 20: Kaskadensystem mit CO₂ für industrielle Anwendung

In Bild 20a ist eine umweltfreundliche und energetisch optimierte Kaskaden-Kälteanlage R290/R744 zur Hopfenkühlung zu sehen.

NK-Stufe: R290 (Propan)
 Verbund mit 3x 6H-25.2P-40P
 Kälteleistung: 3x 50,6 kW bei -10/+40 °C
 Leistungsaufnahme: 3x 19,98 kW

TK-Stufe: R744 (CO₂)
 Verbund mit 3x 4VSL-15K
 Kälteleistung: 3x 39,7 kW bei -40/-5 °C
 Leistungsaufnahme: 3x 12,02 kW

- Transkritische CO₂-Kälteanlagen

Für den transkritischen Kälteprozeß bietet sich ein Booster-System (Bild 21) an.

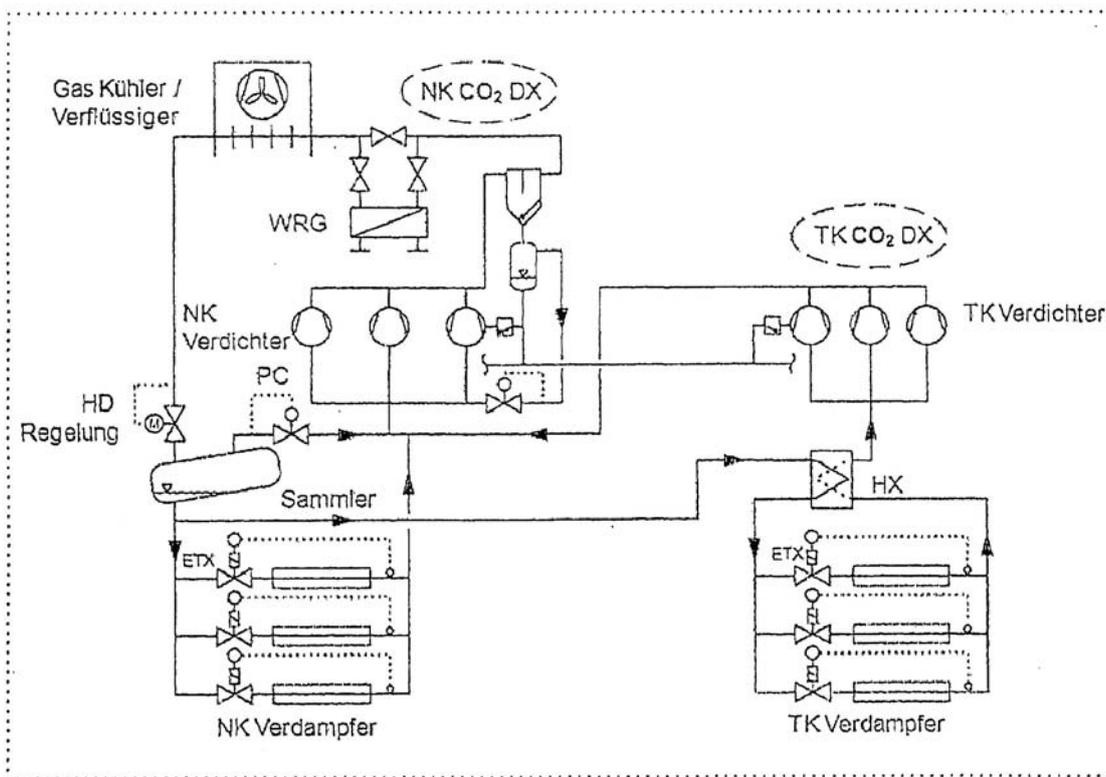


Bild 21: CO₂-Booster System

- Besonderheiten des transkritischen Kälteprozesses:

- Die Wärmeabfuhr auf der Hochdruckseite erfolgt in einem Gaskühler bei konstantem Druck mit hohem Temperaturleit (Enthitzung).
- Der hochkomprimierte Kältemitteldampf wird erst nach den Expansion in einem speziellen Expansionsventil z.B. in einen Mitteldrucksammler flüssig.
- Bei niedrigen Umgebungstemperaturen geht das System in den unterkritischen Betrieb mit besserem Wirkungsgrad über (Gaskühler wird zum Verflüssiger).
- Der Mitteldruck der Booster-Anlage variiert zwischen 40 und 32 bar je nach Lastverhältnis zwischen NK/TK.

Niedrige NK-Last führt zu hohen Sauggastemperaturen und damit hohen Druckgastemperaturen des NK-Verdichters.

Hohe NK-Last führt zu niedriger Sauggasüberhitzung des NK-Verdichters (IWT erforderlich).

- Für eine energieeffiziente Fahrweise der Anlage muss durch eine intelligente Regelung in Abhängigkeit der Gaskühler-Austrittstemperatur der optimale Hochdruck einreguliert werden (Bilanz zwischen max. Δh_o und minimaler P_{EL}). Die Kälteleistung steigt mit $P_k!$, siehe Bild 22.

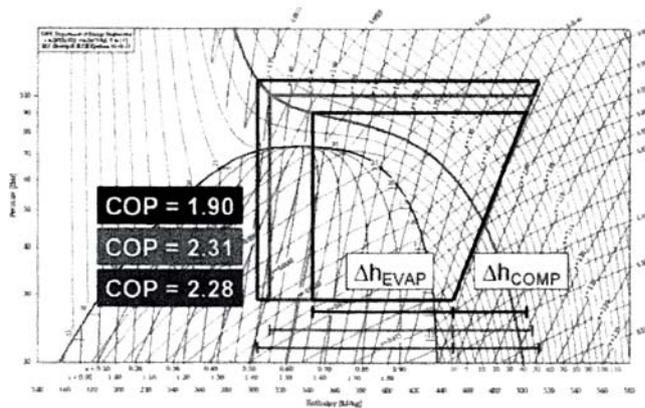


Bild 22: Einfluß des Hochdruckes auf Kälteleistung und COP

- Besonders vorteilhaft ist der transkritische Prozess für Brauchwasser-Wärmepumpen. Die sehr große Temperaturdifferenz zwischen Druckgaseintritt in den Gaskühler und der Eintrittstemperatur des Wassers führt zu sehr niedrigen Gasaustrittstemperaturen (Hohe Enthalpiedifferenz - damit hohe Systemleistungszahl), siehe Bild 23.

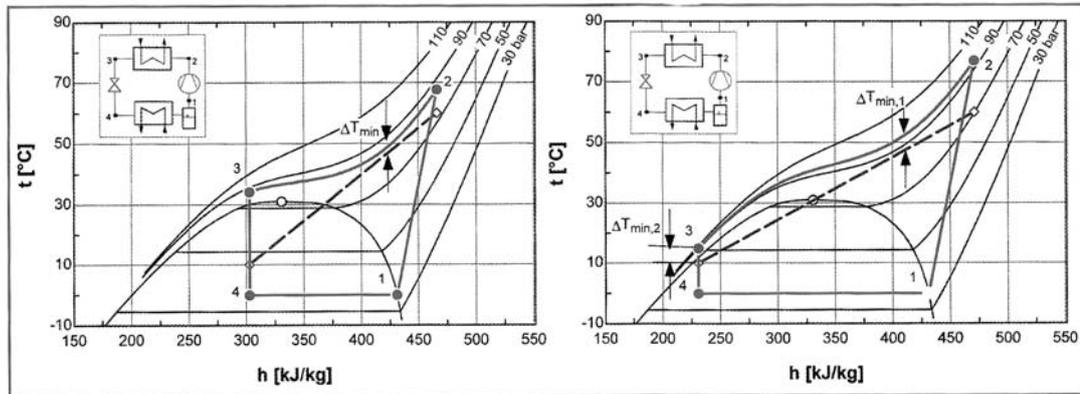


Bild 23: Einfluß des Hochdruckes auf Δh_0
 -links Druck zu niedrig
 -rechts Druck optimal

- Möglichkeiten zur Regelung des Stillstandsdruckes bei CO₂-Kälteanlagen

- CO₂ Freisetzung in die Atmosphäre über Druckregelventil oder druckgesteuertes Magnetventil
- druckgeregeltes Hilfskühlsystem für CO₂-Tank
- CO₂-Ausdehnungsgefäß bei kleinen Füllmengen
- Notwasserkühlung mit Frischwasser

- Erfahrung mit CO₂-Kälteanlagen im Supermarktbereich der Fa. Carrier

Ende 2011 waren in Europa 1330 Stück Supermärkte mit transkritischen CO₂-Kälteanlagen in Betrieb, Schwerpunkte:

Deutschland 166, Schweiz 149, Dänemark 424, Norwegen 134, Großbritannien 267, Österreich 5) siehe auch Bild 24.

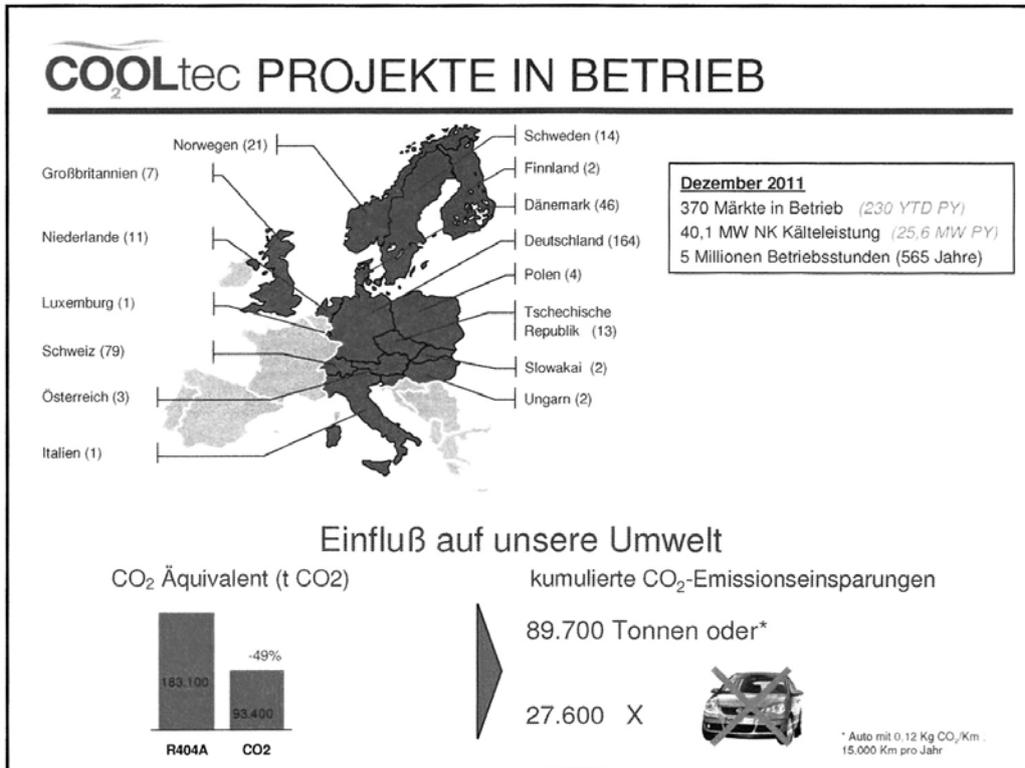


Bild 24: Supermärkte mit transkritischen CO₂-Kälteanlagen der Fa. Carrier

- Mit R134a/CO₂-Kaskaden werden gegenüber R404A-Anlagen 4 % Energie eingespart (durch gute K-Werte ist to im TK-Bereich 2K höher, Druckverlust in Saugleitung 1K geringer).
- Transkritische CO₂-Kälteanlagen (Booster-Systeme) sind energieeffizient bis zu einer mittleren Jahrestemperatur von +15 °C (Linie Madrid - Venedig - Sofia).
- Booster-Systeme haben den niedrigsten Gesamtreibhauseffekt (TEWI) siehe Bild 25.
- Die Investitionskosten für CO₂-Anlagen im NK-Bereich sind höher als vergleichbare FKW-Anlagen.

- Vorteile von CO₂ als Kälte­träger gegenüber Wasser/Sole:

- In Kühl­hausanwen­dungen wurden Energie­einsparungen von 20-24 % erreicht.
- Bei CO₂ als Kälte­träger wird die wesent­lich größere Latente Wärmekapazität als die sensible bei Klassischen Solen genutzt (t_o ist um 2K höher).
- Durch den wesent­lich kleineren Volumenstrom reduziert sich die Antriebsleistung für die Pumpen erheblich (nur etwa 10 %).
- Die K-Werte bei der Wärme­übertragung im WT sind höher.
- Die Abstrahlungsverluste in den Rohrleitungen sind durch die kleineren Durchmesser geringer.

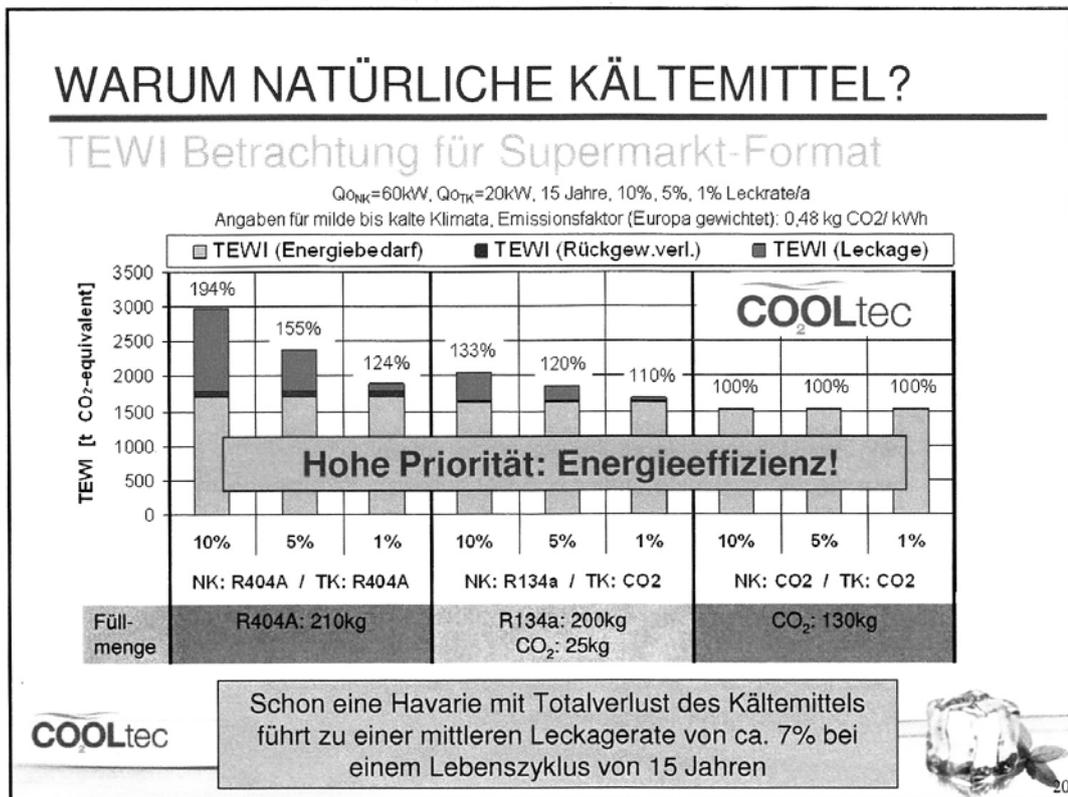


Bild 25: TEWI-Vergleich von Supermarkt-Kälteanlagen

5.3.4 „LOW GWP“-Kältemittel

Ausgehend von dem Verwendungsverbot von R134a in PKW-Klimaanlagen gemäß EU-Richtlinie 40/2006/EG wurde in einem Joint Venture von DuPont und Honeywell das Kältemittel HFO-1234yf entwickelt. Dieser Stoff mit der chemischen Formel 2,3,3,3 Tetrafluorpropen ($\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$) gehört zur Gruppe der Fluorolefine mit chemischer Doppelbindung mit folgenden Eigenschaften:

- GWP = 4 (R134a GWP = 1300)
- Lebensdauer in der Atmosphäre: 11 Tage
- spezifische Kälteleistung, COP und Drucklage ähnlich R134a
- gute Materialverträglichkeit mit Elastomeren und Kunststoffen
- Verdichtungsendtemperatur ca. 10 K niedriger als R134a
- mäßig entflammbar, Sicherheitsgruppe A2L nach ISO817 (siehe Bild 26)
- gute Mischbarkeit mit Esteröl (32 cST)
- Massestrom 20 % höher als bei R134a

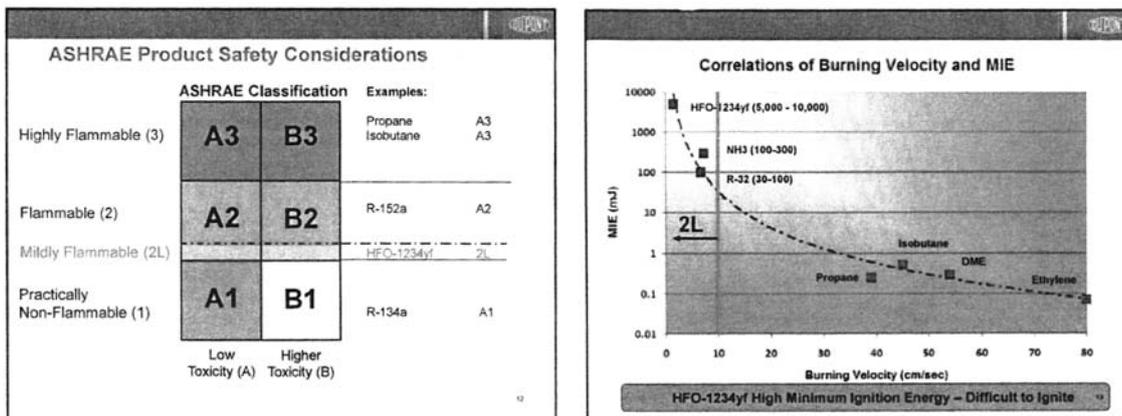


Bild 26: Brennbarkeit von HFO-1234yf

Der extrem niedrige GWP-Wert wird leider mit einer Brennbarkeit im Bereich 6,2 bis 12,3 Vol% erkauft. Damit ergeben sich im Gewerbebereich Füllmengenbegrenzungen gemäß EN 378.

Problemlösung: Gemische auf Basis HFO 1234yf mit HFKW-Kältemitteln möglichst azeotrop und als Drop-In (gleiche Anlagenparameter).

Die Gemische, die nicht brennbar sind (Klasse 1) haben jedoch ein höheres GWP.

Tabelle 9: zeigt eine Reihe von Du Pont entwickelter Gemische

Anwendung	Ersatz für	Klasse 1	Klasse 2L
Gewerbekälte	134a (404A)	XP10 GWP 600-700	HFO-1234yf GWP 4
	404A	DR-33 GWP 1300-1400	DR-7 GWP 200-300
Klimatechnik	410A/407C		DR-5 GWP 400-500
Turboverdichter -	134a	XP10	HFO-1234yf GWP 4
	123	DR-2 GWP 10	
Wärmepumpen		DR-2 GWP 10	

DKV Tagung 2011 Aachen

Tabelle 9: Opteon™ Low GWP-Kältemittel

Als Ersatz von R134a wird z.Z. das Gemisch Opteon XP10 erprobt, das 2014 auf den Markt kommen soll. Erste Kaskaden XP10/CO₂ sind im Supermarktbereich in Deutschland und Österreich in Betrieb.

Vergleich Opteon XP10 - R134a:

- azeotropes Gemisch
- GWP < 600
- spezifische Kälteleistung und COP ähnlich R134a
- Druckgastemperatur ca. 6K niedriger
- Drucklage etwas höher bei hohen t_k
- gute Mischbarkeit mit Esteröl (32 mm²/s)

In Tabelle 10 sind die favorisierten Ersatzstoffe für R404A dargestellt und Bild 27 zeigt den GWP-Wert und die relative Kälteleistung zu R404A verschiedener Gemische. In Tabelle 11 sind wichtige Parameter des Kältekreislaufes verglichen.

	R404A	DR-7	DR-33
GWP (Basis 100 Jahre)	3922	≈ 250	≈ 1400
Siedepunkt °C	-47	-48	-46
Kritische Temperatur °C	72	81	82
Dampfdruck bei 25 °C	1254	1372	1271
Flüssigkeitsdichte bei 25 °C	1044	1133	1139
Dampfdichte bei 25 °C	65,3	46,8	48,9
Temperaturleit °C	0,4	5,7	4,3
Q ₀ relativ zu R404A ¹⁾	100 %	103 %	95 %
COP relativ zu R404A ¹⁾	100 %	101 %	102 %
Sicherheitsklasse	A1	A2L	A1

¹⁾ Basis: $t_0 = -26 \text{ °C}$
 $t_K = +43 \text{ °C}$
 $t_{fl} = 14 \text{ K}$
 $t_{oh} = -4 \text{ °C}$

Tabelle 10: Ersatzstoffe für R404A (Quelle: Vortrag Dr. Rinne zur DKV-Tagung 2011)

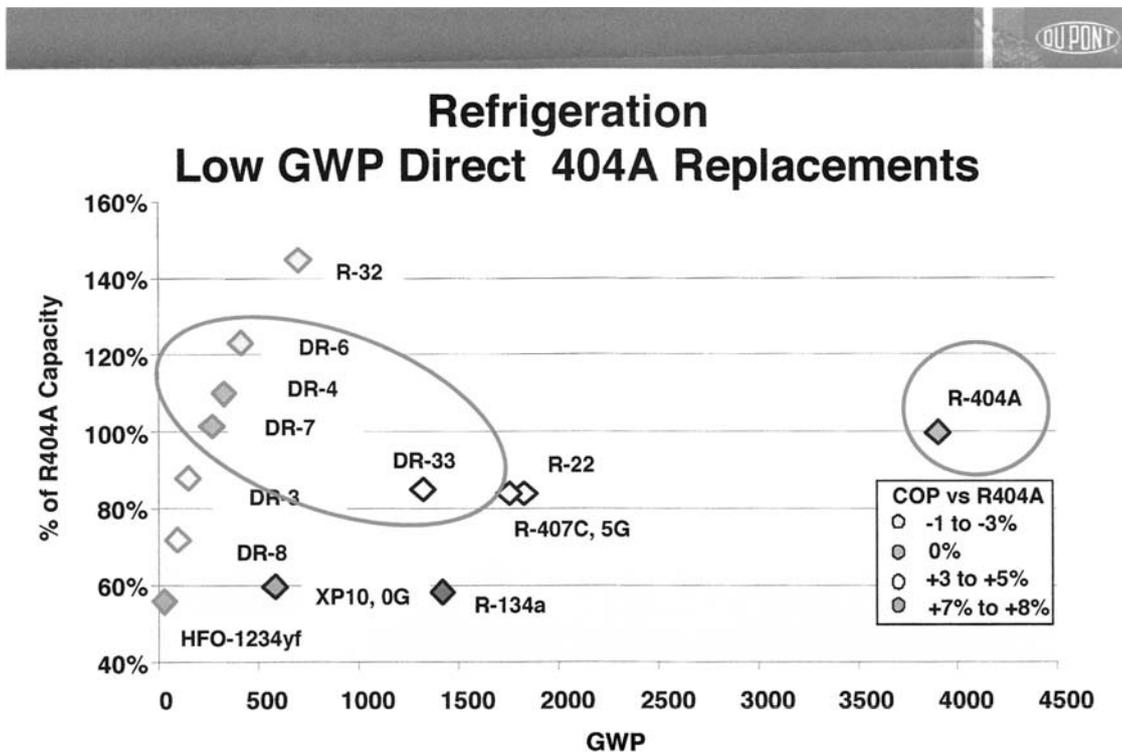


Bild 27: GWP und relative Kälteleistung zu R404A von HFO-Gemischen

Kreislaufsimulation

Verdampfungstemperatur -26 °C,

Verflüssigungstemperatur 43 °C,

Unterkühlung 14K,

Sauggastemperatur -4 °C,

isentropen Verdichtergütegrad 75 %

	Saugdruck kPa	Hochdruck kPa	Verdichtungs- verhältnis	Verdichtungs- endtemperatur °C	Mittlerer Temp.- Gleit °C	Vol. Kälte- leistung kJ/m ³	Q _o relativ zu R404A	COP	COP relativ zu R404A
R404A	242	1969	8.1	86	0.4	1442	100%	2.03	100%
DR-7	230	1987	8.6	107	5.7	1488	103%	2.05	101%
DR-33	207	1869	9.0	103	4.3	1372	95%	2.07	102%

Tabelle 11: Vergleich R404A mit DR-7 und DR-33

6. Umstellung von Kälteanlagen, die R22 oder dessen Gemische enthalten

6.1. Gesetzliche Grundlagen

- Verordnung 1005/2009/EG des Europäischen Parlaments vom 16.09.2009
- „Chemikalien-Ozonschichtverordnung“ der Bundesrepublik Deutschland vom 13.11.2006

Die Verordnung 1005/2009/EG trat am 01.01.2010 in Kraft und löste die bisherige VO 2037/2000/EG ab.

- Die Intervalle zur Lecksuche sind jetzt identisch mit der F-Gase-Verordnung 842/2006/EG.
- Auch bei FCKW- und HFCKW-Kälteanlagen muss ab 3 kg Füllmenge ein Anlagenbuch geführt werden analog F-Gase-Verordnung.
- Die Ausstiegsfristen für FCKW und HFCKW (z.B. R22) unverändert:
 - seit 01.01.2001 Verwendungsverbot aller FCKW für Wartung und Instandhaltung von Kälte- und Klimaanlage und Wärmepumpen
 - seit 01.01.2010 Verwendungsverbot aller HFCKW (z.B. R22) als Frischware
 - bis 31.12.2014 dürfen rezyklierte HFCKW verwendet werden
- NEU! Nur solche Unternehmen dürfen rezykliertes HFCKW verwenden, die dieses auch selber zurückgewonnen haben.

Das bedeutet, falls kein HFCKW aus dem Recycling vorhanden ist, müssen die Kälteanlagen bei Leckagen systematisch auf chlorfreie Kältemittel umgestellt werden. Zu beachten ist, dass das Verwendungsverbot für alle HFCKW gilt, also nicht nur R22, sondern auch alle sog. Drop-In-Gemische, die R22 enthalten (siehe Tabelle 12).

6.2. Übersicht über Kältemittelgemische, die R22 enthalten

Die Tabelle 12 gibt eine Übersicht über zeotrope Kältemittelgemische, sog. Drop-In-Gemische, die R22 enthalten.

Tabelle 12:

Kältemittel	Zusammensetzung (Gew. %)	ODP ¹⁾	GWP ²⁾
R401A	R22/R152a/R124 (53/13/34)	0,037	970
R401B	R22/R152a/R124 (61/11/28)	0,04	1060
R401C	R22/R152a/R124 (33/15/52)	0,03	760
R402A	R125/R290/R22 (60/2/38)	0,021	2250
R402B	R125/R290/R22 (38/2/60)	0,033	1960
R403A	R290/R22/R218 (5/75/20)	0,041	2520
R403B	R290/R22/R218 (5/56/39)	0,031	3570
R406A	R22/R600a/R142b (55/4/41)	0,057	1560
R408A	R125/R143a/R22 (7/46/47)	0,026	2650
R409A	R22/R124/R142b (60/25/15)	0,048	1290
R409B	R22/R124/R142b (65/25/10)	0,048	1270
R411A	R1270/R22/R152a (1,5/87,5/11)	0,048	1330
R411B	R1270/R22/R152a (3/94/3)	0,052	1410
R412A	R22/R218/R142b (70/5/25)	0,055	1850
R414A	R22/R124/R600a/R142b (51/28,5/4/16,5)	0,045	1200
R414B	R22/R124/R600a/R142b (5/39/39/1,5/9,5)	0,042	1100

ODP¹⁾ = Ozonabbaupotenzial (R11 = 1 gesetzt)

GWP¹⁾ = Treibhauspotenzial (CO₂ = 1 gesetzt, auf 100 Jahre)

6.3. Ersatzstoffe für R22 und dessen Gemische

Die Umstellung der Kälteanlagen muss auf ein chlorfreies Kältemittel (ODP = 0) erfolgen. Giftige Stoffe wie R717 (NH₃) oder R723 (NH₃/DME) sowie brennbare Stoffe, z.B. R290 (Propan) scheiden für die Umstellung aus, ebenso R410A wegen seiner hohen Drucklage.

In Frage kommen HFKW-Gemische mit ähnlicher volumetrischer Kälteleistung und Drucklage wie R22. Auch sollte die Energieeffizienz der Anlage (COP) nicht wesentlich schlechter werden.

Es bleiben zwei Alternativen:

- Umstellung auf ein H-FKW-Kältemittel (R507, R404A, R407C) und Esteröl.
- Umstellung auf ein H-FKW-Kältemittel der ISCEON-Reihe (R417A, R422D, R422A). In den meisten Fällen ist kein Ölwechsel erforderlich, da diese Gemische einen kleinen Prozentsatz reiner Kohlenwasserstoffe, z. B. R290, R600a enthalten und damit die Mischbarkeit mit Mineralölen (MO) und synthetischen Ölen (AB) und der Öltransport gesichert sind.

Tabelle 13 gibt eine Übersicht über R22-Ersatzstoffe

Tabelle 13: Ersatzstoffe für R22 im Vergleich

Kältemittel	Zusammensetzung in Gew. %	Einsatzbereich 1stufig t _o in (°C)	Siedepunkt (°C)	Gleit [K]	Druck in bar (Ü) bei 50 °C	Kälteleistung ¹⁾ in % zu R22	COP in % zu R22	Öltyp	GWP
R404A	R143a/125/134a (52/44/4)	NK- u. TK-Bereich -5 bis -45	-47	0,7	22,0	99 (L)	98	POE	3260
R507	R143a/125 (50/50)		-47	0	22,6	102 (L)	98	POE	3300
R422A (Isceon 79)	R125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	Klima- u. NK-Bereich +12 bis -15	-49	4,7	22,5	105 bis 115 (L)	98	MO, AB, POE	2530
R407C	R32/125/134a (30/10/60)		-44	7,4	21,1	103 (H)	95	POE	1525
R417A (Isceon 59)	R125/134a/600a (46,5/50/3,5)	Klima- u. NK-Bereich +12 bis -15	-43	5,6	17,5	95 (H)	95	MO, AB, POE	1950
R422D (Isceon 29)	R125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)		-45	4,5	20,0	95 (H)	98	MO, AB, POE	2230

¹⁾ H = Klimabereich, L = TK-Bereich

In Tabelle 14 sind die Isceon-Kältemittel, die sogenannte 9er-Reihe, zusammengestellt. Diese Kältemittel haben ein ODP=0 und sind bis auf Isceon 89 (A2) alle in die Gruppe A1 nach EN 378 klassifiziert (nicht brennbar).

Hersteller- Bezeichnung	ASHRAE- Bezeichn.	Zusammensetzung	GWP	Ersatzstoff für
Isceon MO 29	R422D	R125/134a/600a	2230	R22 NK- u. TK-Bereich, Klima, KWS
Isceon 39 TC	R423A			R12 Turboverdichter
Isceon MO 49 Plus	R437A	R125/134a/600/601	1680	R12, R401A, R409A, R500
Isceon MO 59	R417A	R125/134a/600	2120	R22 NK- und Klima-Bereich
Isceon MO 79	R422A	R125/134a/600a	2530	R22 TK-Bereich, R502, R402A, R408A
Isceon MO 89	-	R125/218/290	-	R13B1 (to=-40 bis -70 °C)
Isceon MO 99	R438A	R32/125/134a/600/601 a	2150	R22 gesamter Bereich

Tabelle 14: Einsatzbereich der Isceon-Kältemittel

Zu empfehlen sind die Isceon-Kältemittel besonders, wenn für die Umstellung der Kälteanlagen wenig Zeit zur Verfügung steht (Supermarkt-Bereich), für ältere Anlagen (Restlaufzeit) und für Anlagen mit Hermetik-Verdichtern, wenn ein Ölwechsel nur mit hohem Aufwand möglich ist.

6.4. Umstellungsverfahren

6.4.1 Allgemeine Hinweise

- Grundsätzlich sollte bei der Umstellung sehr gewissenhaft gearbeitet werden.
- Der Ölzustand ist am Schauglas des Verdichters und ggf. mit einem Säuretester zu prüfen. Verschmutzte, trübe Öle (dunkle Farbe) oder säurehaltige Öle sind zu wechseln.
- Bedenken Sie, wenn Sie auf Esteröl umgestellt haben, dass diese eine hohe Reinigungswirkung haben. Feste Verunreinigungen im Kältekreislauf besonders bei Mineralölen gehen in Lösung. verschmutztes Öl ist zu wechseln.
- Die Ölrückführung ist im Beharrungszustand am Verdichterschauglas zu prüfen. Kälteanlagen, die schon Rückführungsprobleme besonders im Teillastbereich hatten, werden nach Umstellung auf Isceon-Kältemittel noch problematischer. Ein verringerter Kältemittelmassestrom, gleichbedeutend mit verringerter Fließgeschwindigkeit führt zu schlechter Ölrückführung zum Verdichter.
- Dichtungen auf Basis von natürlichem oder synthetischem Kautschuk (Chloropren), werden bei Umstellung von R22 auf ein HFKW in der Regel undicht (verändertes Quellverhalten), d. h. Dichtungen wechseln. Dazu zählen z.B. komplette Gleitringdichtungen von offenen Verdichtern, Dichtungen von Magnet- und Handradventilen, Schaugläsern, Schraderventilen, Ölpumpen u.a.

6.4.2 Umstellungstechnologie

Für die Umstellung einer Kälteanlage wird folgender Ablauf empfohlen:

- 1) Technische Daten der bestehenden Anlage in einem Anlagendatenblatt erfassen, auch um späteren Reklamationen des Betreibers vorzubeugen.

Dazu zählen: Kältemittel und Öltyp, Raumluftparameter (t und ϕ), bei KWS die Wasserrücklauftemperatur, Hochdruck, Saugdruck, Überhitzung am Verdampferausgang, Temperatur am Verdichtereingang und am Druckstutzen, Unterkühlung nach dem Verflüssiger, Ölstand und Ölqualität (Farbe, Aussehen, evtl. Säuretest)

- dunkles, trübes oder säurehaltiges Öl muss gewechselt werden!

- 2) Absaugen des Kältemittels in eine Recycling-Flasche mit einem Absauggerät und Wiegen der entnommenen Menge. Überfüllung der Recycling-Flaschen vermeiden (Füllfaktor = 0,75 kg/l).
- 3) Filtertrockner wechseln (auch Saugleitungstrockner), da dieser immer einen nichtbekannten Verschmutzungszustand hat.
- 4) Bei Umstellung auf R507, R404A oder R407C Öl aus Verdichter ablassen (auch Ölabscheider entleeren) und Esteröl einfüllen.
Ölwechsel nach 24 Stunden wiederholen. Nach etwa 100 Stunden Anlagen-Ölzustand nochmals prüfen. Bei verschmutztem Öl und bei weit verzweigtem System speziell auch bei Tieftemperaturanlagen dritten Ölwechsel vornehmen. Der Restanteil des Altöles sollte nicht über 5 % liegen - ggf. Retrofit-Test-Kit einsetzen zur Prüfung.
- 5) Bei Einsatz von R507, R404A, R407C und R422A (Isceon MO79) Expansionsventil wechseln. Bei R422A wird ein Expansionsventil für R404A oder R507 eingesetzt. Bei Umstellung von R22 auf R422D oder R417A ist kein Wechsel des Expansionsventils erforderlich, auch nicht bei der Umstellung von R402A und R408A auf R422A.
In jedem Falle ist aber bei einer Umstellung auf ein anderes Kältemittel die Überhitzung am Expansionsventil zu prüfen und ggf. neu einzustellen.
Um Verdichterschäden durch flüssiges Kältemittel vorzubeugen, ist eine stabile Arbeitsweise und eine minimale Arbeitsüberhitzung von 5 K bei thermostatischen Expansionsventilen erforderlich.
- 6) Rundringdichtungen auf Basis von natürlichem oder synthetischem Kautschuk wechseln.
- 7) Anlage evakuieren (unter 10 mbar) und auf Dichtheit prüfen.
Achtung! Zur Lecksuche keine Gemische aus Luft und Kältemittel einsetzen, da diese entflammbar sein können.
- 8) Anlage mittels elektronischer Füllwaage befüllen - Außer R507 alle Kältemittel nur aus der Flüssigphase füllen. Die optimale Füllmenge hängt von der Anlagenkonstruktion und den Betriebsbedingungen ab. Bei Isceon-Kältemitteln anfänglich nur etwa mit 85 % der R22-Menge befüllen. Endgültige Menge liegt bei ca. 95 % der R22-Menge, bei R507 und R404A bei 85 % bis 90 %.

- 9) Anlage in Betrieb nehmen und im Beharrungszustand Anlagendrucke prüfen, Ölstand im Verdichter überwachen. Ist die Füllmenge zu gering (erkennbar an zu niedriger Verflüssigungs- und Verdampfungstemperatur sowie zu großer Überhitzung am TRV), schrittweise Kältemittel nachfüllen. Sollte bei Umstellung auf Isceon-Kältemittel der Ölstand im Verdichter nicht korrekt sein (starke Schwankungen) können 10 bis max. 25 % des Öles durch Esteröl ersetzt werden, dabei anfangs 10 % und dann schrittweise 5 % ersetzen, bis sich Ölrückführung normalisiert hat).
- 10) Überhitzung am Verdampferausgang prüfen und ggf. Expansions-Ventil einregulieren (bei R417A ist der Saugdruck niedriger als bei R22, d. h. Überhitzung am Expansionsventil muss erhöht werden).
- 11) Falls vorhanden, Verdampfungsdruckregler, Kondensatordruckregler, Startregler und Niederdruckwächter zur Regelung der Kühlstellentemperatur neu einstellen.

Dazu zwei Beispiele:

Beispiel 1

Die Kondensationswärme einer R22-Kälteanlage wurde zur Warmwasserbereitung genutzt. Um eine Wassertemperatur von +45 °C zu erreichen, war der Kondensatordruckregler auf einem Druck von 18,4 bar (ü) entsprechend $t_c = +50$ °C eingestellt.

Es ergeben sich folgende neue Einstelldrücke bei der Umstellung:

Kältemittel	R22	R422D	R422A	R417A	R407A	R404A	R507
Druck in bar (ü) ¹⁾	18,4	20,0	22,5	17,5	21,1	22,0	22,6

¹⁾ Druck p' an der Flüssigkeitslinie (bubble point)

D. h., wird der Druck nicht neu eingestellt, wird außer bei R417A die Wassertemperatur von +45 °C nicht erreicht.

Beispiel 2

Bei einem Kühlraum einer R22-Kälteanlage war zur Begrenzung der Verdampfungs-temperatur auf $t_0 = -5 \text{ °C}$ an einem Verdampferdruckregler ein Druck von 3,2 bar (ü) eingestellt.

Auf welchen Druck ist der Verdampferdruckregler nach der Umstellung einzustellen?

Kältemittel	R22	R422D	R422A	R417A	R407A	R404A	R507
Druck in bar (ü) ²⁾	3,2	3,1	4,2	2,4	2,9	4,1	4,3

²⁾ Druck p'' an der Sättigungslinie (dew point)

Sind keine Manometer mit entsprechender Temperaturskala vorhanden, sind Dampfdruckschieber oder -tabellen zu verwenden. Dabei ist zu beachten, dass in den Dampfdrucktabellen der Kältemittelhersteller meistens Absolutdrücke angegeben sind, d. h. der Manometerdruck ist 1 bar niedriger.

12) Gemäß EN 378-1, Abs. 1 sind Kälteanlagen, die auf ein anderes Kältemittel umgestellt werden, wie Neuanlagen zu beurteilen, d. h. es gelten auch für Altanlagen die Teile 1 bis 3 dieser Norm, das bedeutet:

- Einstellung von Sicherheitsdruckwächter und Druckbegrenzern auf den neuen Betriebsdruck P_s .
- Falls der Betriebsdruck mit dem neuen Kältemittel höher ist, Anlage mit $1,1 \times P_s$ abdrücken.
- Prüfen, ob alle Bauteile für den höheren Betriebsdruck ausgelegt sind.
- Prüfung gemäß Druckgeräteüberwachungsverordnung, ob $P_s \times V < 700$ (Kleinanlagen) oder $P_s \times V > 1000$ (Anlagen mit hohem Gefahrenpotenzial) überschritten wird.

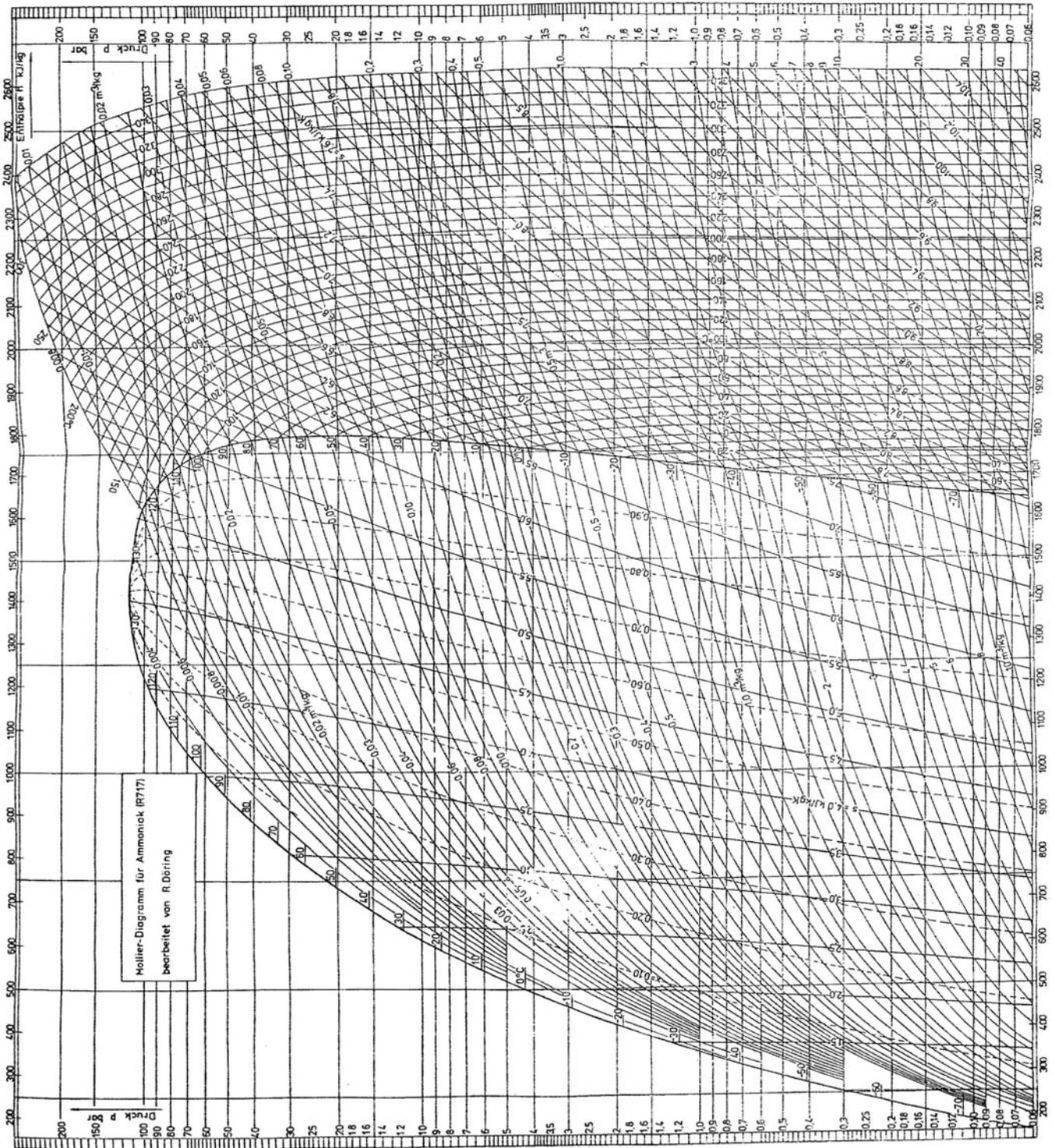
13) Kennzeichnung der Anlage (Typenschild und Anlagenbuch) mit dem eingesetzten Kältemittel und Kältemaschinenöl.

14) Gemessene Anlagenparameter in einem Protokoll erfassen und mit denen unter Pkt. 1 vergleichen.

Dampfdrucktabelle wichtiger Kältemittel Sättigungsdruck in bar (Überdruck)

Temp.	Kältemittel														Temp.
	R134a	R22	R404A	R407C	R410A	R413A	R417A	R422A	R422D	R437A	R507	R23	R290	R600a	
-60,00	-0,84	-0,64	-0,53		-0,39		-0,66	-0,50	-0,57		-0,51	2,12	-0,61		-60,00
-58,00	-0,82	-0,59	-0,47		-0,31		-0,61	-0,44	-0,52		-0,45	2,41	-0,56		-58,00
-56,00	-0,80	-0,54	-0,41		-0,23		-0,57	-0,37	-0,47		-0,38	2,73	-0,51		-56,00
-54,00	-0,77	-0,49	-0,34		-0,14		-0,52	-0,30	-0,41		-0,31	3,06	-0,45		-54,00
-52,00	-0,74	-0,43	-0,27		-0,05		-0,46	-0,23	-0,34		-0,24	3,42	-0,39		-52,00
-50,00	-0,71	-0,37	-0,19	-0,52	0,06	-0,69	-0,41	-0,15	-0,27	-0,66	-0,15	3,80	-0,33		-50,00
-48,00	-0,67	-0,30	-0,11	-0,46	0,17	-0,65	-0,34	-0,06	-0,20	-0,62	-0,06	4,20	-0,26		-48,00
-46,00	-0,63	-0,23	-0,01	-0,40	0,30	-0,61	-0,27	0,04	-0,11	-0,57	0,04	4,63	-0,18		-46,00
-44,00	-0,59	-0,15	0,09	-0,33	0,43	-0,56	-0,20	0,14	-0,02	-0,52	0,14	5,09	-0,10		-44,00
-42,00	-0,54	-0,06	0,20	-0,25	0,57	-0,51	-0,11	0,25	0,07	-0,47	0,26	5,57	-0,02		-42,00
-40,00	-0,49	0,04	0,31	-0,17	0,73	-0,45	-0,03	0,37	0,18	-0,41	0,38	6,08	0,08	-0,73	-40,00
-38,00	-0,43	0,14	0,44	-0,08	0,89	-0,39	0,07	0,50	0,29	-0,35	0,51	6,62	0,18	-0,70	-38,00
-36,00	-0,37	0,25	0,57	0,01	1,07	-0,33	0,17	0,64	0,41	-0,28	0,65	7,19	0,28	-0,66	-36,00
-34,00	-0,31	0,36	0,71	0,17	1,26	-0,25	0,28	0,79	0,53	-0,20	0,80	7,80	0,39	-0,63	-34,00
-32,00	-0,23	0,49	0,87	0,23	1,46	-0,17	0,40	0,94	0,67	-0,12	0,96	8,43	0,51	-0,59	-32,00
-30,00	-0,16	0,62	1,03	0,35	1,67	-0,09	0,52	1,11	0,82	-0,03	1,13	9,10	0,64	-0,55	-30,00
-28,00	-0,07	0,77	1,20	0,48	1,90	0,00	0,66	1,29	0,97	0,06	1,31	9,80	0,78	-0,50	-28,00
-26,00	0,02	0,92	1,38	0,61	2,15	0,10	0,80	1,48	1,14	0,16	1,51	10,54	0,92	-0,45	-26,00
-24,00	0,11	1,08	1,58	0,76	2,41	0,21	0,95	1,68	1,32	0,27	1,71	11,31	1,07	-0,40	-24,00
-22,00	0,21	1,25	1,79	0,92	2,68	0,32	1,11	1,89	1,50	0,39	1,93	12,13	1,23	-0,35	-22,00
-20,00	0,33	1,44	2,01	1,09	2,97	0,44	1,28	2,12	1,70	0,51	2,16	12,98	1,41	-0,29	-20,00
-18,00	0,44	1,63	2,24	1,27	3,28	0,57	1,47	2,36	1,92	0,65	2,40	13,88	1,59	-0,22	-18,00
-16,00	0,57	1,84	2,48	1,46	3,61	0,71	1,66	2,61	2,14	0,79	2,66	14,82	1,78	-0,16	-16,00
-14,00	0,71	2,06	2,74	1,66	3,96	0,86	1,87	2,88	2,38	0,94	2,93	15,80	1,98	-0,08	-14,00
-12,00	0,85	2,29	3,02	1,88	4,32	1,02	2,08	3,17	2,63	1,10	3,21	16,82	2,19	-0,01	-12,00
-10,00	1,00	2,53	3,31	2,11	4,71	1,18	2,31	3,46	2,89	1,27	3,52	17,90	2,41	0,07	-10,00
-8,00	1,17	2,79	3,61	2,36	5,11	1,36	2,56	3,78	3,17	1,46	3,83	19,02	2,64	0,16	-8,00
-6,00	1,34	3,06	3,93	2,62	5,54	1,55	2,81	4,11	3,46	1,65	4,17	20,19	2,89	0,25	-6,00
-4,00	1,52	3,35	4,27	2,89	5,99	1,76	3,08	4,46	3,77	1,86	4,52	21,42	3,14	0,35	-4,00
-2,00	1,72	3,65	4,63	3,18	6,47	1,97	3,37	4,82	4,09	2,07	4,88	22,69	3,41	0,45	-2,00
±0,00	1,92	3,97	5,00	3,49	6,96	2,20	3,67	5,21	4,43	2,30	5,27	24,03	3,69	0,56	±0,00
2,00	2,14	4,30	5,39	3,81	7,48	2,43	3,98	5,61	4,79	2,55	5,67	25,42	3,99	0,67	2,00
4,00	2,37	4,65	5,80	4,15	8,03	2,69	4,31	6,03	5,16	2,80	6,10	26,87	4,30	0,79	4,00
6,00	2,61	5,01	6,23	4,51	8,61	2,95	4,66	6,47	5,55	3,07	6,54	28,39	4,62	0,92	6,00
8,00	2,87	5,40	6,68	4,89	9,21	3,23	5,02	6,93	5,97	3,36	7,00	29,97	4,96	1,06	8,00
10,00	3,14	5,80	7,15	5,29	9,84	3,53	5,40	7,41	6,40	3,66	7,49	31,61	5,31	1,20	10,00
12,00	3,42	6,22	7,64	5,71	10,50	3,84	5,80	7,92	6,84	3,97	7,99	33,33	5,68	1,34	12,00
14,00	3,72	6,66	8,16	6,15	11,18	4,17	6,21	8,44	7,31	4,30	8,52	35,12	6,06	1,50	14,00
16,00	4,04	7,11	8,69	6,61	11,90	4,51	6,65	8,99	7,80	4,65	9,07	36,98	6,46	1,66	16,00
18,00	4,37	7,59	9,25	7,09	12,66	4,87	7,10	9,56	8,31	5,02	9,65	38,93	6,88	1,83	18,00
20,00	4,71	8,09	9,84	7,59	13,44	5,25	7,58	10,16	8,85	5,40	10,25	40,96	7,31	2,01	20,00
22,00	5,07	8,61	10,45	8,12	14,26	5,64	8,07	10,78	9,40	5,80	10,87	43,07	7,76	2,20	22,00
24,00	5,45	9,15	11,08	8,68	15,11	6,06	8,59	11,42	9,98	6,22	11,52	45,27	8,22	2,40	24,00
26,00	5,85	9,71	11,74	9,25	16,00	6,49	9,12	12,10	10,58	6,65	12,20		8,71	2,60	26,00
28,00	6,26	10,29	12,42	9,86	16,92	6,94	9,68	12,80	11,21	7,11	12,91		9,21	2,81	28,00
30,00	6,70	10,90	13,14	10,49	17,89	7,41	10,26	13,52	11,86	7,59	13,64		9,73	3,04	30,00
32,00	7,15	11,53	13,88	11,15	18,89	7,90	10,87	14,28	12,54	8,09	14,41		10,28	3,27	32,00
34,00	7,62	12,19	14,65	11,80	19,93	8,42	11,50	15,06	13,24	8,61	15,20		10,84	3,51	34,00
36,00	8,11	12,87	15,45	12,55	21,01	8,95	12,15	15,87	13,97	9,15	16,03		11,42	3,77	36,00
38,00	8,63	13,58	16,28	13,30	22,13	9,51	12,83	16,72	14,73	9,71	16,89		12,02	4,03	38,00
40,00	9,16	14,31	17,14	14,08	23,30	10,09	13,54	17,59	15,51	10,30	17,78		12,65	4,31	40,00
42,00	9,72	15,07	18,03	14,89	24,51	10,69	14,27	18,50	16,33	10,91	18,71		13,29	4,59	42,00
44,00	10,29	15,86	18,95	15,74	24,76	11,32	15,03	19,44	17,17	11,55	19,68		13,96	4,89	44,00
46,00	10,90	16,67	19,91	16,62	27,05	11,97	15,81	20,41	18,05	12,21	20,68		14,65	5,20	46,00
48,00	11,52	17,52	20,90	17,53	28,40	12,65	16,63	21,42	18,95	12,90	21,72		15,36	5,52	48,00
50,00	12,17	18,39	21,93	18,48	29,78	13,35	17,47	22,46	19,89	13,61	22,80		16,10	5,85	50,00
52,00	12,84	19,29	22,99	19,47	31,22	14,08	18,34	23,54	20,86	14,35	23,93		16,86	6,19	52,00
54,00	13,54	20,23	24,09	20,50	32,70	14,83	19,25	24,66	21,86	15,13	25,09		17,65	6,55	54,00
56,00	14,27	21,20	25,22	21,57	34,23	15,62	20,18	25,82	22,90	15,92	26,31		18,46	6,92	56,00
58,00	15,02	22,20	26,40	22,68	35,81	16,43	21,15	27,02	23,98	16,75	27,57		19,30	7,31	58,00
60,00	15,80	23,23	27,61	23,83	37,43	17,26	22,15	28,26	25,09	17,61	28,87		20,16	7,70	60,00
62,00	16,61	24,20	28,87	25,03	39,11	18,13	23,19	29,55	26,24	18,50	30,23		21,05	8,11	62,00
64,00	17,45	25,30	30,16	26,28	40,83	19,03	24,26	30,88	27,43	19,43	31,64		21,97	8,54	64,00
66,00	18,32	26,43			42,59	19,96	25,37	32,26	28,66	20,38	33,10		22,92	8,98	66,00
68,00	19,22	27,61			44,40	20,85	26,51	33,69	29,93	21,37	34,62		23,89	9,43	68,00
70,00	20,15	28,93			46,26	21,77	27,69	35,17	31,24	22,40	36,19		24,90	9,90	70,00

h,log p-Diagramm für Ammoniak (R717)



Dampf tabel für das Naßdampfgebiet von Ammoniak (R717)

Temperatur t °C	Druck p bar	spez. Volum der Flüssigkeit		Dichte der Flüssigkeit		des Dampfes		Enthalpie der Flüssigkeit		des Dampfes		der Ver- dampfung r kJ/kg	Entropie der Flüssigkeit		des Dampfes		Temperatur t °C	Exergie der Flüssigkeit e _l kJ/kg	des Dampfes e _{ll} kJ/kg
		v _l dm ³ /kg	v _l dm ³ /kg	ρ _l kg/dm ³	ρ _l kg/dm ³	q _{ll} kg/m ³	h _{ll} kJ/kg	h _{ll} kJ/kg	s _l kJ/kgK	s _{ll} kJ/kgK									
-40	.7171	1.4491	1.55124	.6901	.6446	320.24	1707.70	1387.46	1.2908	7.2417	7.2417	27.68	27.68	-310.63					
-39	.7563	1.4516	1.47589	.6889	.6776	324.65	1709.27	1384.62	1.3097	7.2230	7.2230	26.62	26.62	-303.64					
-38	.7973	1.4542	1.40491	.6877	.7118	329.05	1710.83	1381.78	1.3284	7.2046	7.2046	25.59	25.59	-296.72					
-37	.8401	1.4568	1.33799	.6864	.7474	333.43	1712.38	1378.96	1.3469	7.1863	7.1863	24.59	24.59	-289.86					
-36	.8847	1.4594	1.27462	.6852	.7845	338.04	1713.90	1375.87	1.3664	7.1681	7.1681	23.56	23.56	-283.06					
-35	.9312	1.4621	1.21508	.6840	.8230	342.37	1715.44	1373.07	1.3846	7.1502	7.1502	22.61	22.61	-276.34					
-34	.9797	1.4647	1.15863	.6827	.8631	346.94	1716.94	1370.00	1.4037	7.1324	7.1324	21.63	21.63	-269.67					
-33.33	1.0133	1.4665	1.12264	.6819	.8908	349.90	1717.96	1368.05	1.4161	7.1206	7.1206	21.02	21.02	-265.23					
-33	1.0302	1.4674	1.10553	.6815	.9045	351.24	1718.46	1367.23	1.4216	7.1148	7.1148	20.74	20.74	-263.07					
-32	1.0828	1.4701	1.05514	.6802	.9477	355.77	1719.95	1364.18	1.4404	7.0974	7.0974	19.82	19.82	-256.52					
-31	1.1376	1.4728	1.00750	.6790	.9926	360.27	1721.43	1361.15	1.4590	7.0801	7.0801	18.93	18.93	-250.04					
-30	1.1946	1.4755	.96244	.6777	1.0390	364.76	1722.89	1358.14	1.4775	7.0631	7.0631	18.06	18.06	-243.62					
-29	1.2538	1.4782	.91979	.6765	1.0872	369.22	1724.35	1355.13	1.4957	7.0462	7.0462	17.23	17.23	-237.26					
-28	1.3154	1.4810	.87941	.6752	1.1371	373.66	1725.80	1352.14	1.5139	7.0294	7.0294	16.41	16.41	-230.96					
-27	1.3795	1.4837	.84117	.6740	1.1888	378.09	1727.24	1349.16	1.5318	7.0129	7.0129	15.63	15.63	-224.72					
-26	1.4460	1.4865	.80492	.6727	1.2424	382.49	1728.67	1346.19	1.5496	6.9965	6.9965	14.86	14.86	-218.53					
-25	1.5150	1.4893	.77048	.6715	1.2979	386.99	1730.08	1343.09	1.5678	6.9802	6.9802	14.11	14.11	-212.40					
-24	1.5867	1.4921	.73781	.6702	1.3554	391.47	1731.48	1340.01	1.5858	6.9641	6.9641	13.37	13.37	-206.33					
-23	1.6611	1.4950	.70681	.6689	1.4148	395.93	1732.87	1336.94	1.6036	6.9481	6.9481	12.66	12.66	-200.32					
-22	1.7382	1.4978	.67731	.6676	1.4764	400.50	1734.24	1333.74	1.6217	6.9323	6.9323	11.96	11.96	-194.35					
-21	1.8182	1.5007	.64937	.6664	1.5400	404.91	1735.61	1330.69	1.6393	6.9166	6.9166	11.30	11.30	-188.45					
-20	1.9011	1.5036	.62275	.6651	1.6058	409.43	1736.95	1327.52	1.6571	6.9011	6.9011	10.65	10.65	-182.59					
-19	1.9870	1.5065	.59745	.6638	1.6738	413.93	1738.29	1324.36	1.6748	6.8857	6.8857	10.02	10.02	-176.79					
-18	2.0760	1.5094	.57340	.6625	1.7440	418.40	1739.62	1321.21	1.6923	6.8705	6.8705	9.41	9.41	-171.05					
-17	2.1681	1.5124	.55046	.6612	1.8167	422.98	1740.92	1317.94	1.7101	6.8553	6.8553	8.81	8.81	-165.35					
-16	2.2634	1.5154	.52869	.6599	1.8915	427.41	1742.22	1314.82	1.7273	6.8404	6.8404	8.25	8.25	-159.71					
-15	2.3620	1.5184	.50790	.6586	1.9689	431.94	1743.51	1311.57	1.7449	6.8255	6.8255	7.70	7.70	-154.12					
-14	2.4640	1.5214	.48811	.6573	2.0487	436.45	1744.78	1308.33	1.7622	6.8108	6.8108	7.17	7.17	-148.57					
-13	2.5695	1.5244	.46926	.6560	2.1310	440.93	1746.04	1305.11	1.7794	6.7962	6.7962	6.67	6.67	-143.08					
-12	2.6785	1.5275	.45124	.6547	2.2161	445.52	1747.28	1301.76	1.7970	6.7817	6.7817	6.17	6.17	-137.64					
-11	2.7912	1.5306	.43408	.6534	2.3037	450.02	1748.51	1298.49	1.8141	6.7673	6.7673	5.70	5.70	-132.25					
-10	2.9075	1.5337	.41770	.6520	2.3941	454.56	1749.72	1295.17	1.8313	6.7531	6.7531	5.25	5.25	-126.90					
-9	3.0277	1.5368	.40206	.6507	2.4872	459.07	1750.93	1291.85	1.8484	6.7390	6.7390	4.82	4.82	-121.61					
-8	3.1517	1.5399	.38712	.6494	2.5832	463.63	1752.11	1288.49	1.8655	6.7250	6.7250	4.40	4.40	-116.36					
-7	3.2797	1.5431	.37286	.6481	2.6820	468.16	1753.29	1285.13	1.8825	6.7111	6.7111	4.01	4.01	-111.15					
-6	3.4117	1.5463	.35923	.6467	2.7837	472.67	1754.45	1281.78	1.8993	6.6973	6.6973	3.63	3.63	-106.00					
-5	3.5479	1.5495	.34619	.6454	2.8885	477.22	1755.60	1278.38	1.9162	6.6837	6.6837	3.28	3.28	-100.89					
-4	3.6883	1.5527	.33372	.6440	2.9965	481.80	1756.72	1274.92	1.9332	6.6701	6.6701	2.94	2.94	-95.83					
-3	3.8331	1.5560	.32179	.6427	3.1076	486.36	1757.84	1271.48	1.9500	6.6566	6.6566	2.62	2.62	-90.81					
-2	3.9822	1.5593	.31038	.6413	3.2219	490.90	1758.94	1268.04	1.9667	6.6433	6.6433	2.32	2.32	-85.84					
-1	4.1359	1.5626	.29945	.6400	3.3395	495.47	1760.03	1264.55	1.9835	6.6300	6.6300	2.03	2.03	-80.91					
0	4.2941	1.5659	.28899	.6386	3.4604	500.02	1761.10	1261.08	2.0001	6.6169	6.6169	1.77	1.77	-76.02					

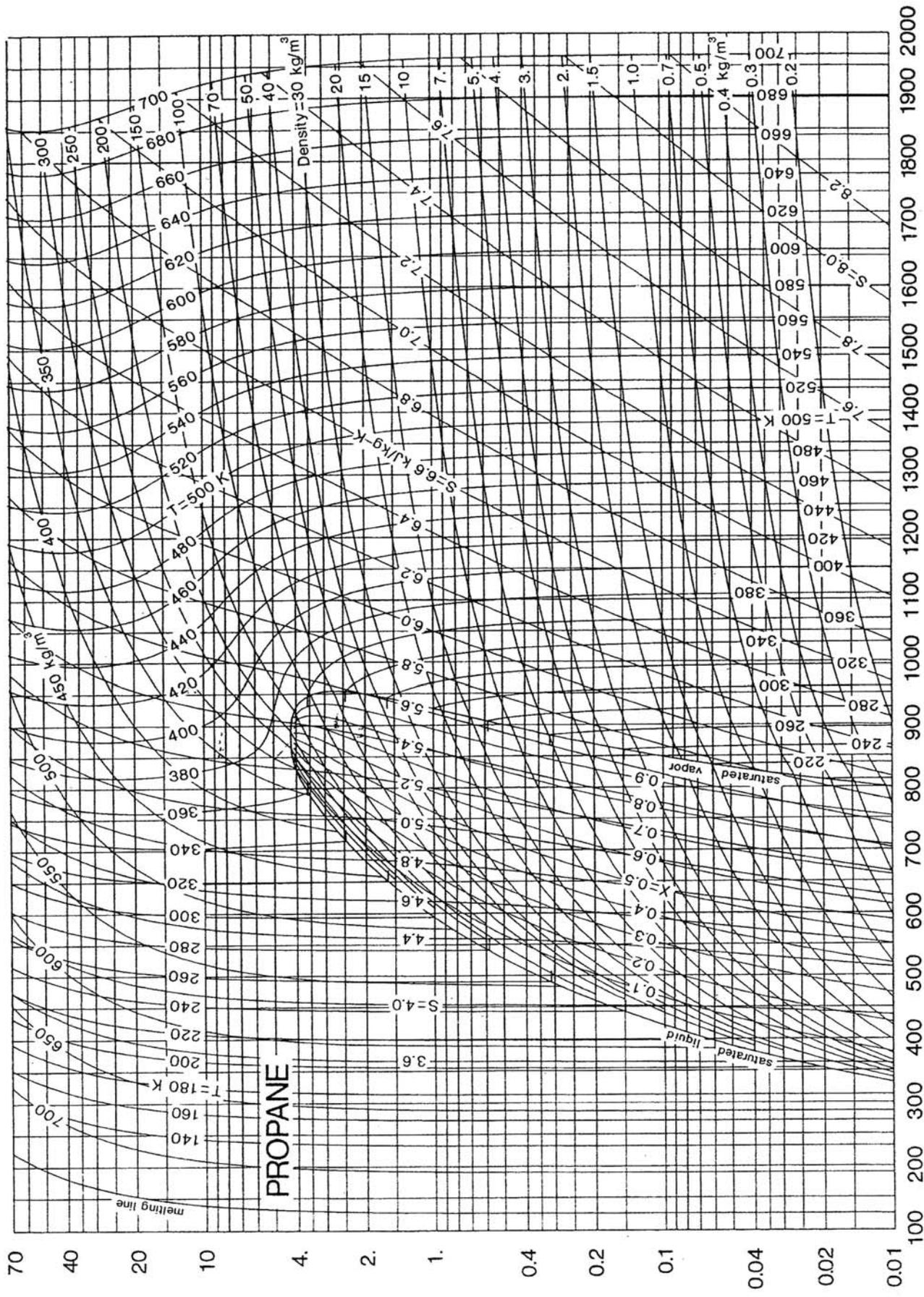
Dampf tabel für das Naßdampfgebiet von Ammoniak (R717) Fortsetzung

Temperatur t °C	Druck p bar	spez. Volum der Flüssigkeit		Dichte der Flüssigkeit		Enthalpie der Flüssigkeit		Enthalpie des Dampfes		der Ver- dampfung r kJ/kg	Entropie der Flüssigkeit		Entropie des Dampfes		Temperatur t °C	Exergie der Flüssigkeit e _l kJ/kg	des Dampfes e _{ll} kJ/kg
		v _l dm ³ /kg	v _l m ³ /kg	q _l kg/dm ³	q _l kg/m ³	h _l kJ/kg	h _{ll} kJ/kg	s _l kJ/kgK	s _{ll} kJ/kgK								
1	4.4571	1.5693	.27896	.6372	3.5848	504.61	1762.15	2.0168	6.6038	1257.54	2.0168	6.6038	1	1.52	-71.18		
2	4.6248	1.5727	.26935	.6359	3.7126	509.18	1763.19	2.0333	6.5909	1254.02	2.0333	6.5909	2	1.30	-66.38		
3	4.7974	1.5761	.26015	.6345	3.8439	513.72	1764.22	2.0497	6.5780	1250.50	2.0497	6.5780	3	1.09	-61.63		
4	4.9750	1.5795	.25132	.6331	3.9790	518.33	1765.23	2.0662	6.5652	1246.90	2.0662	6.5652	4	.90	-56.92		
5	5.1576	1.5830	.24285	.6317	4.1178	522.91	1766.22	2.0826	6.5526	1243.31	2.0826	6.5526	5	.72	-52.25		
6	5.3454	1.5865	.23472	.6303	4.2603	527.50	1767.20	2.0990	6.5400	1239.70	2.0990	6.5400	6	.57	-47.62		
7	5.5385	1.5900	.22693	.6289	4.4067	532.07	1768.17	2.1152	6.5275	1236.09	2.1152	6.5275	7	.43	-43.03		
8	5.7370	1.5936	.21944	.6275	4.5570	536.68	1769.11	2.1315	6.5151	1232.43	2.1315	6.5151	8	.31	-38.49		
9	5.9409	1.5972	.21225	.6261	4.7114	541.29	1770.04	2.1478	6.5027	1228.75	2.1478	6.5027	9	.20	-33.98		
10	6.1503	1.6008	.20535	.6247	4.8698	545.88	1770.96	2.1639	6.4905	1225.08	2.1639	6.4905	10	.12	-29.52		
11	6.3655	1.6044	.19871	.6233	5.0325	550.50	1771.85	2.1801	6.4783	1221.35	2.1801	6.4783	11	.05	-25.09		
12	6.5864	1.6081	.19233	.6219	5.1993	555.10	1772.74	2.1961	6.4663	1217.63	2.1961	6.4663	12	.00	-20.71		
13	6.8132	1.6118	.18620	.6204	5.3705	559.71	1773.60	2.2121	6.4543	1213.89	2.2121	6.4543	13	-.03	-16.36		
14	7.0459	1.6155	.18030	.6190	5.5463	564.35	1774.45	2.2282	6.4423	1210.09	2.2282	6.4423	14	-.05	-12.06		
15	7.2848	1.6193	.17463	.6176	5.7264	568.97	1775.28	2.2441	6.4305	1206.31	2.2441	6.4305	15	-.05	- 7.79		
16	7.5298	1.6231	.16917	.6161	5.9111	573.60	1776.09	2.2600	6.4187	1202.49	2.2600	6.4187	16	-.03	- 3.56		
17	7.7811	1.6269	.16392	.6147	6.1007	578.26	1776.88	2.2760	6.4070	1198.62	2.2760	6.4070	17	.01	.63		
18	8.0388	1.6308	.15886	.6132	6.2949	582.90	1777.66	2.2918	6.3954	1194.77	2.2918	6.3954	18	.06	4.78		
19	8.3029	1.6347	.15399	.6117	6.4940	587.54	1778.42	2.3075	6.3838	1190.88	2.3075	6.3838	19	.13	8.89		
20	8.5737	1.6386	.14930	.6103	6.6981	592.19	1779.17	2.3233	6.3723	1186.97	2.3233	6.3723	20	.21	12.97		
21	8.8513	1.6426	.14478	.6088	6.9072	596.85	1779.89	2.3390	6.3609	1183.04	2.3390	6.3609	21	.32	17.01		
22	9.1356	1.6466	.14042	.6073	7.1215	601.51	1780.60	2.3547	6.3495	1179.09	2.3547	6.3495	22	.44	21.01		
23	9.4269	1.6507	.13622	.6058	7.3411	606.18	1781.29	2.3703	6.3382	1175.10	2.3703	6.3382	23	.57	24.98		
24	9.7252	1.6547	.13217	.6043	7.5659	610.85	1781.96	2.3858	6.3270	1171.12	2.3858	6.3270	24	.73	28.90		
25	10.0307	1.6589	.12827	.6028	7.7962	615.51	1782.62	2.4013	6.3158	1167.10	2.4013	6.3158	25	.89	32.80		
26	10.3434	1.6630	.12450	.6013	8.0321	620.20	1783.25	2.4169	6.3047	1163.05	2.4169	6.3047	26	1.08	36.65		
27	10.6635	1.6672	.12086	.5998	8.2737	624.90	1783.86	2.4324	6.2936	1158.97	2.4324	6.2936	27	1.28	40.48		
28	10.9911	1.6714	.11736	.5983	8.5211	629.60	1784.46	2.4478	6.2826	1154.86	2.4478	6.2826	28	1.50	44.26		
29	11.3263	1.6757	.11397	.5968	8.7744	634.30	1785.03	2.4632	6.2717	1150.73	2.4632	6.2717	29	1.74	48.01		
30	11.6693	1.6800	.11070	.5952	9.0337	639.01	1785.59	2.4786	6.2608	1146.57	2.4786	6.2608	30	1.99	51.73		
31	12.0201	1.6844	.10754	.5937	9.2991	643.73	1786.12	2.4940	6.2500	1142.39	2.4940	6.2500	31	2.26	55.41		
32	12.3788	1.6888	.10449	.5921	9.5707	648.46	1786.64	2.5093	6.2392	1138.18	2.5093	6.2392	32	2.54	59.05		
33	12.7456	1.6933	.10154	.5906	9.8487	653.19	1787.14	2.5245	6.2284	1133.95	2.5245	6.2284	33	2.85	62.66		
34	13.1205	1.6978	.09869	.5890	10.1332	657.93	1787.61	2.5398	6.2177	1129.69	2.5398	6.2177	34	3.16	66.24		
35	13.5038	1.7023	.09593	.5874	10.4242	662.67	1788.07	2.5550	6.2071	1125.40	2.5550	6.2071	35	3.50	69.78		
36	13.8955	1.7069	.09327	.5859	10.7220	667.42	1788.50	2.5702	6.1965	1121.08	2.5702	6.1965	36	3.85	73.29		
37	14.2958	1.7115	.09069	.5843	11.0266	672.18	1788.92	2.5853	6.1859	1116.74	2.5853	6.1859	37	4.21	76.77		
38	14.7047	1.7162	.08820	.5827	11.3384	676.95	1789.31	2.6004	6.1754	1112.36	2.6004	6.1754	38	4.59	80.21		
39	15.1223	1.7210	.08578	.5811	11.6572	681.74	1789.68	2.6156	6.1650	1107.94	2.6156	6.1650	39	4.99	83.61		
40	15.5489	1.7257	.08345	.5795	11.9832	686.51	1790.03	2.6306	6.1545	1103.52	2.6306	6.1545	40	5.41	86.99		

Dampf tabel für das Naßdampfgebiet von Ammoniak (R717) Fortsetzung

Temperatur t °C	Druck p bar	spez. Volum der Flüssigkeit		Dichte der Flüssigkeit		Enthalpie der Flüssigkeit		des Dampfes		der Ver- dampfung r kJ/kg	Entropie der Flüssigkeit		des Dampfes		Temperatur t °C	Exergie der Flüssigkeit e ^l kJ/kg	des Dampfes e ^{ll} kJ/kg
		v ^l dm ³ /kg	v ^l m ³ /kg	q ^l kg/dm ³	q ^l kg/m ³	h ^l kJ/kg	h ^{ll} kJ/kg	s ^l kJ/kgK	s ^{ll} kJ/kgK								
1	4.4571	1.5693	.27896	.6372	3.5848	504.61	1762.15	6.6038	2.0168	1257.54	6.6038	2.0168	6.6038	2.0168	1	1.52	-71.18
2	4.6248	1.5727	.26935	.6359	3.7126	509.18	1763.19	6.5909	2.0333	1254.02	6.5909	2.0333	6.5909	2.0333	2	1.30	-66.38
3	4.7974	1.5761	.26015	.6345	3.8439	513.72	1764.22	6.5780	2.0497	1250.50	6.5780	2.0497	6.5780	2.0497	3	1.09	-61.63
4	4.9750	1.5795	.25132	.6331	3.9790	518.33	1765.23	6.5652	2.0662	1246.90	6.5652	2.0662	6.5652	2.0662	4	.90	-56.92
5	5.1576	1.5830	.24285	.6317	4.1178	522.91	1766.22	6.5526	2.0826	1243.31	6.5526	2.0826	6.5526	2.0826	5	.72	-52.25
6	5.3454	1.5865	.23472	.6303	4.2603	527.50	1767.20	6.5400	2.0990	1239.70	6.5400	2.0990	6.5400	2.0990	6	.57	-47.62
7	5.5385	1.5900	.22693	.6289	4.4067	532.07	1768.17	6.5275	2.1152	1236.09	6.5275	2.1152	6.5275	2.1152	7	.43	-43.03
8	5.7370	1.5936	.21944	.6275	4.5570	536.68	1769.11	6.5151	2.1315	1232.43	6.5151	2.1315	6.5151	2.1315	8	.31	-38.49
9	5.9409	1.5972	.21225	.6261	4.7114	541.29	1770.04	6.5027	2.1478	1228.75	6.5027	2.1478	6.5027	2.1478	9	.20	-33.98
10	6.1503	1.6008	.20535	.6247	4.8698	545.88	1770.96	6.4905	2.1639	1225.08	6.4905	2.1639	6.4905	2.1639	10	.12	-29.52
11	6.3655	1.6044	.19871	.6233	5.0325	550.50	1771.85	6.4783	2.1801	1221.35	6.4783	2.1801	6.4783	2.1801	11	.05	-25.09
12	6.5864	1.6081	.19233	.6219	5.1993	555.10	1772.74	6.4663	2.1961	1217.63	6.4663	2.1961	6.4663	2.1961	12	.00	-20.71
13	6.8132	1.6118	.18620	.6204	5.3705	559.71	1773.60	6.4543	2.2121	1213.89	6.4543	2.2121	6.4543	2.2121	13	-.03	-16.36
14	7.0459	1.6155	.18030	.6190	5.5463	564.35	1774.45	6.4423	2.2282	1210.09	6.4423	2.2282	6.4423	2.2282	14	-.05	-12.06
15	7.2848	1.6193	.17463	.6176	5.7264	568.97	1775.28	6.4305	2.2441	1206.31	6.4305	2.2441	6.4305	2.2441	15	-.05	-7.79
16	7.5298	1.6231	.16917	.6161	5.9111	573.60	1776.09	6.4187	2.2600	1202.49	6.4187	2.2600	6.4187	2.2600	16	-.03	-3.56
17	7.7811	1.6269	.16392	.6147	6.1007	578.26	1776.88	6.4070	2.2760	1198.62	6.4070	2.2760	6.4070	2.2760	17	.01	.63
18	8.0388	1.6308	.15886	.6132	6.2949	582.90	1777.66	6.3954	2.2918	1194.77	6.3954	2.2918	6.3954	2.2918	18	.06	4.78
19	8.3029	1.6347	.15399	.6117	6.4940	587.54	1778.42	6.3838	2.3075	1190.88	6.3838	2.3075	6.3838	2.3075	19	.13	8.89
20	8.5737	1.6386	.14930	.6103	6.6981	592.19	1779.17	6.3723	2.3233	1186.97	6.3723	2.3233	6.3723	2.3233	20	.21	12.97
21	8.8513	1.6426	.14478	.6088	6.9072	596.85	1779.89	6.3609	2.3390	1183.04	6.3609	2.3390	6.3609	2.3390	21	.32	17.01
22	9.1356	1.6466	.14042	.6073	7.1215	601.51	1780.60	6.3495	2.3547	1179.09	6.3495	2.3547	6.3495	2.3547	22	.44	21.01
23	9.4269	1.6507	.13622	.6058	7.3411	606.18	1781.29	6.3382	2.3703	1175.10	6.3382	2.3703	6.3382	2.3703	23	.57	24.98
24	9.7252	1.6547	.13217	.6043	7.5659	610.85	1781.96	6.3270	2.3858	1171.12	6.3270	2.3858	6.3270	2.3858	24	.73	28.90
25	10.0307	1.6589	.12827	.6028	7.7962	615.51	1782.62	6.3158	2.4013	1167.10	6.3158	2.4013	6.3158	2.4013	25	.89	32.80
26	10.3434	1.6630	.12450	.6013	8.0321	620.20	1783.25	6.3047	2.4169	1163.05	6.3047	2.4169	6.3047	2.4169	26	1.08	36.65
27	10.6635	1.6672	.12086	.5998	8.2737	624.90	1783.86	6.2936	2.4324	1158.97	6.2936	2.4324	6.2936	2.4324	27	1.28	40.48
28	10.9911	1.6714	.11736	.5983	8.5211	629.60	1784.46	6.2826	2.4478	1154.86	6.2826	2.4478	6.2826	2.4478	28	1.50	44.26
29	11.3263	1.6757	.11397	.5968	8.7744	634.30	1785.03	6.2717	2.4632	1150.73	6.2717	2.4632	6.2717	2.4632	29	1.74	48.01
30	11.6693	1.6800	.11070	.5952	9.0337	639.01	1785.59	6.2608	2.4786	1146.57	6.2608	2.4786	6.2608	2.4786	30	1.99	51.73
31	12.0201	1.6844	.10754	.5937	9.2991	643.73	1786.12	6.2500	2.4940	1142.39	6.2500	2.4940	6.2500	2.4940	31	2.26	55.41
32	12.3788	1.6888	.10449	.5921	9.5707	648.46	1786.64	6.2392	2.5093	1138.18	6.2392	2.5093	6.2392	2.5093	32	2.54	59.05
33	12.7456	1.6933	.10154	.5906	9.8487	653.19	1787.14	6.2284	2.5245	1133.95	6.2284	2.5245	6.2284	2.5245	33	2.85	62.66
34	13.1205	1.6978	.09869	.5890	10.1332	657.93	1787.61	6.2177	2.5398	1129.69	6.2177	2.5398	6.2177	2.5398	34	3.16	66.24
35	13.5038	1.7023	.09593	.5874	10.4242	662.67	1788.07	6.2071	2.5550	1125.40	6.2071	2.5550	6.2071	2.5550	35	3.50	69.78
36	13.8955	1.7069	.09327	.5859	10.7220	667.42	1788.50	6.1965	2.5702	1121.08	6.1965	2.5702	6.1965	2.5702	36	3.85	73.29
37	14.2958	1.7115	.09069	.5843	11.0266	672.18	1788.92	6.1859	2.5853	1116.74	6.1859	2.5853	6.1859	2.5853	37	4.21	76.77
38	14.7047	1.7162	.08820	.5827	11.3384	676.95	1789.31	6.1754	2.6004	1112.36	6.1754	2.6004	6.1754	2.6004	38	4.59	80.21
39	15.1223	1.7210	.08578	.5811	11.6572	681.74	1789.68	6.1650	2.6156	1107.94	6.1650	2.6156	6.1650	2.6156	39	4.99	83.61
40	15.5489	1.7257	.08345	.5795	11.9832	686.51	1790.03	6.1545	2.6306	1103.52	6.1545	2.6306	6.1545	2.6306	40	5.41	86.99

h,log p-Diagramm für Propan (R290)



ENTHALPY (kJ/kg)

Prepared by: CENTER FOR APPLIED THERMODYNAMIC STUDIES, University of Idaho
 COPYRIGHT 1985 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS

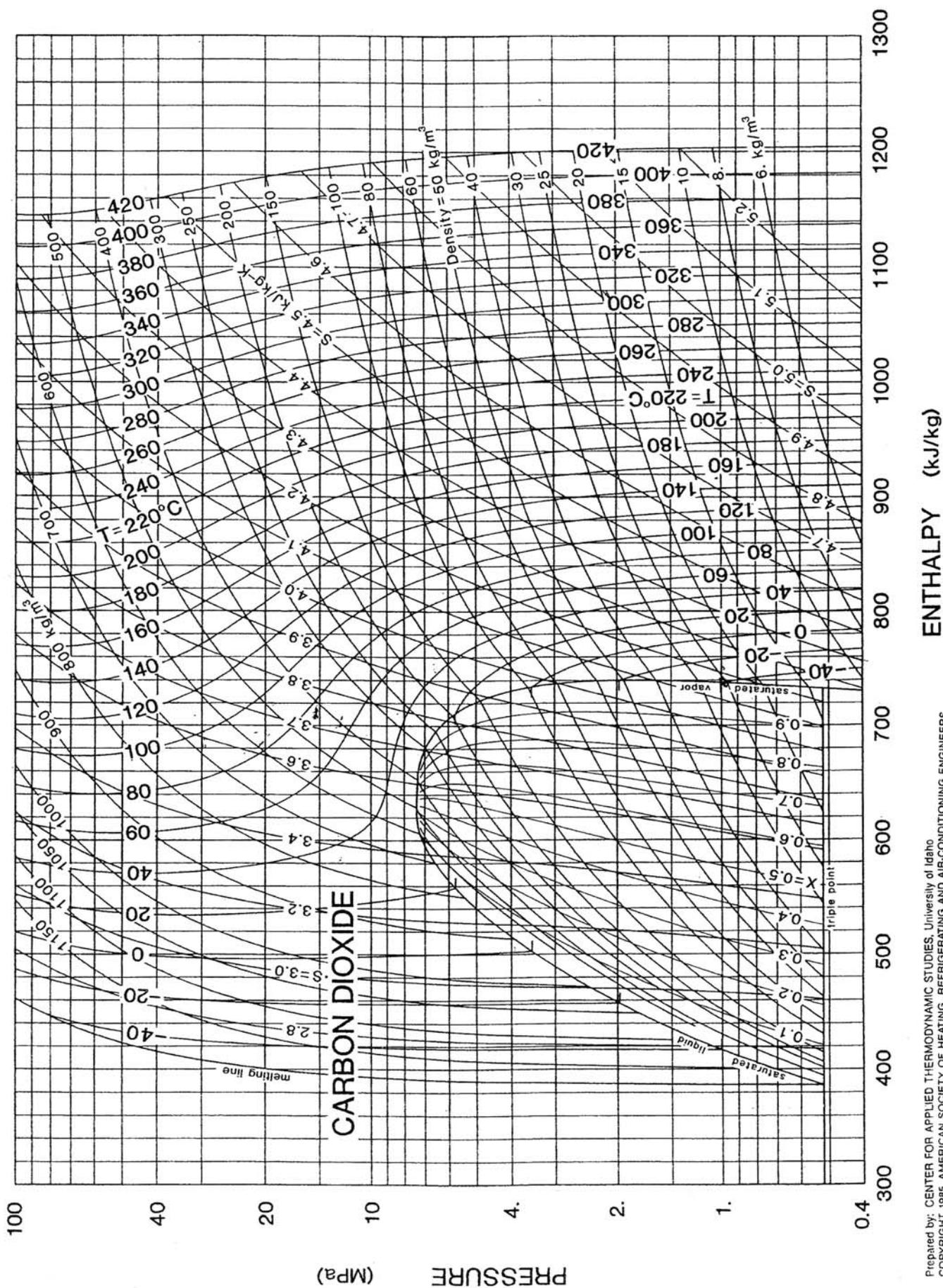
Dampftafel für das Naßdampfgebiet von Propan (R290)

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
-60	0,042605	601,68	1,0822	60,434	504,36	0,42792	2,5106
-59	0,044911	600,57	1,1364	62,607	505,56	0,43807	2,5065
-58	0,047316	599,47	1,1926	64,784	506,76	0,44819	2,5025
-57	0,049822	598,36	1,2511	66,965	507,96	0,45829	2,4985
-56	0,052433	597,24	1,3117	69,15	509,16	0,46836	2,4947
-55	0,055151	596,13	1,3746	71,34	510,36	0,4784	2,4909
-54	0,057979	595,01	1,4398	73,534	511,57	0,48841	2,4872
-53	0,060922	593,89	1,5074	75,733	512,77	0,4984	2,4836
-52	0,063981	592,76	1,5775	77,936	513,97	0,50836	2,48
-51	0,06716	591,63	1,65	80,144	515,17	0,51829	2,4765
-50	0,070462	590,5	1,7252	82,356	516,37	0,5282	2,4731
-49	0,073891	589,37	1,8029	84,572	517,57	0,53809	2,4698
-48	0,07745	588,23	1,8834	86,794	518,77	0,54795	2,4666
-47	0,081143	587,09	1,9666	89,02	519,97	0,55779	2,4634
-46	0,084971	585,95	2,0526	91,251	521,17	0,5676	2,4603
-45	0,088941	584,8	2,1415	93,487	522,36	0,57739	2,4572
-44	0,093053	583,65	2,2333	95,727	523,56	0,58716	2,4542
-43	0,097313	582,49	2,3282	97,973	524,76	0,59691	2,4513
-42	0,10172	581,34	2,4261	100,22	525,95	0,60663	2,4484
-41	0,10629	580,17	2,5272	102,48	527,15	0,61634	2,4456
-40	0,11101	579,01	2,6315	104,74	528,34	0,62602	2,4429
-39	0,1159	577,84	2,7391	107,01	529,54	0,63568	2,4402
-38	0,12095	576,67	2,85	109,28	530,73	0,64532	2,4376
-37	0,12616	575,49	2,9644	111,55	531,92	0,65494	2,435
-36	0,13155	574,31	3,0823	113,83	533,11	0,66454	2,4325
-35	0,13712	573,13	3,2037	116,12	534,3	0,67413	2,4301
-34	0,14287	571,94	3,3289	118,41	535,48	0,68369	2,4277
-33	0,1488	570,75	3,4577	120,71	536,67	0,69323	2,4253
-32	0,15492	569,55	3,5903	123,01	537,85	0,70276	2,423
-31	0,16123	568,35	3,7268	125,32	539,04	0,71227	2,4208
-30	0,16774	567,15	3,8673	127,64	540,22	0,72176	2,4186
-29	0,17445	565,94	4,0118	129,96	541,4	0,73124	2,4164
-28	0,18136	564,73	4,1605	132,28	542,58	0,74069	2,4143
-27	0,18848	563,51	4,3133	134,62	543,75	0,75013	2,4123
-26	0,19581	562,29	4,4704	136,95	544,93	0,75956	2,4103
-25	0,20336	561,06	4,6319	139,3	546,1	0,76897	2,4083
-24	0,21113	559,83	4,7978	141,65	547,28	0,77836	2,4064
-23	0,21912	558,6	4,9683	144	548,45	0,78774	2,4045
-22	0,22734	557,36	5,1434	146,36	549,61	0,7971	2,4027
-21	0,23579	556,11	5,3232	148,73	550,78	0,80645	2,4009
-20	0,24448	554,86	5,5078	151,11	551,94	0,81579	2,3992
-19	0,25341	553,61	5,6973	153,49	553,1	0,82511	2,3975
-18	0,26258	552,35	5,8918	155,87	554,26	0,83442	2,3958
-17	0,27201	551,08	6,0914	158,27	555,42	0,84371	2,3942
-16	0,28168	549,81	6,2962	160,67	556,58	0,853	2,3926
-15	0,29162	548,54	6,5062	163,07	557,73	0,86227	2,391
-14	0,30182	547,26	6,7216	165,49	558,88	0,87152	2,3895
-13	0,31228	545,97	6,9426	167,91	560,03	0,88077	2,3881
-12	0,32302	544,68	7,169	170,33	561,17	0,89	2,3866
-11	0,33403	543,38	7,4012	172,77	562,31	0,89922	2,3852
-10	0,34532	542,08	7,6392	175,21	563,45	0,90843	2,3838
-9	0,35689	540,77	7,8831	177,65	564,59	0,91763	2,3825
-8	0,36876	539,45	8,133	180,11	565,72	0,92682	2,3812
-7	0,38091	538,13	8,389	182,57	566,85	0,936	2,3799
-6	0,39337	536,81	8,6513	185,04	567,98	0,94517	2,3786
-5	0,40612	535,47	8,9199	187,51	569,1	0,95433	2,3774
-4	0,41919	534,13	9,195	189,99	570,22	0,96348	2,3762
-3	0,43256	532,79	9,4768	192,48	571,34	0,97263	2,375
-2	0,44625	531,44	9,7652	194,98	572,46	0,98176	2,3739
-1	0,46026	530,08	10,061	197,49	573,57	0,99088	2,3728
0	0,47459	528,71	10,363	200	574,67	1	2,3717
1	0,48926	527,34	10,672	202,52	575,78	1,0091	2,3706
2	0,50426	525,97	10,989	205,05	576,87	1,0182	2,3696
3	0,51959	524,58	11,313	207,58	577,97	1,0273	2,3685
4	0,53527	523,19	11,645	210,13	579,06	1,0364	2,3676
5	0,5513	521,79	11,984	212,68	580,15	1,0455	2,3666
6	0,56768	520,38	12,331	215,24	581,23	1,0545	2,3656
7	0,58442	518,97	12,686	217,81	582,31	1,0636	2,3647
8	0,60152	517,55	13,049	220,38	583,38	1,0727	2,3638
9	0,61899	516,12	13,421	222,97	584,45	1,0817	2,3629
10	0,63683	514,68	13,801	225,56	585,51	1,0908	2,362
11	0,65505	513,23	14,19	228,16	586,57	1,0998	2,3612
12	0,67365	511,78	14,587	230,77	587,62	1,1089	2,3603
13	0,69263	510,32	14,994	233,39	588,67	1,1179	2,3595
14	0,71201	508,85	15,409	236,02	589,71	1,1269	2,3587
15	0,73178	507,37	15,834	238,66	590,75	1,136	2,3579
16	0,75195	505,88	16,269	241,3	591,78	1,145	2,3571
17	0,77253	504,39	16,713	243,96	592,81	1,154	2,3563
18	0,79352	502,88	17,167	246,62	593,83	1,163	2,3556
19	0,81492	501,37	17,632	249,29	594,84	1,1721	2,3548
20	0,83675	499,85	18,107	251,98	595,85	1,1811	2,3541

Dampftafel für das Naßdampfgebiet von Propan (R290) Fortsetzung

21	0,859	498,31	18,592	254,67	596,85	1,1901	2,3534
22	0,88168	496,77	19,089	257,37	597,85	1,1991	2,3527
23	0,9048	495,22	19,596	260,08	598,83	1,2081	2,352
24	0,92836	493,65	20,115	262,8	599,81	1,2171	2,3513
25	0,95237	492,08	20,646	265,53	600,78	1,2262	2,3506
26	0,97683	490,5	21,188	268,28	601,75	1,2352	2,3499
27	1,0017	488,9	21,742	271,03	602,71	1,2442	2,3492
28	1,0271	487,3	22,309	273,79	603,66	1,2532	2,3486
29	1,053	485,68	22,889	276,56	604,6	1,2622	2,3479
30	1,0793	484,05	23,482	279,35	605,53	1,2712	2,3472
31	1,1061	482,41	24,088	282,14	606,45	1,2803	2,3465
32	1,1333	480,76	24,707	284,95	607,37	1,2893	2,3459
33	1,1611	479,1	25,341	287,77	608,28	1,2983	2,3452
34	1,1894	477,42	25,989	290,59	609,17	1,3073	2,3445
35	1,2181	475,73	26,652	293,43	610,06	1,3164	2,3439
36	1,2474	474,03	27,33	296,29	610,93	1,3254	2,3432
37	1,2772	472,31	28,024	299,15	611,8	1,3345	2,3425
38	1,3075	470,58	28,733	302,03	612,65	1,3435	2,3418
39	1,3383	468,83	29,459	304,92	613,5	1,3526	2,3411
40	1,3696	467,07	30,202	307,82	614,33	1,3616	2,3404
41	1,4015	465,3	30,962	310,73	615,15	1,3707	2,3397
42	1,4339	463,5	31,74	313,66	615,96	1,3798	2,339
43	1,4669	461,69	32,536	316,6	616,75	1,3889	2,3383
44	1,5004	459,87	33,352	319,56	617,54	1,398	2,3375
45	1,5344	458,03	34,186	322,52	618,3	1,4071	2,3368
46	1,5691	456,17	35,041	325,51	619,06	1,4162	2,336
47	1,6043	454,29	35,917	328,51	619,8	1,4254	2,3352
48	1,64	452,39	36,814	331,52	620,52	1,4345	2,3344
49	1,6764	450,47	37,733	334,55	621,23	1,4437	2,3336
50	1,7133	448,53	38,674	337,59	621,92	1,4529	2,3327
51	1,7509	446,57	39,64	340,65	622,6	1,4621	2,3319
52	1,789	444,59	40,63	343,73	623,26	1,4713	2,331
53	1,8278	442,58	41,645	346,83	623,9	1,4805	2,33
54	1,8671	440,55	42,686	349,94	624,52	1,4898	2,3291
55	1,9071	438,5	43,755	353,07	625,12	1,499	2,3281
56	1,9477	436,42	44,852	356,22	625,7	1,5083	2,3271
57	1,989	434,31	45,978	359,39	626,26	1,5177	2,326
58	2,0308	432,17	47,135	362,58	626,8	1,527	2,3249
59	2,0734	430,01	48,323	365,79	627,31	1,5364	2,3238
60	2,1166	427,81	49,545	369,02	627,8	1,5458	2,3226
61	2,1604	425,58	50,801	372,27	628,26	1,5553	2,3214
62	2,205	423,31	52,094	375,55	628,7	1,5647	2,3201
63	2,2502	421,01	53,424	378,85	629,11	1,5742	2,3187
64	2,2961	418,67	54,794	382,17	629,49	1,5838	2,3174
65	2,3427	416,3	56,206	385,52	629,84	1,5934	2,3159
66	2,39	413,87	57,661	388,9	630,15	1,603	2,3144
67	2,438	411,41	59,161	392,3	630,44	1,6127	2,3128
68	2,4867	408,89	60,711	395,74	630,68	1,6224	2,3111
69	2,5362	406,33	62,311	399,21	630,89	1,6322	2,3094
70	2,5864	403,71	63,966	402,71	631,06	1,6421	2,3076
71	2,6374	401,04	65,677	406,24	631,19	1,652	2,3056
72	2,6891	398,3	67,45	409,81	631,27	1,662	2,3036
73	2,7416	395,5	69,287	413,42	631,3	1,672	2,3015
74	2,7948	392,63	71,193	417,07	631,28	1,6822	2,2992
75	2,8489	389,69	73,174	420,76	631,2	1,6924	2,2969
76	2,9038	386,66	75,234	424,49	631,07	1,7027	2,2944
77	2,9594	383,55	77,379	428,28	630,87	1,7131	2,2917
78	3,0159	380,34	79,618	432,12	630,6	1,7237	2,2889
79	3,0733	377,03	81,957	436,02	630,26	1,7343	2,2859
80	3,1315	373,61	84,406	439,98	629,84	1,7451	2,2827
81	3,1905	370,06	86,976	444	629,33	1,756	2,2793
82	3,2505	366,37	89,679	448,1	628,71	1,7671	2,2757
83	3,3113	362,54	92,53	452,28	627,99	1,7784	2,2718
84	3,3731	358,53	95,546	456,55	627,15	1,7899	2,2676
85	3,4357	354,32	98,749	460,92	626,17	1,8016	2,263
86	3,4994	349,9	102,17	465,41	625,03	1,8136	2,2581
87	3,564	345,22	105,83	470,03	623,71	1,826	2,2527
88	3,6297	340,24	109,78	474,8	622,18	1,8387	2,2467
89	3,6963	334,9	114,08	479,76	620,4	1,8518	2,2402
90	3,764	329,11	118,8	484,94	618,31	1,8656	2,2328

h,log p-Diagramm für CO₂ (R744)

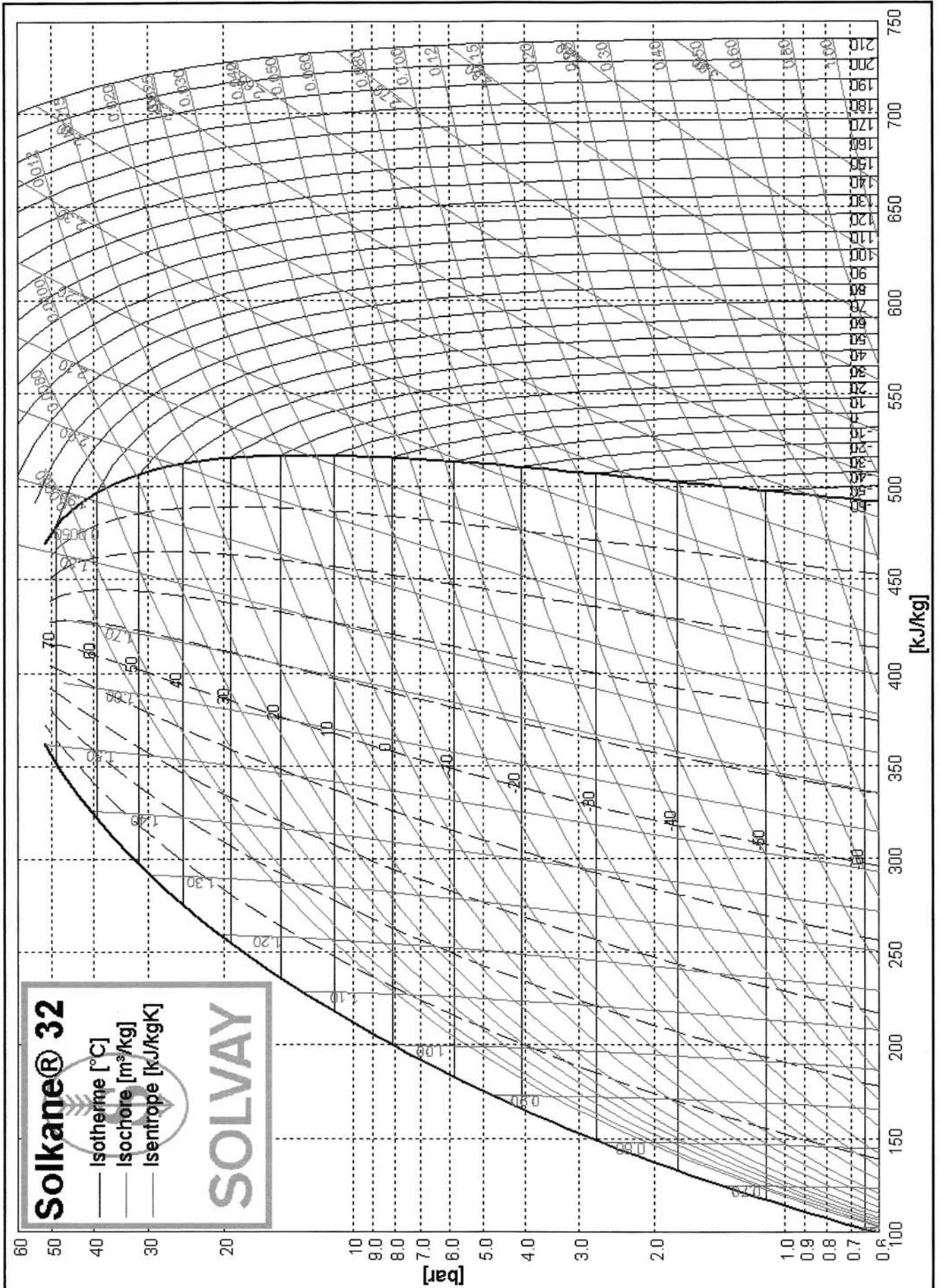


Prepared by: CENTER FOR APPLIED THERMODYNAMIC STUDIES, University of Idaho
 COPYRIGHT 1985 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS

Dampftafel für das Naßdampfgebiet von CO₂ (R744)

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
-50	0,68234	1154,6	17,925	92,943	432,68	0,57939	2,1018
-49	0,71049	1150,8	18,638	94,922	432,99	0,58813	2,0963
-48	0,73949	1147,1	19,373	96,905	433,29	0,59684	2,0909
-47	0,76937	1143,4	20,131	98,891	433,58	0,60553	2,0855
-46	0,80015	1139,6	20,912	100,88	433,86	0,61418	2,0801
-45	0,83184	1135,8	21,717	102,87	434,13	0,62282	2,0747
-44	0,86445	1132	22,547	104,87	434,39	0,63143	2,0694
-43	0,898	1128,1	23,401	106,87	434,64	0,64001	2,0642
-42	0,93252	1124,2	24,281	108,88	434,88	0,64858	2,0589
-41	0,96801	1120,3	25,187	110,89	435,11	0,65712	2,0537
-40	1,0045	1116,4	26,121	112,9	435,32	0,66564	2,0485
-39	1,042	1112,5	27,082	114,92	435,53	0,67413	2,0434
-38	1,0805	1108,5	28,071	116,95	435,72	0,68261	2,0382
-37	1,1201	1104,5	29,089	118,98	435,9	0,69107	2,0331
-36	1,1607	1100,5	30,137	121,01	436,07	0,69951	2,0281
-35	1,2024	1096,4	31,216	123,05	436,23	0,70794	2,023
-34	1,2452	1092,4	32,326	125,1	436,37	0,71634	2,018
-33	1,2891	1088,3	33,469	127,15	436,51	0,72474	2,0129
-32	1,3342	1084,1	34,644	129,2	436,62	0,73311	2,0079
-31	1,3804	1079,9	35,854	131,27	436,73	0,74148	2,0029
-30	1,4278	1075,7	37,098	133,34	436,82	0,74982	1,998
-29	1,4763	1071,5	38,378	135,41	436,9	0,75816	1,993
-28	1,5261	1067,2	39,696	137,5	436,96	0,76649	1,988
-27	1,577	1062,9	41,051	139,59	437,01	0,77481	1,9831
-26	1,6293	1058,6	42,445	141,69	437,04	0,78311	1,9781
-25	1,6827	1054,2	43,88	143,79	437,06	0,79141	1,9732
-24	1,7375	1049,8	45,356	145,91	437,06	0,79971	1,9683
-23	1,7935	1045,3	46,875	148,03	437,04	0,80799	1,9633
-22	1,8509	1040,8	48,437	150,16	437,01	0,81627	1,9584
-21	1,9096	1036,3	50,045	152,3	436,96	0,82455	1,9535
-20	1,9696	1031,7	51,7	154,45	436,89	0,83283	1,9485
-19	2,031	1027	53,402	156,61	436,81	0,8411	1,9436
-18	2,0938	1022,3	55,155	158,77	436,7	0,84937	1,9386
-17	2,1581	1017,6	56,959	160,95	436,58	0,85765	1,9337
-16	2,2237	1012,8	58,816	163,14	436,44	0,86593	1,9287
-15	2,2908	1008	60,728	165,34	436,27	0,87421	1,9237
-14	2,3593	1003,1	62,697	167,55	436,09	0,88249	1,9187
-13	2,4294	998,14	64,725	169,78	435,89	0,89078	1,9137
-12	2,501	993,13	66,814	172,01	435,66	0,89908	1,9086
-11	2,574	988,06	68,967	174,26	435,41	0,90739	1,9036
-10	2,6487	982,93	71,185	176,52	435,14	0,91571	1,8985
-9	2,7249	977,73	73,471	178,8	434,84	0,92405	1,8934
-8	2,8027	972,46	75,829	181,09	434,51	0,9324	1,8882
-7	2,8821	967,12	78,261	183,39	434,17	0,94076	1,883
-6	2,9632	961,7	80,77	185,71	433,79	0,94915	1,8778
-5	3,0459	956,21	83,359	188,05	433,38	0,95756	1,8725
-4	3,1303	950,63	86,032	190,4	432,95	0,96599	1,8672
-3	3,2164	944,97	88,794	192,77	432,48	0,97444	1,8618
-2	3,3042	939,22	91,647	195,16	431,99	0,98293	1,8563
-1	3,3938	933,38	94,596	197,57	431,46	0,99145	1,8509
0	3,4851	927,43	97,647	200	430,89	1	1,8453
1	3,5783	921,38	100,8	202,45	430,29	1,0086	1,8397
2	3,6733	915,23	104,07	204,93	429,65	1,0172	1,834
3	3,7701	908,95	107,46	207,43	428,97	1,0259	1,8282
4	3,8688	902,56	110,98	209,95	428,25	1,0346	1,8223
5	3,9695	896,03	114,62	212,5	427,48	1,0434	1,8163
6	4,072	889,36	118,41	215,08	426,67	1,0523	1,8102
7	4,1765	882,55	122,34	217,69	425,81	1,0612	1,8041
8	4,2831	875,58	126,44	220,34	424,89	1,0702	1,7977
9	4,3916	868,44	130,71	223,01	423,92	1,0792	1,7913
10	4,5022	861,12	135,16	225,73	422,88	1,0884	1,7847
11	4,6149	853,6	139,8	228,49	421,79	1,0976	1,7779
12	4,7297	845,87	144,67	231,29	420,62	1,107	1,771
13	4,8466	837,91	149,76	234,13	419,37	1,1165	1,7638
14	4,9658	829,7	155,11	237,03	418,05	1,1261	1,7565
15	5,0871	821,21	160,73	239,99	416,64	1,1359	1,7489
16	5,2108	812,41	166,66	243,01	415,12	1,1458	1,7411
17	5,3368	803,27	172,93	246,1	413,5	1,1559	1,7329
18	5,4651	793,76	179,57	249,26	411,76	1,1663	1,7244
19	5,5958	783,81	186,64	252,52	409,89	1,1769	1,7155
20	5,7291	773,39	194,2	255,87	407,87	1,1877	1,7062
21	5,8648	762,4	202,32	259,33	405,67	1,1989	1,6964
22	6,0031	750,77	211,08	262,93	403,26	1,2105	1,686
23	6,144	738,36	220,62	266,68	400,63	1,2225	1,6749
24	6,2877	725,02	231,1	270,61	397,7	1,2352	1,6629
25	6,4342	710,5	242,73	274,78	394,43	1,2485	1,6498

h,log p-Diagramm für R32

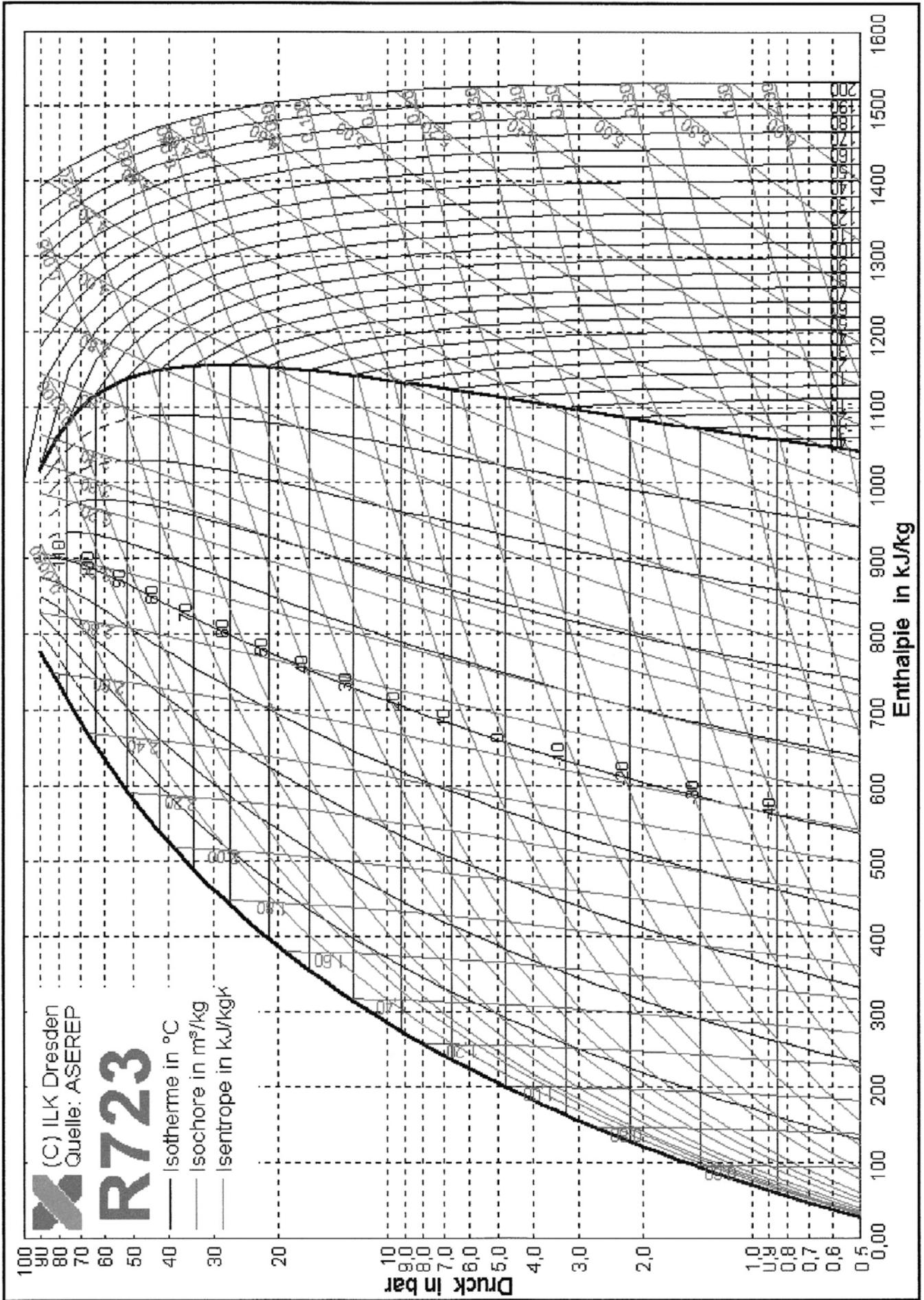


Dampftafel für das Naßdampfgebiet von R32

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	14,699	979,8	40,716	231,69	510,86	279,17	1,1097	2,0620
22	15,525	971,8	43,135	234,83	510,58	275,75	1,1201	2,0544
24	16,386	963,6	45,677	237,96	510,25	272,29	1,1304	2,0467
26	17,283	955,3	48,358	241,10	509,86	268,76	1,1406	2,0390
28	18,217	946,8	51,181	244,25	509,42	265,17	1,1508	2,0313
30	19,189	938,2	54,153	247,40	508,93	261,54	1,1608	2,0236
32	20,201	929,3	57,292	250,58	508,38	257,80	1,1709	2,0158
34	21,253	920,3	60,605	253,78	507,76	253,98	1,1810	2,0079
36	22,347	911,0	64,106	257,01	507,07	250,06	1,1911	2,0000
38	23,484	901,5	67,808	260,28	506,31	246,04	1,2012	1,9920
40	24,667	891,7	71,728	263,59	505,48	241,89	1,2114	1,9839
42	25,895	881,7	75,885	266,95	504,56	237,61	1,2217	1,9757
44	27,171	871,3	80,307	270,39	503,55	233,16	1,2321	1,9673
45	27,828	866,0	82,623	272,14	503,00	230,86	1,2374	1,9630
50	31,303	838,2	95,395	281,22	499,87	218,65	1,2644	1,9411
55	35,122	807,5	110,66	291,13	495,86	204,73	1,2934	1,9173
60	39,315	772,9	129,38	302,28	490,63	188,35	1,3256	1,8909
65	43,920	732,6	153,40	315,38	483,54	168,16	1,3628	1,8601
70	48,978	682,5	186,94	331,84	473,14	141,31	1,4090	1,8208
75	54,539	609,4	246,16	355,82	454,11	98,288	1,4758	1,7582

t	p	ρ'	ρ''	h'	h''	h_{lg}	s'	s''
°C	bar	kg/m ³	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK
1	2	3	4	5	6	7	8	9
-85	0,1302	1288,8	0,4373	61,409	477,49	416,08	0,3966	2,6081
-80	0,1867	1277,0	0,6129	68,974	480,56	411,59	0,4363	2,5672
-75	0,2622	1264,9	0,8424	76,668	483,57	406,90	0,4756	2,5291
-70	0,3614	1252,7	1,1373	84,482	486,47	401,99	0,5145	2,4933
-65	0,4893	1240,3	1,5107	92,416	489,28	396,87	0,5530	2,4597
-60	0,6518	1227,7	1,9769	100,46	491,97	391,51	0,5911	2,4279
-55	0,8552	1214,8	2,5516	108,60	494,54	385,93	0,6288	2,3979
-50	1,1066	1201,7	3,2523	116,86	496,96	380,10	0,6661	2,3695
-45	1,4133	1188,3	4,0976	125,16	499,23	374,06	0,7028	2,3424
-40	1,7835	1174,7	5,1080	133,52	501,33	367,81	0,7389	2,3165
-35	2,2256	1160,8	6,3055	141,90	503,27	361,36	0,7744	2,2917
-34	2,3234	1157,9	6,5695	143,58	503,63	360,05	0,7814	2,2869
-32	2,5291	1152,3	7,1241	146,96	504,34	357,38	0,7954	2,2773
-30	2,7485	1146,5	7,7146	150,32	505,02	354,69	0,8092	2,2679
-28	2,9824	1140,7	8,3429	153,68	505,67	351,98	0,8228	2,2586
-26	3,2314	1134,9	9,0110	157,04	506,28	349,24	0,8364	2,2495
-24	3,4961	1129,0	9,7205	160,39	506,87	346,47	0,8498	2,2404
-22	3,7770	1123,0	10,473	163,74	507,42	343,68	0,8631	2,2315
-20	4,0750	1117,0	11,272	167,08	507,95	340,86	0,8762	2,2227
-18	4,3905	1110,9	12,118	170,44	508,43	338,00	0,8893	2,2140
-16	4,7244	1104,8	13,013	173,76	508,89	335,13	0,9022	2,2054
-14	5,0772	1098,5	13,960	177,08	509,31	332,23	0,9149	2,1969
-12	5,4497	1092,3	14,961	180,38	509,70	329,32	0,9275	2,1885
-10	5,8426	1085,9	16,018	183,68	510,06	326,38	0,9399	2,1802
-8	6,2565	1079,5	17,135	186,98	510,37	323,39	0,9523	2,1719
-6	6,6923	1073,0	18,313	190,25	510,66	320,41	0,9644	2,1638
-4	7,1506	1066,4	19,555	193,51	510,91	317,40	0,9764	2,1557
-2	7,6321	1059,7	20,864	196,75	511,12	314,37	0,9882	2,1476
0	8,1378	1052,9	22,244	200,00	511,29	311,29	1,0000	2,1396
2	8,6683	1046,1	23,697	203,22	511,43	308,21	1,0116	2,1317
4	9,2245	1039,2	25,226	206,42	511,53	305,11	1,0230	2,1238
6	9,8071	1032,1	26,836	209,61	511,59	301,98	1,0342	2,1160
8	10,417	1025,0	28,531	212,81	511,61	298,80	1,0454	2,1082
10	11,055	1017,7	30,314	215,97	511,60	295,62	1,0564	2,1005
12	11,722	1010,4	32,188	219,13	511,54	292,41	1,0673	2,0928
14	12,419	1002,9	34,162	222,29	511,43	289,14	1,0781	2,0850
16	13,147	995,3	36,236	225,42	511,29	285,87	1,0887	2,0774
18	13,907	987,6	38,421	228,57	511,10	282,53	1,0993	2,0697

h,log p-Diagramm für R723



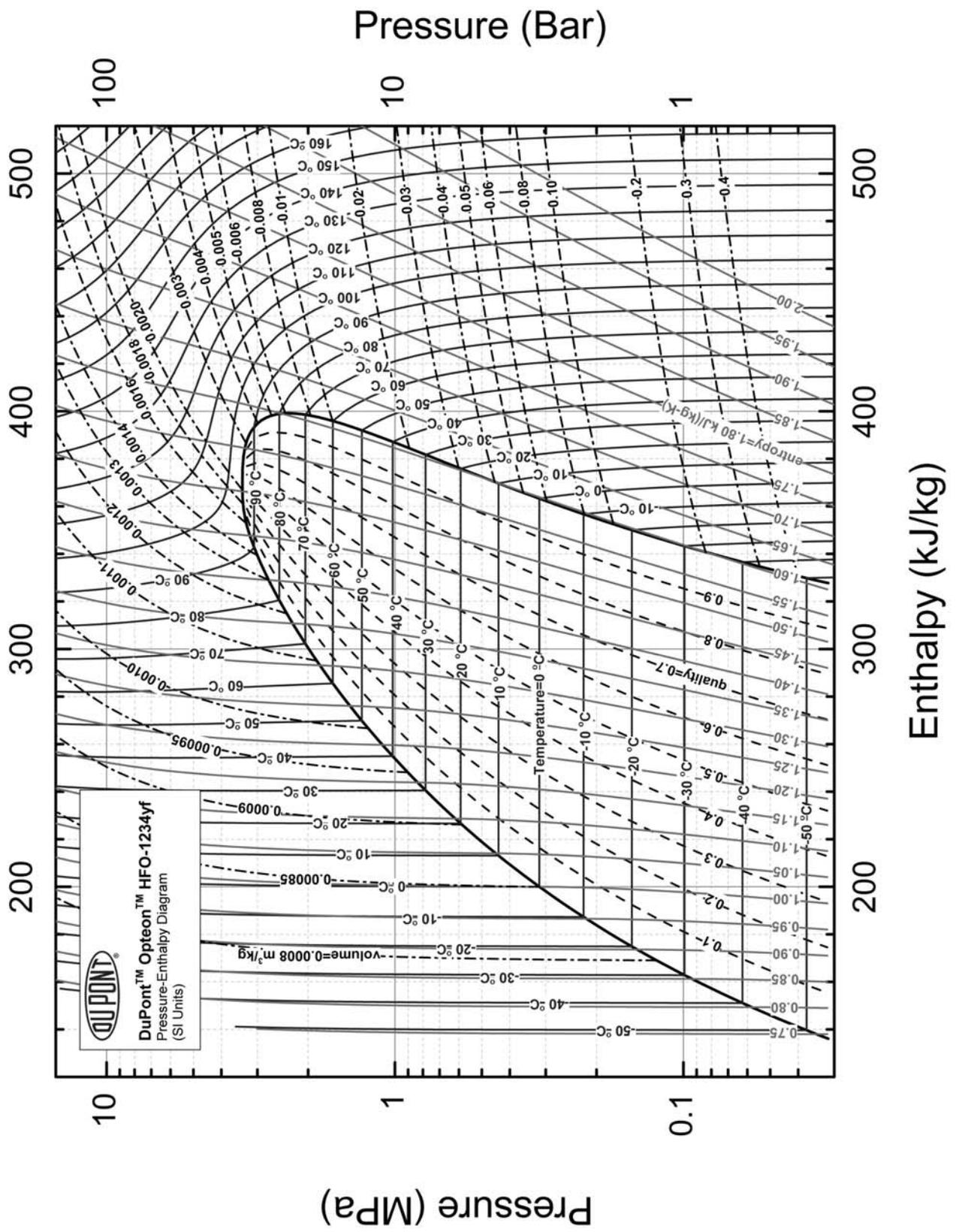
Dampftafel für das Naßdampfgebiet von R723

t °C	p bar	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg	s' kJ/kgK	s'' kJ/kgK
Temperatur	Druck	Flüssigkeitsdichte	Dampf-dichte	Spezifische Enthalpie der Flüssigkeit	Spezifische Enthalpie des gesättigten Dampfes	Latente Wärme	Spezifische Entropie der Flüssigkeit	Spezifische Entropie des gesättigten Dampfes
-60	0,273	1,365	2,8271	-5,7	1028,3	1033,9	0,1541	5,0048
-59	0,291	1,368	2,6673	-2,4	1029,8	1032,2	0,1696	4,9895
-58	0,309	1,370	2,5182	0,9	1031,4	1030,4	0,1850	4,9743
-57	0,329	1,372	2,3788	4,2	1032,9	1028,7	0,2003	4,9593
-56	0,349	1,374	2,2485	7,6	1034,5	1026,9	0,2155	4,9446
-55	0,371	1,377	2,1266	10,9	1036,0	1025,1	0,2307	4,9300
-54	0,394	1,379	2,0125	14,2	1037,6	1023,4	0,2459	4,9156
-53	0,417	1,381	1,9056	17,5	1039,1	1021,6	0,2609	4,9014
-52	0,442	1,384	1,8055	20,8	1040,6	1019,8	0,2760	4,8874
-51	0,469	1,386	1,7115	24,1	1042,2	1018,0	0,2909	4,8736
-50	0,496	1,388	1,6233	27,4	1043,7	1016,3	0,3058	4,8599
-49	0,525	1,391	1,5405	30,8	1045,2	1014,5	0,3206	4,8464
-48	0,555	1,393	1,4627	34,1	1046,8	1012,7	0,3354	4,8331
-47	0,586	1,396	1,3896	37,4	1048,3	1010,8	0,3502	4,8200
-46	0,619	1,398	1,3207	40,8	1049,8	1009,0	0,3648	4,8070
-45	0,654	1,400	1,2560	44,1	1051,3	1007,2	0,3795	4,7942
-44	0,690	1,403	1,1950	47,4	1052,8	1005,4	0,3941	4,7815
-43	0,727	1,405	1,1375	50,8	1054,3	1003,5	0,4086	4,7690
-42	0,766	1,408	1,0833	54,1	1055,8	1001,7	0,4231	4,7566
-41	0,807	1,410	1,0322	57,5	1057,3	999,9	0,4375	4,7444
-40	0,850	1,413	0,9839	60,8	1058,8	998,0	0,4519	4,7324
-39	0,895	1,415	0,9384	64,2	1060,3	996,1	0,4662	4,7204
-38	0,941	1,418	0,8953	67,5	1061,8	994,2	0,4805	4,7087
-37	0,989	1,421	0,8546	70,9	1063,3	992,4	0,4948	4,6970
-36	1,039	1,423	0,8161	74,3	1064,7	990,5	0,5090	4,6855
-35	1,092	1,426	0,7797	77,7	1066,2	988,6	0,5232	4,6742
-34	1,146	1,428	0,7452	81,0	1067,7	986,6	0,5373	4,6629
-33	1,203	1,431	0,7126	84,4	1069,1	984,7	0,5514	4,6518
-32	1,261	1,434	0,6816	87,8	1070,6	982,8	0,5655	4,6408
-31	1,323	1,436	0,6523	91,2	1072,0	980,8	0,5795	4,6300
-30	1,386	1,439	0,6245	94,6	1073,5	978,9	0,5935	4,6192
-29	1,452	1,442	0,5981	98,0	1074,9	976,9	0,6075	4,6086
-28	1,520	1,445	0,5730	101,4	1076,3	974,9	0,6214	4,5981
-27	1,591	1,447	0,5492	104,9	1077,8	972,9	0,6352	4,5877
-26	1,664	1,450	0,5266	108,3	1079,2	970,9	0,6491	4,5775
-25	1,741	1,453	0,5051	111,7	1080,6	968,9	0,6629	4,5673
-24	1,819	1,456	0,4846	115,2	1082,0	966,8	0,6767	4,5573
-23	1,901	1,459	0,4652	118,6	1083,4	964,8	0,6905	4,5473
-22	1,986	1,462	0,4467	122,1	1084,8	962,7	0,7042	4,5375
-21	2,073	1,465	0,4290	125,5	1086,2	960,7	0,7179	4,5278
-20	2,164	1,468	0,4122	129,0	1087,6	958,6	0,7315	4,5181
-19	2,258	1,470	0,3962	132,5	1088,9	956,5	0,7452	4,5086
-18	2,355	1,473	0,3810	135,9	1090,3	954,4	0,7588	4,4992
-17	2,455	1,476	0,3664	139,4	1091,6	952,2	0,7724	4,4898
-16	2,559	1,479	0,3526	142,9	1093,0	950,1	0,7859	4,4806
-15	2,665	1,483	0,3393	146,4	1094,3	947,9	0,7995	4,4714
-14	2,776	1,486	0,3267	149,9	1095,7	945,7	0,8130	4,4624
-13	2,890	1,489	0,3146	153,4	1097,0	943,5	0,8264	4,4534
-12	3,008	1,492	0,3030	157,0	1098,3	941,3	0,8399	4,4445
-11	3,129	1,495	0,2920	160,5	1099,6	939,1	0,8533	4,4357
-10	3,254	1,498	0,2814	164,0	1100,9	936,9	0,8668	4,4270
-9	3,383	1,501	0,2713	167,6	1102,2	934,6	0,8801	4,4183
-8	3,517	1,505	0,2617	171,2	1103,5	932,3	0,8935	4,4098
-7	3,654	1,508	0,2525	174,7	1104,8	930,0	0,9069	4,4013
-6	3,795	1,511	0,2436	178,3	1106,0	927,7	0,9202	4,3929
-5	3,941	1,514	0,2351	181,9	1107,3	925,4	0,9335	4,3845
-4	4,091	1,518	0,2270	185,5	1108,5	923,0	0,9468	4,3763

Dampftafel für das Naßdampfgebiet von R723 Fortsetzung

t °C	p bar	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	h' kJ/kg	h'' kJ/kg	r kJ/kg	s' kJ/kgK	s'' kJ/kgK
Temperatur	Druck	Flüssigkeitsdichte	Dampf-dichte	Spezifische Enthalpie der Flüssigkeit	Spezifische Enthalpie des gesättigten Dampfes	Latente Wärme	Spezifische Entropie der Flüssigkeit	Spezifische Entropie des gesättigten Dampfes
-3	4,245	1,521	0,2192	189,1	1109,7	920,7	0,9601	4,3681
-2	4,404	1,524	0,2177	192,7	1111,0	918,2	0,9735	4,3600
-1	4,567	1,528	0,2046	196,4	1112,2	915,8	0,9868	4,3519
0	4,735	1,523	0,1977	200,0	1113,4	913,4	1,0000	4,3439
1	4,908	1,535	0,1911	203,6	1114,6	910,9	1,0132	4,3360
2	5,086	1,538	0,1848	207,3	1115,8	908,5	1,0264	4,3281
3	5,268	1,542	0,1787	211,0	1116,9	906,0	1,0396	4,3204
4	5,456	1,545	0,1729	214,6	1118,1	903,5	1,0528	4,3126
5	5,649	1,549	0,1673	218,3	1119,2	900,9	1,0659	4,3050
6	5,847	1,553	0,1619	222,0	1120,4	898,4	1,0791	4,2973
7	6,050	1,556	0,1567	225,7	1121,5	895,8	1,0922	4,2898
8	6,259	1,560	0,1518	229,4	1122,6	893,2	1,1053	4,2823
9	6,473	1,564	0,1470	233,1	1123,7	890,6	1,1184	4,2749
10	6,693	1,568	0,1424	236,9	1124,8	887,9	1,1315	4,2675
11	6,919	1,571	0,1379	240,6	1125,9	885,3	1,1446	4,2601
12	7,150	1,575	0,1336	244,4	1127,0	882,6	1,1577	4,2528
13	7,388	1,579	0,1295	248,2	1128,0	879,9	1,1708	4,2456
14	7,631	1,583	0,1256	251,9	1129,1	877,1	1,1838	4,2384
15	7,880	1,587	0,1218	255,7	1130,1	874,4	1,1969	4,2312
16	8,136	1,591	0,1181	259,5	1131,1	871,6	1,2099	4,2241
17	8,398	1,595	0,1145	263,4	1132,1	868,7	1,2230	4,2171
18	8,666	1,599	0,1111	267,2	1133,1	865,9	1,2360	4,2100
19	8,941	1,603	0,1078	271,0	1134,1	863,0	1,2490	4,2031
20	9,222	1,608	0,1046	274,9	1135,0	860,1	1,2620	4,1961
21	9,511	1,612	0,1016	278,8	1136,0	857,2	1,2750	4,1892
22	9,806	1,616	0,0986	282,6	1136,9	854,3	1,2880	4,1823
23	10,107	1,620	0,0958	286,5	1137,8	851,3	1,3010	4,1755
24	10,416	1,625	0,0930	290,4	1138,7	848,3	1,3140	4,1687
25	10,732	1,629	0,0903	294,3	1139,6	845,2	1,3270	4,1619
26	11,056	1,643	0,0877	298,3	1140,4	842,2	1,3400	4,1552
27	11,386	1,638	0,0853	302,2	1141,3	839,1	1,3530	4,1485
28	11,724	1,643	0,0828	306,2	1142,1	835,9	1,3660	4,1418
29	12,070	1,647	0,0805	310,2	1142,9	832,8	1,3790	4,1352
30	12,423	1,652	0,0783	314,1	1143,7	829,6	1,3920	4,1286
31	12,784	1,656	0,0761	318,1	1144,5	826,4	1,4050	4,1219
32	13,153	1,661	0,0740	322,2	1145,3	823,1	1,4180	4,1154
33	13,530	1,666	0,0720	326,2	1146,0	819,8	1,4309	4,1088
34	13,915	1,671	0,0700	330,2	1146,8	816,5	1,4439	4,1023
35	14,309	1,676	0,0681	334,3	1147,5	813,2	1,4569	4,0958
36	14,710	1,681	0,0662	338,4	1148,2	809,8	1,4699	4,0893
37	15,120	1,686	0,0644	342,6	1148,8	806,2	1,4833	4,0827
38	15,539	1,691	0,0627	346,7	1149,5	802,7	1,4963	4,0762
39	15,966	1,696	0,0610	350,9	1150,1	799,2	1,5093	4,0698
40	16,402	1,701	0,0594	355,0	1150,7	795,7	1,5224	4,0633
41	16,847	1,706	0,0578	359,2	1151,3	792,1	1,5354	4,0569
42	17,301	1,712	0,0563	363,4	1151,8	788,5	1,5485	4,0504
43	17,764	1,717	0,0548	367,6	1152,4	784,8	1,5616	4,0440
44	18,236	1,723	0,0534	371,8	1152,9	781,1	1,5746	4,0376
45	18,718	1,728	0,0520	376,0	1153,4	777,4	1,5877	4,0312
46	19,209	1,734	0,0506	380,3	1153,9	773,6	1,6008	4,0248
47	19,710	1,739	0,0493	384,6	1154,3	769,8	1,6139	4,0183
48	20,221	1,745	0,0480	388,9	1154,8	765,9	1,6271	4,0119
49	20,741	1,751	0,0468	393,2	1155,2	762,0	1,6402	4,0055
50	21,271	1,757	0,0456	397,5	1155,5	758,0	1,6533	3,9991
51	21,812	1,763	0,0444	401,9	1155,9	754,0	1,6665	3,9926
52	22,362	1,769	0,0433	406,2	1156,2	750,0	1,6797	3,9862
53	22,923	1,775	0,0422	410,6	1156,5	745,9	1,6929	3,9798
54	23,495	1,781	0,0411	415,0	1156,8	741,7	1,7061	3,9733
55	24,077	1,788	0,0401	419,5	1157,0	737,5	1,7193	3,9668
56	24,669	1,794	0,0390	423,9	1157,2	733,3	1,7326	3,9603
57	25,273	1,801	0,0381	428,4	1157,4	729,0	1,7458	3,9538
58	25,887	1,807	0,0371	432,9	1157,5	724,6	1,7591	3,9473
59	26,512	1,814	0,0362	437,4	1157,6	720,2	1,7724	3,9408
60	27,149	1,821	0,0353	442,2	1157,7	715,6	1,7862	3,9341

h,log p-Diagramm für HFO-1234yf

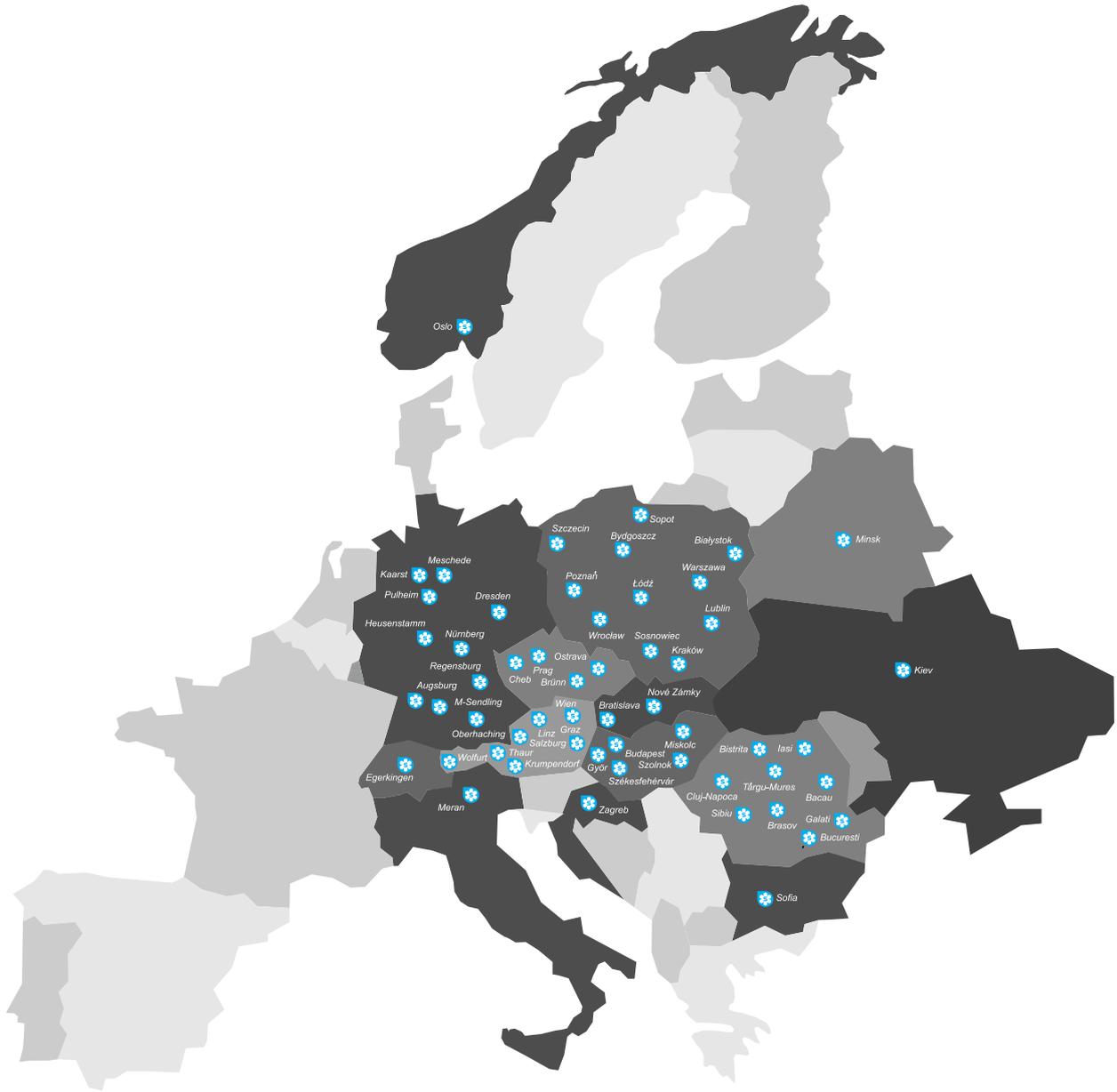


Dampftafel für das Naßdampfgebiet von HFO-1234yf

Temp °C	Pressure [kPa]		Volume [m ³ /kg]		Density [kg/m ³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
	Liquid P _f	Vapor P _g	Liquid v _f	Vapor v _g	Liquid d _f	Vapor d _g	Liquid H _f	Latent H _{fg}	Vapor H _g	Liquid S _f	Vapor S _g	
-50	37.423	37.423	0.000758	0.4247	1318.4	2.355	139.6	190.2	329.9	0.757	1.610	-50
-49	39.477	39.477	0.000760	0.4040	1315.8	2.475	140.8	189.8	330.5	0.762	1.609	-49
-48	41.622	41.622	0.000762	0.3846	1313.2	2.600	141.9	189.3	331.2	0.767	1.608	-48
-47	43.859	43.859	0.000763	0.3662	1310.5	2.731	143.0	188.8	331.9	0.772	1.607	-47
-46	46.192	46.192	0.000765	0.3489	1307.9	2.866	144.2	188.4	332.5	0.777	1.607	-46
-45	48.624	48.624	0.000766	0.3326	1305.2	3.007	145.3	187.9	333.2	0.782	1.606	-45
-44	51.157	51.157	0.000768	0.3172	1302.6	3.153	146.5	187.4	333.9	0.787	1.605	-44
-43	53.795	53.795	0.000769	0.3026	1299.9	3.305	147.6	186.9	334.6	0.792	1.605	-43
-42	56.540	56.540	0.000771	0.2889	1297.2	3.462	148.8	186.5	335.2	0.797	1.604	-42
-41	59.397	59.397	0.000772	0.2758	1294.6	3.625	149.9	186.0	335.9	0.802	1.604	-41
-40	62.367	62.367	0.000774	0.2635	1291.9	3.795	151.1	185.5	336.6	0.807	1.603	-40
-39	65.454	65.454	0.000776	0.2519	1289.2	3.970	152.2	185.0	337.3	0.812	1.603	-39
-38	68.661	68.661	0.000777	0.2409	1286.5	4.152	153.4	184.5	337.9	0.817	1.602	-38
-37	71.992	71.992	0.000779	0.2304	1283.8	4.340	154.6	184.0	338.6	0.822	1.602	-37
-36	75.450	75.450	0.000781	0.2205	1281.0	4.535	155.7	183.5	339.3	0.827	1.601	-36
-35	79.039	79.039	0.000782	0.2111	1278.3	4.737	156.9	183.0	339.9	0.832	1.601	-35
-34	82.761	82.761	0.000784	0.2022	1275.6	4.946	158.1	182.5	340.6	0.837	1.600	-34
-33	86.620	86.620	0.000786	0.1937	1272.8	5.162	159.3	182.0	341.3	0.842	1.600	-33
-32	90.620	90.620	0.000787	0.1857	1270.1	5.386	160.4	181.5	342.0	0.847	1.600	-32
-31	94.764	94.764	0.000789	0.1780	1267.3	5.617	161.6	181.0	342.6	0.852	1.599	-31
-30	99.056	99.056	0.000791	0.1708	1264.5	5.855	162.8	180.5	343.3	0.857	1.599	-30
-29	103.500	103.500	0.000793	0.1639	1261.8	6.102	164.0	180.0	344.0	0.861	1.599	-29
-28	108.098	108.098	0.000794	0.1573	1259.0	6.357	165.2	179.5	344.7	0.866	1.598	-28
-27	112.856	112.856	0.000796	0.1511	1256.2	6.620	166.4	178.9	345.3	0.871	1.598	-27
-26	117.775	117.775	0.000798	0.1451	1253.4	6.891	167.6	178.4	346.0	0.876	1.598	-26
-25	122.861	122.861	0.000800	0.1394	1250.5	7.171	168.8	177.9	346.7	0.881	1.598	-25
-24	128.117	128.117	0.000801	0.1340	1247.7	7.460	170.0	177.4	347.4	0.886	1.598	-24
-23	133.548	133.548	0.000803	0.1289	1244.9	7.758	171.2	176.8	348.0	0.891	1.597	-23
-22	139.155	139.155	0.000805	0.1240	1242.0	8.066	172.4	176.3	348.7	0.895	1.597	-22
-21	144.945	144.945	0.000807	0.1193	1239.2	8.383	173.7	175.7	349.4	0.900	1.597	-21
-20	150.921	150.921	0.000809	0.1148	1236.3	8.709	174.9	175.2	350.1	0.905	1.597	-20
-19	157.086	157.086	0.000811	0.1105	1233.4	9.046	176.1	174.6	350.7	0.910	1.597	-19
-18	163.444	163.444	0.000813	0.1065	1230.5	9.392	177.3	174.1	351.4	0.915	1.597	-18
-17	170.001	170.001	0.000815	0.1026	1227.6	9.750	178.6	173.5	352.1	0.919	1.597	-17
-16	176.759	176.759	0.000817	0.0988	1224.7	10.117	179.8	172.9	352.7	0.924	1.597	-16
-15	183.724	183.724	0.000818	0.0953	1221.8	10.496	181.0	172.4	353.4	0.929	1.597	-15
-14	190.898	190.898	0.000820	0.0919	1218.8	10.885	182.3	171.8	354.1	0.934	1.597	-14
-13	198.287	198.287	0.000822	0.0886	1215.9	11.286	183.5	171.2	354.7	0.939	1.597	-13
-12	205.895	205.895	0.000824	0.0855	1212.9	11.699	184.8	170.6	355.4	0.943	1.597	-12
-11	213.726	213.726	0.000826	0.0825	1209.9	12.123	186.0	170.0	356.1	0.948	1.597	-11
-10	221.783	221.783	0.000829	0.0796	1207.0	12.559	187.3	169.5	356.7	0.953	1.597	-10
-9	230.072	230.072	0.000831	0.0769	1203.9	13.008	188.5	168.9	357.4	0.958	1.597	-9
-8	238.597	238.597	0.000833	0.0742	1200.9	13.469	189.8	168.3	358.0	0.962	1.597	-8
-7	247.363	247.363	0.000835	0.0717	1197.9	13.943	191.0	167.7	358.7	0.967	1.597	-7
-6	256.373	256.373	0.000837	0.0693	1194.9	14.431	192.3	167.0	359.4	0.972	1.597	-6
-5	265.632	265.632	0.000839	0.0670	1191.8	14.931	193.6	166.4	360.0	0.976	1.597	-5
-4	275.144	275.144	0.000841	0.0647	1188.7	15.446	194.9	165.8	360.7	0.981	1.597	-4
-3	284.915	284.915	0.000843	0.0626	1185.6	15.974	196.1	165.2	361.3	0.986	1.597	-3
-2	294.948	294.948	0.000846	0.0605	1182.5	16.517	197.4	164.6	362.0	0.991	1.598	-2
-1	305.249	305.249	0.000848	0.0586	1179.4	17.074	198.7	163.9	362.6	0.995	1.598	-1
0	315.821	315.821	0.000850	0.0567	1176.3	17.647	200.0	163.3	363.3	1.000	1.598	0
1	326.670	326.670	0.000852	0.0548	1173.1	18.234	201.3	162.6	363.9	1.005	1.598	1
2	337.800	337.800	0.000855	0.0531	1170.0	18.837	202.6	162.0	364.6	1.009	1.598	2
3	349.216	349.216	0.000857	0.0514	1166.8	19.457	203.9	161.3	365.2	1.014	1.598	3
4	360.923	360.923	0.000859	0.0498	1163.6	20.092	205.2	160.7	365.9	1.019	1.599	4
5	372.925	372.925	0.000862	0.0482	1160.4	20.744	206.5	160.0	366.5	1.023	1.599	5
6	385.227	385.227	0.000864	0.0467	1157.2	21.413	207.8	159.3	367.2	1.028	1.599	6
7	397.833	397.833	0.000867	0.0452	1153.9	22.100	209.1	158.7	367.8	1.033	1.599	7
8	410.750	410.750	0.000869	0.0439	1150.6	22.804	210.5	158.0	368.4	1.037	1.599	8
9	423.981	423.981	0.000872	0.0425	1147.3	23.526	211.8	157.3	369.1	1.042	1.600	9
10	437.532	437.532	0.000874	0.0412	1144.0	24.267	213.1	156.6	369.7	1.047	1.600	10
11	451.408	451.408	0.000877	0.0400	1140.7	25.027	214.4	155.9	370.3	1.051	1.600	11
12	465.613	465.613	0.000879	0.0387	1137.4	25.807	215.8	155.2	371.0	1.056	1.600	12
13	480.152	480.152	0.000882	0.0376	1134.0	26.606	217.1	154.5	371.6	1.061	1.601	13
14	495.031	495.031	0.000884	0.0365	1130.6	27.425	218.5	153.8	372.2	1.065	1.601	14

Dampftafel für das Naßdampfgebiet von HFO-1234yf Fortsetzung

Temp °C	Pressure [kPa]		Volume [m ³ /kg]		Density [kg/m ³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
	Liquid P _f	Vapor P _g	Liquid v _f	Vapor v _g	Liquid d _f	Vapor d _g	Liquid H _f	Latent H _{fg}	Vapor H _g	Liquid S _f	Vapor S _g	
15	510.255	510.255	0.000887	0.0354	1127.2	28.266	219.8	153.0	372.8	1.070	1.601	15
16	525.828	525.828	0.000890	0.0343	1123.8	29.127	221.2	152.3	373.4	1.075	1.601	16
17	541.756	541.756	0.000893	0.0333	1120.3	30.011	222.5	151.6	374.1	1.079	1.602	17
18	558.044	558.044	0.000895	0.0323	1116.9	30.916	223.9	150.8	374.7	1.084	1.602	18
19	574.697	574.697	0.000898	0.0314	1113.4	31.845	225.2	150.1	375.3	1.088	1.602	19
20	591.721	591.721	0.000901	0.0305	1109.9	32.796	226.6	149.3	375.9	1.093	1.602	20
21	609.120	609.120	0.000904	0.0296	1106.3	33.772	228.0	148.5	376.5	1.098	1.603	21
22	626.901	626.901	0.000907	0.0288	1102.8	34.772	229.3	147.7	377.1	1.102	1.603	22
23	645.068	645.068	0.000910	0.0279	1099.2	35.797	230.7	147.0	377.7	1.107	1.603	23
24	663.626	663.626	0.000913	0.0271	1095.5	36.848	232.1	146.2	378.3	1.112	1.603	24
25	682.582	682.582	0.000916	0.0264	1091.9	37.925	233.5	145.4	378.9	1.116	1.604	25
26	701.940	701.940	0.000919	0.0256	1088.2	39.029	234.9	144.6	379.5	1.121	1.604	26
27	721.707	721.707	0.000922	0.0249	1084.5	40.161	236.3	143.7	380.0	1.125	1.604	27
28	741.887	741.887	0.000925	0.0242	1080.8	41.321	237.7	142.9	380.6	1.130	1.605	28
29	762.487	762.487	0.000928	0.0235	1077.1	42.510	239.1	142.1	381.2	1.135	1.605	29
30	783.511	783.511	0.000932	0.0229	1073.3	43.729	240.5	141.2	381.8	1.139	1.605	30
31	804.966	804.966	0.000935	0.0222	1069.5	44.979	241.9	140.4	382.3	1.144	1.605	31
32	826.857	826.857	0.000938	0.0216	1065.7	46.260	243.4	139.5	382.9	1.148	1.606	32
33	849.190	849.190	0.000942	0.0210	1061.8	47.573	244.8	138.7	383.4	1.153	1.606	33
34	871.971	871.971	0.000945	0.0204	1057.9	48.920	246.2	137.8	384.0	1.158	1.606	34
35	895.206	895.206	0.000949	0.0199	1054.0	50.301	247.6	136.9	384.5	1.162	1.606	35
36	918.900	918.900	0.000952	0.0193	1050.0	51.717	249.1	136.0	385.1	1.167	1.607	36
37	943.060	943.060	0.000956	0.0188	1046.0	53.169	250.5	135.1	385.6	1.171	1.607	37
38	967.691	967.691	0.000960	0.0183	1042.0	54.658	252.0	134.1	386.1	1.176	1.607	38
39	992.800	992.800	0.000963	0.0178	1037.9	56.186	253.4	133.2	386.7	1.181	1.607	39
40	1018.393	1018.393	0.000967	0.0173	1033.8	57.753	254.9	132.3	387.2	1.185	1.608	40
41	1044.476	1044.476	0.000971	0.0168	1029.6	59.360	256.4	131.3	387.7	1.190	1.608	41
42	1071.055	1071.055	0.000975	0.0164	1025.5	61.010	257.8	130.3	388.2	1.194	1.608	42
43	1098.137	1098.137	0.000979	0.0159	1021.2	62.702	259.3	129.4	388.7	1.199	1.608	43
44	1125.728	1125.728	0.000983	0.0155	1017.0	64.440	260.8	128.4	389.2	1.204	1.608	44
45	1153.834	1153.834	0.000988	0.0151	1012.6	66.223	262.3	127.4	389.7	1.208	1.608	45
46	1182.462	1182.462	0.000992	0.0147	1008.3	68.053	263.8	126.3	390.1	1.213	1.609	46
47	1211.618	1211.618	0.000996	0.0143	1003.9	69.933	265.3	125.3	390.6	1.217	1.609	47
48	1241.310	1241.310	0.001001	0.0139	999.4	71.863	266.8	124.3	391.1	1.222	1.609	48
49	1271.543	1271.543	0.001005	0.0135	994.9	73.846	268.3	123.2	391.5	1.227	1.609	49
50	1302.325	1302.325	0.001010	0.0132	990.4	75.884	269.9	122.1	392.0	1.231	1.609	50
51	1333.663	1333.663	0.001014	0.0128	985.8	77.978	271.4	121.0	392.4	1.236	1.609	51
52	1365.563	1365.563	0.001019	0.0125	981.1	80.130	272.9	119.9	392.8	1.241	1.609	52
53	1398.032	1398.032	0.001024	0.0121	976.4	82.343	274.5	118.8	393.3	1.245	1.609	53
54	1431.079	1431.079	0.001029	0.0118	971.6	84.619	276.0	117.7	393.7	1.250	1.609	54
55	1464.709	1464.709	0.001034	0.0115	966.7	86.961	277.6	116.5	394.1	1.254	1.610	55
56	1498.931	1498.931	0.001040	0.0112	961.8	89.371	279.2	115.3	394.5	1.259	1.610	56
57	1533.751	1533.751	0.001045	0.0109	956.8	91.852	280.7	114.1	394.9	1.264	1.610	57
58	1569.178	1569.178	0.001051	0.0106	951.7	94.407	282.3	112.9	395.2	1.269	1.609	58
59	1605.219	1605.219	0.001056	0.0103	946.6	97.040	283.9	111.7	395.6	1.273	1.609	59
60	1641.882	1641.882	0.001062	0.0100	941.3	99.754	285.5	110.4	395.9	1.278	1.609	60
61	1679.174	1679.174	0.001068	0.0098	936.0	102.552	287.1	109.1	396.3	1.283	1.609	61
62	1717.104	1717.104	0.001075	0.0095	930.6	105.438	288.8	107.8	396.6	1.287	1.609	62
63	1755.680	1755.680	0.001081	0.0092	925.1	108.418	290.4	106.5	396.9	1.292	1.609	63
64	1794.911	1794.911	0.001088	0.0090	919.5	111.496	292.1	105.1	397.2	1.297	1.609	64
65	1834.805	1834.805	0.001094	0.0087	913.7	114.676	293.7	103.7	397.5	1.302	1.609	65
66	1875.370	1875.370	0.001101	0.0085	907.9	117.964	295.4	102.3	397.7	1.307	1.608	66
67	1916.617	1916.617	0.001109	0.0082	901.9	121.367	297.1	100.9	398.0	1.311	1.608	67
68	1958.553	1958.553	0.001116	0.0080	895.8	124.891	298.8	99.4	398.2	1.316	1.608	68
69	2001.189	2001.189	0.001124	0.0078	889.6	128.544	300.5	97.9	398.4	1.321	1.607	69
70	2044.535	2044.535	0.001132	0.0076	883.2	132.332	302.2	96.3	398.6	1.326	1.607	70
71	2088.600	2088.600	0.001141	0.0073	876.7	136.266	304.0	94.8	398.7	1.331	1.606	71
72	2133.395	2133.395	0.001149	0.0071	870.0	140.355	305.7	93.1	398.9	1.336	1.606	72
73	2178.931	2178.931	0.001159	0.0069	863.1	144.611	307.5	91.5	399.0	1.341	1.605	73
74	2225.219	2225.219	0.001168	0.0067	856.1	149.044	309.3	89.8	399.1	1.346	1.605	74
75	2272.271	2272.271	0.001178	0.0065	848.8	153.671	311.1	88.0	399.1	1.351	1.604	75
76	2320.100	2320.100	0.001189	0.0063	841.4	158.505	313.0	86.2	399.2	1.356	1.603	76
77	2368.717	2368.717	0.001199	0.0061	833.7	163.566	314.8	84.3	399.2	1.361	1.602	77
78	2418.137	2418.137	0.001211	0.0059	825.7	168.874	316.7	82.4	399.1	1.366	1.601	78
79	2468.375	2468.375	0.001223	0.0057	817.5	174.454	318.6	80.4	399.0	1.372	1.600	79
80	2519.445	2519.445	0.001236	0.0055	809.0	180.333	320.5	78.4	398.9	1.377	1.599	80



SCHIESSL

www.schiessl-kaelte.com