

Solkane®-
Taschenbuch



Kälte- und Klimatechnik

Solvay
Fluor



Solkane®-Taschenbuch Kälte- und Klimatechnik

Solvay Fluor GmbH

Postfach 220

30002 Hannover

Telefon 05 11 857-2653

Telefax 05 11 857-2166

Internet: www.solvay-fluor.de

Copyright: Solvay Fluor GmbH, Hannover

Nachdruck oder teilweise Auszüge sind nur mit unserer Genehmigung und dann mit deutlicher Quellenangabe gestattet.

Anmerkung:

Nach bestem Wissen wird angenommen, dass alle in diesem Dokument aufgeführten Angaben, Informationen und Daten zuverlässig und genau sind. Sie werden jedoch ohne jegliche wie auch immer geartete, ausdrückliche oder implizite, Garantie, Haftung oder Gewährleistung abgegeben. Anmerkungen oder Vorschläge bezüglich eines möglichen Gebrauchs unserer Produkte beinhalten oder gewährleisten nicht, dass ein solcher Gebrauch kein Patent verletzt, und sind keine Empfehlungen, irgendein Patent zu verletzen. Der Benutzer sollte nicht voraussetzen, dass alle Sicherheitsmassnahmen angegeben sind, oder dass andere Massnahmen nicht erforderlich sind.

Das Produkt R404A wird von Solvay unter Lizenz der Europäischen Patente EP 545 942 und EP 399 817 verkauft. Der Verkauf überträgt dem Käufer eine Unterlizenz für den Weiterverkauf oder die Verwendung solchen Produkts in Europa, im Mittleren Osten und in Afrika. Weiterhin wird das Recht zum Export solchen Produkts in Gebiete außerhalb von Europa, Mittlerer Osten und Afrika erteilt, vorausgesetzt, dass ein solches Produkt in Kühl- oder Klimaanlageen enthalten ist. Kein anderes Recht oder Lizenz, explizit oder implizit wird erteilt.

Das Produkt R-410A wird von Solvay im Rahmen einer von Honeywell für das Europäische Patent Nr. EP 0 533 673 B2 vergebenen Lizenz, die die Verwendung von R-410A in Klimaanlageen und Wärmepumpen abdeckt, innerhalb des Vertragsgebiets verkauft, welches als der Europäische Wirtschaftsraum, die Schweiz, der Nahe Osten und Afrika (außer Südafrika) definiert ist. Dieser Verkauf überträgt das Gebrauchs- und Wiederverkaufsrecht für dieses R-410A innerhalb des Vertragsgebiets auf den Käufer. Dieses R-410A kann, sofern es innerhalb des Vertragsgebiets in Klimaanlageen oder Kälteanlagen verwendet wird, weltweit exportiert werden. Es werden keine weiteren Rechte oder Lizenzen, explizit oder implizit, gewährt.

Solkane[®], KALTRON[®] und NOCOLOK[®] sind eingetragene Warenzeichen der Solvay Fluor GmbH, Hannover.

Autoren: Dr. H. Buchwald, F. Flohr, J. Hellmann, H. König, C. Meurer

Gestaltung: Ahlers Heinel Werbeagentur GmbH, Hannover

5. Auflage 10.05 als PDF

35/105/10.05/007/pdf

Vorwort

Das Solkane-Taschenbuch behandelt schwerpunktmäßig die Kältetechnik. Eine Fülle physikalischer, chemischer und technischer Daten sowie ein Gleichungssystem zur Stoffdaten-Berechnung von Solkane-Kältemitteln dienen der Projektierung und Auslegung von Anlagen. Die im Solkane-Taschenbuch enthaltenen Daten und Informationen betreffen aber auch die übrigen Solkane-Einsatzgebiete wie die Herstellung von Schaumkunststoffen und die Treibmittel im medizinischen Bereich.

Mit diesem Buch möchten wir dem Praktiker eine Arbeitshilfe in die Hand geben. Bei speziellen Fragen, die über die gemachten Angaben hinausgehen, wenden Sie sich bitte wegen weiterer Unterstützung an uns.

Solvay Fluor GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Die Solvay-Gruppe – eine Übersicht	10
2	Kältemittel-Historie	16
3	Die neue Solkane-Kältemittel-Generation	
3.1	Grundlagen	20
3.1.1	HFKW (Hydrogenfluorkohlenwasserstoffe) und HFCKW (Hydrogenfluorchlorkohlenwasserstoffe) als Kältemittel.	20
3.1.2	Nomenklatur	21
3.1.3	Stand der Entwicklung der HFKW- und HFCKW-Ersatzkältemittel	22
3.1.3.1	Ersatzkältemittel für R11	22
3.1.3.2	Ersatzkältemittel für R12	22
3.1.3.3	Ersatzkältemittel für R13 und R13B1	23
3.1.3.4	Ersatzkältemittel für R22	23
3.1.3.5	Ersatzkältemittel für R502	25
3.1.4	Fluorhaltige Methan-Abkömmlinge	26
3.1.5	Fluorhaltige Ethan-Abkömmlinge	28
3.1.6	Kältemittel-Gemische	30
3.2	Solkane-Kältemittel	31
3.2.1	Die Kältemittel Solkane 22, 23, 123, 134a, 227, 404A, 407C, 410, 507	31
3.2.2	Komponenten für Kältemittel-Gemische: Solkane 32, 125, 143a, 152a	43
3.2.3	Verpackung und Lagerung	47
3.3	Weitere Kältemittel	51
3.4	Weitere Möglichkeiten	60
4	Kältetechnische Berechnungsgrundlagen	62
4.1	Gleichungssystem zur Stoffdaten-Berechnung von Solkane-Kältemitteln	68
4.1.1	Dampfdruck	68
4.1.2	Siededichte	69
4.1.3	Spezifische Wärmekapazität	69

4.1.4	pvT-Verhalten	69
4.1.5	Spezifische Enthalpie und Spezifische Entropie	70
4.1.6	Spezifische Exergie	71
4.1.7	Transportgrößen	76
4.1.7.1	Dynamische Viskosität	76
4.1.7.2	Wärmeleitfähigkeit	77
4.1.7.3	Oberflächenspannung	77
4.1.7.4	Spezifische Wärmekapazität	77
4.2	Physikalische Daten	82
4.2.1	Physikalische Daten der Solkane-Kältemittel	82
4.2.2	Physikalische Daten der Komponenten für Kältemittel-Gemische	84
5	Allgemeine Eigenschaften	
5.1	Stabilität	86
5.2	Einwirkung auf Kühlgüter	86
5.3	Verhalten gegen metallische Werkstoffe	87
5.4	Verhalten gegen nichtmetallische Werkstoffe	87
5.5	Verhalten gegen Schmiermittel	88
5.6	Kältemittel und Wasser	91
5.7	Elektrische Eigenschaften	95
5.8	Ökologische Eigenschaften	97
6	Umgang und Handhabung von Kältemitteln	
6.1	Allgemeines	102
6.2	Brennbarkeit	103
6.3	Handhabung von Kältemittel-Gemischen	105
6.4	Entfernen von Wasser aus Kälteanlagen	106
6.5	Lecksuche	108
6.6	Recycling und Entsorgung	109
6.6.1	Recycling-Logistik	110
6.6.2	Aufgaben des Kälte- und Klima-Handwerks	111
6.6.3	Aufgaben des Fachhandels	113
6.6.4	Recycling-Verfahren	113
6.6.4.1	Das Primär-Recycling	113
6.6.4.2	Das Sekundär-Recycling	114
6.6.5	FCKW-freie Zukunft	115

7	Retrofit/Drop-In: Umrüstung von FCKW-Kälteanlagen auf Ersatzstoffe	116
7.1	Das Retrofit-Verfahren	117
7.2	Das Drop-In-Verfahren	121
8	Verunreinigungen und ihre Folgen	
8.1	Wasser	122
8.2	Weitere Verunreinigungen	123
8.2.1	Fluor- und Chlorwasserstoffsäure	123
8.2.2	Organische Säuren	123
8.2.3	Ölschlamm	124
8.2.4	Metallische Verunreinigungen.	124
8.2.5	Nichtkondensierbare Gase	125
8.3	Ausbrennungen	126
9	Vorschriften und Kältetechnik-Verbände	128
10	Wörterbuch	150
11	Umrechnungstabellen	172

12	Dampftafeln	
12.1.1	Solkane 22	180
12.1.2	Solkane 23	184
12.1.3	Solkane 123	187
12.1.4	Solkane 134a	191
12.1.5	Solkane 227	194
12.1.6	Solkane 404A	198
12.1.7	Solkane 407C	201
12.1.8	Solkane 410	204
12.1.9	Solkane 507	207
12.2.1	Solkane 32	210
12.2.2	Solkane 124	214
12.2.3	Solkane 125	217
12.2.4	Solkane 143a	220
12.2.5	Solkane 152a	223
13	Dampfdruck-Diagramm	228
14	Mollier-Diagramme	
14.1.1	Solkane 22	230
14.1.2	Solkane 23	231
14.1.3	Solkane 123	232
14.1.4	Solkane 125	233
14.1.5	Solkane 134a	234
14.1.6	Solkane 404A	235
14.1.7	Solkane 407C	236
14.1.8	Solkane 410	237
14.1.9	Solkane 507	238
14.2.1	Solkane 32	239
14.2.2	Solkane 143a	240
14.2.3	Solkane 152a	241

1 Die Solvay-Gruppe – eine Übersicht

Solvay ist eine international tätige, belgische Unternehmensgruppe der chemischen und pharmazeutischen Industrie mit Sitz in Brüssel. Sie beschäftigt weltweit 30.000 Mitarbeiter in 50 Ländern. Das Geschäft ist in die drei Unternehmensbereiche Pharma, Chemie, und Kunststoffe gegliedert und innerhalb dieser in strategischen, regionalen und operativen Geschäftseinheiten (Business Units) strukturiert.

In Deutschland wird die Gruppe von der Solvay Deutschland GmbH mit Sitz in Hannover repräsentiert. Zu ihr gehört eine ganze Reihe von Tochter- und Beteiligungsgesellschaften. Die deutsche Solvay-Gruppe beschäftigt rund 4.600 Mitarbeiter.

Kurzer geschichtlicher Rückblick

Die Geschichte der Solvay-Gruppe begann 1863, als Ernest Solvay (1838 – 1922) mit einem neuen, von ihm entwickelten Verfahren begann, gegen das damals angewandte Leblanc-Verfahren zur industriellen Herstellung synthetischer Soda anzutreten. Die Leblanc-Soda war wegen hoher Energiekosten sehr teuer. Außerdem fiel umweltschädliche, nicht verwertbare Salzsäure an. Beim Solvay-Verfahren hingegen wird – neben den Rohstoffen Salz und Kalkstein – als Prozeßchemikalie Ammoniak verwendet, das zurückgewonnen und dem Herstellprozeß wieder zugeführt wird. Mit seiner preiswerten Soda, die darüber hinaus umweltschonend herzustellen ist, kam Solvay der großen Nachfrage infolge der raschen Industrialisierung sehr entgegen. Nach kaum 20 Jahren besaß er ein Netz von Sodafabriken in ganz Europa, überall dort, wo er ausreichend Rohstoffe vorfand, und schon im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts war das Leblanc-Verfahren verschwunden. Noch heute wird jede Tonne synthetischer Soda nach dem Solvay-Verfahren hergestellt, und die Solvay-Gruppe ist nach wie vor Weltmarktführer.

Schon bald erweiterte Solvay das Produktionsprogramm auf andere anorganische Chemikalien, etwa Natriumbicarbonat und Ätznatron, das er zunächst auf einem Umweg durch Kaustifizierung der Soda gewann. Doch bereits 1898 betrieb er die erste Chlor-Alkali-Elektrolyse, die ihm Natronlauge auf direk-

tem Weg lieferte. Bei diesem Prozeß fallen Chlor und Wasserstoff als Nebenprodukte an. Doch auch dafür fand Solvay Verwendung. Aus Chlor wurden zunächst Salzsäure, für die es nun Märkte gab, und Natriumhypochlorit, später auch organische Chloride, hergestellt.

Die breitere Diversifizierung der Solvay-Gruppe bis hin zu den heutigen Unternehmensbereichen setzte verstärkt nach dem Zweiten Weltkrieg ein, nicht zuletzt aufgrund des Aufschwungs der Chlorchemie. Dabei war und ist es das Ziel, in denjenigen Bereichen zu wachsen, in denen Solvay über Wettbewerbsvorteile in der Technik und im Marketing verfügt. Mit dieser Strategie stieg Solvay zum Marktführer in zahlreichen Produktfeldern auf. Die drei Unternehmensbereiche im einzelnen:

Unternehmensbereich Chemie

Die heute wichtigsten Produktgruppen im Unternehmensbereich Chemie sind: Chlor/Natronlauge, Soda/Natriumbicarbonat/ gefälltes Calciumcarbonat, Chloride/Allylprodukte/ Glycerine, Fluorchemikalien, Barium- und Strontiumverbindungen, Wasserstoffperoxid/Persalze, unlöslicher Schwefel.

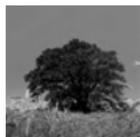
Solvay Fluor

Solvay Fluor – zwei Worte für die weltweit operierende Strategic Business Unit Fluorochemicals der internationalen Solvay Gruppe. Die Strategic Business Unit Fluorochemicals mit Sitz in Hannover setzt sich aus einer Vielzahl von kompetenten Gesellschaften mit elf Produktionsstätten – inklusive einer Flussspatmine – zusammen. Mit unserer Schwestergesellschaft Solvay Solexis, Italien (Fluormaterialien: Polymere, Elastomere, Fluids) sind wir auf diesem Wachstumsmarkt weltweit die Nummer 2.

Diese Organisationsstruktur ermöglicht es uns, flexibel auf die Anforderungen des Marktes zu reagieren und weltweit schnell und effektiv zu handeln – zum Vorteil unserer Kunden.

Kompetenz in der Fluorchemie

Solvay Fluor steht für ein professionelles Team hervorragender Chemiker und Kaufleute, deren Engagement der Fluorchemie gilt. Für eine starke Anwendungstechnik, die sich jeder Aufgabe stellt und in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden anstehende Probleme kompetent löst. Es steht nicht zuletzt für eine außergewöhnlich breite Palette an Fluorverbindungen und Spezialitäten, die weltweit an elf Standorten produziert werden.



Unsere Solkane®-Typen sind ein wichtiger Schritt zum Schutz der Umwelt



Alternative Treibmittel für pharmazeutische Aerosole

In der CF_3 -Chemie werden laufend neue Anwendungsgebiete erschlossen



Thorofare, NJ
Solkane®

Alorton, IL
Fluorwasserstoff
Anorganische Fluoride

Catoosa, OK
NOCOLOK® Flux

Houston, TX

Ciudad Juárez, Mexiko
Fluorwasserstoff
Ammoniumhydrogenfluorid



Das Flußmittel NOCOLOK® ermöglicht das vollautomatische Ofenlöten von Bauteilen aus Aluminium

Hannover/D
Solvay Fluor Zentrale

Brüssel/B
Forschung & Entwicklung

Tavaux/F
Solkane®
IXOL®

Tarragona/E
Solkane®
Pharmazeutische Treibmittel

Okorusu/Namibia
Flussspat

Frankfurt/Main/D

Solkane®
Pharmazeutische Treibmittel

Bad Wimpfen/D

Solkane®
Fluorwasserstoff
Organische Fluoride
Anorganische Fluoride
Fluoropolymere
Schwefelhexafluorid (SF_6)
Organische Zwischenprodukte

Porto Marghera/I

Solkane®

Spinetta Marengo/I

Solkane®
Sifren®



IXOL® – ein wirksamer Flammenschutz in Baustoffen aus Polyurethan-Schaum

Solvay Fluor ist der einzige Hersteller, der vom eigenen Rohstoff Flussspat ausgehend eine breit gefächerte Fluorproduktlinie anbietet.

Alternative Treib- und Kältemittel – Solkane®

Unter dem Handelsnamen Solkane® entwickeln und vertreiben wir Kältemittel, Lösemittel und Treibmittel für Schaumkunststoffe. Die bisher verwendeten vollhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe haben wir durch umweltgerechte Produkte ersetzt – allen voran das erfolgreiche Kältemittel Solkane® 134a oder das Treib- und Isoliermittel Solkane® 365mfc sowie Solkane 227pharma als Treibmittel im medizinischen Bereich.

Wir unterstützen unsere Kunden bei der Umstellung mit unserem anwendungstechnischen Wissen und unserer jahrzehntelangen Erfahrung.

F₂ – elementares Fluor ist unser Metier

Permeationshemmend, abriebfest, besser lackierbar, bedruckbar, beklebbar – mit elementarem Fluor können die Oberflächeneigenschaften von Kunststoffen erheblich verbessert werden. So können fluoridierte Kunststoffe oft andere, erheblich aufwendigere Materialien ersetzen. Aber wir liefern nicht nur den Grundstoff Fluor, sondern auch das erforderliche anwendungstechnische Know-how dazu.

Anorganische Fluoride – unverzichtbare Helfer

Solvay Fluor zählt zu den führenden Herstellern anorganischer Fluoride. Wir stehen für Qualität, Innovation, Know-how und eine breite, erfolgreiche Produktpalette. Nahezu alle Industriezweige sind die Nutznießer unserer Leistungen. Schleifen, Lötten und Schweißen wäre ohne den Einsatz von Fluoriden kaum denkbar und für die Herstellung und Bearbeitung von Spezialgläsern sind sie unverzichtbar. Sogar das Lötten von Aluminiumbauteilen, z. B. in Automobil und Kältetechnik, wird zur Zeit durch unser Flußmittel NOCOLOK® Flux grundlegend revolutioniert. Sifren® ist ein Ätzgas neuester Generation für die Halbleiterindustrie.

CF₃/CF₂-Chemie –

wachsender Markt der Organischen Zwischenprodukte

Unsere Fluorspezialitäten dienen als wichtige Synthesebausteine. So erhöhen CF₃/CF₂-Komponenten die Reaktivität der jeweiligen Wirkstoffe – ein Beispiel, das sich Pharmazie und Agrochemie zunutze machen.

Unternehmensbereich Kunststoffe

Der bedeutendste Schritt auf dem Weg zur Nutzung des Chlors begann in den fünfziger Jahren, als es gelang, unter Verwendung von Ethylen den Kunststoff Polyvinylchlorid (PVC) herzustellen. Solvay als bedeutender Chlorhersteller nutzte die Gunst der Stunde. Das war der Einstieg in den Unternehmensbereich Kunststoffe.

Die sechziger Jahre waren geprägt von der stürmischen Entwicklung der Kunststoffindustrie, an der Solvay ebenfalls teilhaben wollte. Folgerichtig begann die Gruppe mit der Produktion auch von Polyolefinen, nämlich Polyethylen – unter Spezialisierung auf Polyethylen hoher Dichte (HDPE) – und Polypropylen (PP). Darüber hinaus gab Solvay mit der Entwicklung von Katalysatoren für die Polymerisierung der Kunststoffindustrie wichtige Impulse.

Parallel zu diesen Basiskunststoffen entwickelte die Gruppe technische Polymere mit besonderen Eigenschaften für Spezialanwendungen, unter anderem Polyarylamid (PA), Polyvinylidenfluorid (PVDF) und Polyvinylidenchlorid (PVDC).

Heute gehört die Solvay-Gruppe weltweit zu den bedeutenden Kunststoffherstellern.

Irgendwann lag es nahe, sich die Erfahrung mit der Herstellung von Kunststoffen auch für deren Verarbeitung zunutze zu machen. Durch Errichtung von eigenen Produktionsstätten, aber auch durch Zukäufe und Beteiligungen, verfügt die Solvay-Gruppe heute über ein weitverzweigtes Netz von Verarbeitungsbetrieben. Schwerpunkte sind Präzisionsteile, Systeme und Module für die Kfz-Industrie, Folien für Auto- und Bauindustrie, für Holz- und Blechkaschierung, für Büro- und Organisationsmittel, für Verpackungen und Dekorationsfolien sowie Rohrsysteme für die Gas- und Wasserversorgung.

Unternehmensbereich Pharma

Die bedeutende Stellung, die sich Solvay in der organischen Chemie erworben hatte, führte die Gruppe schon in den fünfziger Jahren zur Biochemie, also auch zum Pharmabereich. Doch erst zu Beginn der achtziger Jahre entschloß sich Solvay, diesen Unternehmensbereich stärker auszubauen. Die Folge waren Zukäufe, Beteiligungen und strategische Allianzen in verhältnismäßig schneller Folge, vor allem in Deutschland, den Niederlanden und den USA. Heute genießt das Pharmageschäft im Hinblick auf Forschung und Entwicklung, aber auch in bezug auf geschäftliche und regionale Ausbreitung, hohe Priorität.

Wie in allen anderen Unternehmensbereichen konzentriert Solvay sich auch im Pharmageschäft auf bestimmte Kernkompetenzen. Hier sind das die Indikationsgebiete Kardiologie, Gastroenterologie, Psychiatrie und Gynäkologie. Darüber hinaus hat sich die Gruppe mit einer Reihe von rezeptfreien Medikamenten einen Namen gemacht.

Mit einer straffen und effizienten internationalen Arbeitsteilung in Forschung und Entwicklung, Produktion, Marketing und Vertrieb unter dem Dach der in Brüssel angesiedelten Strategic Business Unit Pharmaceuticals begegnet Solvay den neuen Herausforderungen, die im Gesundheitswesen besonders prägnant zutage treten.

Für die Zukunft gerüstet

Von den Anfängen mit einer kleinen Sodafabrik im belgischen Couillet hat sich Solvay zu einer weltumspannenden Unternehmensgruppe der chemischen und pharmazeutischen Industrie entwickelt. Ihre Unternehmensphilosophie ist traditionell darauf ausgerichtet, sich auf solche Bereiche zu konzentrieren, in denen sie über besondere Erfahrung und Kompetenz verfügt. Das breit gefächerte Programm ist das Ergebnis systematischer Produktentwicklung. Die historisch gewachsene Diversifizierung wird von allen vier Unternehmensbereichen getragen, die einer einheitlichen unternehmerischen Gesamtstrategie folgen.

Solvay verdient Vertrauen.

2 Kältemittel-Historie

Als Carl von Linde 1876 seine erste Ammoniak-Verdichter-Kältemaschine baute, zog er durch seine umwälzende Entwicklung einen Schlußstrich unter die vielen Bemühungen und Versuche, die seit dem klassischen Altertum unternommen wurden, Kälte zu erzeugen.

Die Aufgabe der Kälteerzeugung ist die Herstellung und Aufrechterhaltung eines Zustandes niedrigerer Temperatur als ihn die Umgebung aufweist.

Da eine Temperatursenkung nur durch den Entzug von Wärme herbeigeführt werden kann, ist Kälteerzeugung demnach gleichbedeutend mit Wärmezug.

Hierfür steht jedoch kein Körper genügend tiefer Temperatur zur Verfügung, so daß man sich schon in der Antike einige physikalische und chemische Eigenschaften und Vorgänge zunutze machte, die es ermöglichten, Temperatursenkungen herbeizuführen.

So kühlt man seit der Antike Getränke unter Ausnutzung der Verdunstungskälte. Im Paris des 17. Jahrhunderts wurde Speiseeis mit Hilfe von Kältemischungen produziert.

200 Jahre später begannen Amerikaner und Skandinavier, Natureis in großen Mengen für Kühlzwecke zu exportieren. Doch bedeutete dies keine befriedigende Lösung, da einmal die erreichten Temperaturen nicht niedriger als +4 bis +2°C waren, zum anderen Natureis nicht keimfrei ist und deshalb nicht bedenkenlos zur Kühlung von Lebensmitteln eingesetzt werden kann.

Gleichzeitig wurden große Anstrengungen unternommen, Maschinen und Apparate zu konstruieren und auch zu bauen, die den Zweck hatten, der Umgebung durch Verdampfen von Flüssigkeiten Wärme zu entziehen und somit Kälte zu erzeugen.

Während man ursprünglich annahm, Wärme sei ein unwägbarer Stoff, erkannte Robert Mayer im Jahre 1840 als erster, daß Wärme mechanischer Arbeit, also einer Energieform, gleichzusetzen ist.

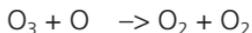
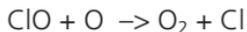
Joule konnte 1843 die Überlegungen Mayers, ohne sie zu kennen, experimentell bestätigen, indem er in ein mit Wasser gefülltes Gefäß einen Rührer einbaute, der durch ein herabsinkendes Gewicht in Drehung versetzt wurde. Er maß dann die Erwärmung des Wassers, die einem bestimmten Herabsinken des Gewichts entsprach. Das so gefundene Verhältnis von Wärmemenge zu mechanischer Arbeit heißt das „mechanische Wärmeäquivalent“.

Wärme geht jedoch in keinem Fall von selbst von einem kälteren auf einen wärmeren Körper über, es sei denn unter gleichzeitiger Aufwendung von Arbeit. Deshalb bringt man den zu kühlenden Körper mit einem zuvor durch Aufwendung von Arbeit auf die gewünschte niedrige Temperatur gebrachten Stoff, dem Kältemittel, in Berührung. Hierbei wird dann bei konstanter oder wechselnder Temperatur eine entsprechende Wärmemenge von dem Kältemittel übernommen.

Verständlicherweise ist es aus wirtschaftlichen Gründen unmöglich, immer neues Kältemittel einzusetzen. Man bedient sich deshalb eines Kreisprozesses, der von demselben Kältemittel immer wieder durchlaufen wird.

Bei den nach diesem Prinzip arbeitenden Kältemaschinen unterscheidet man zwischen Absorptionsmaschinen, in denen der Kältemitteldampf von einem anderen Stoff absorbiert und anschließend durch Kochen wieder ausgetrieben wird, und Verdichter-Kältemaschinen, in denen die Dämpfe mit Hilfe eines Verdichters abgesaugt, verdichtet und im Verflüssiger wieder verflüssigt werden. Für letztere Maschinen wurden fluorhaltige Kältemittel entwickelt, um gefährliche Kältemittel zu ersetzen.

Kältemittel, die sich in jahrzehntelangem Einsatz bewährt haben, sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Diese wurden von der Kali-Chemie AG unter dem Handelsnamen Kaltron vertrieben. In 1974 wurde erstmals die Theorie zum stratosphärischen Ozonabbau von Rowland und Molina veröffentlicht. Die Theorie beinhaltete, daß FCKW durch Luftströmungen in die Stratosphäre gelangen. Aufgrund der hohen Stabilität der FCKW – die ein großer Vorteil dieser Stoffe in der Anwendung war – gelangen sie in die Stratosphäre. Die Stratosphäre ist eine Atmosphärenzone in einer Höhe von etwa 15 – 50 km. Die Strahlung der Sonne ist dort so energiereich (UV-Strahlung), daß FCKW aufgespalten werden können, wobei freie Chloratome entstehen. Die freien Chloratome können mit Ozon zu molekularem Sauerstoff reagieren:



Die Wissenschaft entwickelte in den 70er-Jahren verschiedene Modelle, um die Theorie von Rowland und Molina zu bestätigen. Allerdings waren diese Modelle noch unzureichend. Es stand auch keine ausgereifte Meßtechnik zur Bestimmung der Ozonkonzentration oder der Konzentration der chlorhaltigen Produkte in der Atmosphäre zur Verfügung.

Zwischen 1980 und 1985 wurde mit verbesserter Meßtechnik eine Abnahme der stratosphärischen Ozonkonzentration über der Antarktis gemessen. Die Abnahme wurde jedes Jahr zwischen Oktober und Dezember festgestellt. Im Winter '86/'87 konnte bei Flügen über der Antarktis der vorhergesagte Zusammenhang zwischen der Abnahme der Ozonkonzentration und der Zunahme der Chlormonoxid-Konzentration belegt werden.

Die vielen unterschiedlichen Einflußfaktoren der Atmosphären-Chemie erschweren das Aufstellen exakter Modelle. Hinzu kam der Ausbruch des Pinatubo-Vulkans, der zusätzlich die Atmosphäre beeinflusste und belastete.

Mittlerweile besteht kein Zweifel an dem Zusammenhang zwischen Ozonabbau und FCKW.

Als Folge trafen sich im September 1987 etwa 70 Nationen, um über Maßnahmen zur Regelung von ozonabbauenden Substanzen zu beraten. Man beschloß damals einen schrittweisen Ausstieg aus der Produktion und Anwendung von FCKW bis zum Jahre 2000 (für entwickelte Länder). Der Beschluß ist als Montreal Protokoll bekannt. Das Ausstiegsszenario wurde bei Folgekonferenzen revidiert bzw. verschärft (z.B.: London 1990, Kopenhagen 1992, Wien 1995).

Dem Montreal Protokoll folgten weitere legislative Maßnahmen wie z.B. die EG-Verordnung oder nationale FCKW-Verbots-Verordnungen, die gegenüber dem Montreal Protokoll vorgezogene Ausstiegstermine festschreiben.

Die Ära der Anwendung von FCKW ist in den entwickelten Ländern beendet. Solvay ist der erste Hersteller, der weltweit die Produktion von FCKW vollständig eingestellt hat. Weltweit wurde bzw. wird die Entwicklung von geeigneten Ersatzstoffen vorangetrieben. In der Kältetechnik wurde durch den FCKW-Ausstieg ein Innovationsschub ausgelöst. Optimierte Anlagentechnik und energieeffiziente Kältemittel leisten einen Beitrag zur Entlastung der Umwelt.

3 Die neue Solkane®-Kältemittel-Generation

3.1 Grundlagen

3.1.1 HFKW (Hydrogenfluorkohlenwasserstoffe) und HFCKW (Hydrogenfluorchlorkohlenwasserstoffe) als Kältemittel

Das langfristige Lieferprogramm für Kältemittel ohne Ozonabbaupotential von Solvay umfasst folgende Typen (Ausnahme Solkane 22, ODP = 0.055 und Solkane 123, ODP = 0.02):

Typ	Siedepunkt	Chemische Bezeichnung/Formel	Kurzzeichen
Solkane 22	- 40.8 °C	Chlordifluormethan/CHClF ₂	R22
Solkane 23	- 82.0 °C	Trifluormethan/CHF ₃	R23
Solkane 123	27.6 °C	1.1-Dichlor-2.2.2-trifluorethan/CHCl ₂ CF ₃	R123
Solkane 134a	- 26.1 °C	1.1.1.2-Tetrafluorethan/CH ₂ FCF ₃	R134a
Solkane 227	- 16.4 °C	1.1.1.2.3.3.3-Heptafluorpropan/CF ₃ CHFCF ₃	R227ea
Solkane 404A	- 46.2 °C	Nahe-Azeotrop R125/R143a/R134a/ CHF ₂ CF ₃ /CH ₃ CF ₃ /CH ₂ FCF ₃	R404A
Solkane 407C	- 43.6 °C	Zeotrop R32/R125/R134a/ CH ₂ F ₂ /CHF ₂ CF ₃ /CH ₂ FCF ₃	R407C
Solkane 410	- 51.4 °C	Nahe-Azeotrop R32/R125/ CH ₂ F ₂ /CHF ₂ CF ₃	R410A
Solkane 507	- 46.7 °C	Azeotrop R125/R143a/ CHF ₂ CF ₃ /CH ₃ CF ₃	R507

außerdem die folgenden Komponenten für Kältemittel-Gemische:

Solkane 32	- 51.6 °C	Difluormethan/CH ₂ F ₂	R32
Solkane 125	- 48.1 °C	Pentafluorethan/CHF ₂ CF ₃	R125
Solkane 143a	- 47.3 °C	1.1.1-Trifluorethan/CH ₃ CF ₃	R143a
Solkane 152a	- 24.0 °C	1.1-Difluorethan/CH ₃ CHF ₂	R152a

3.1.2 Nomenklatur

Die angeführten Solkane-Typen sind Abkömmlinge des Methans, Ethans bzw. Propans, wobei der Wasserstoff teilweise durch Fluor (bei den HFKW) bzw. Fluor und Chlor bei den Übergangskältemitteln Solkane 22 und 123 substituiert ist. Als Nomenklatur für die oben erwähnten Typen gilt die allgemeine Formel



wobei $n + p + q = 2m + 2$ ist.

m = Zahl der Kohlenstoffatome

n = Zahl der Wasserstoffatome

p = Zahl der Chloratome

q = Zahl der Fluoratome.

Von p wird in der Numerierung kein Gebrauch gemacht, da es durch die drei anderen Größen bereits gegeben ist. Daher sind die Nummern der einzelnen Solkane-Typen dreistellig und werden in der Form **HZE** geschrieben. Die Zahl H wird jedoch weggelassen, wenn sie Null ist (bei den Methan-Abkömmlingen).

Als allgemeines Zeichen für Kältemittel wird R (Refrigerant) vorgesetzt.

Es kennzeichnen:

H = $m - 1$ die Zahl der Kohlenstoffatome

Z = $n + 1$ die Zahl der Wasserstoffatome

E = q die Zahl der Fluoratome.

So ergeben sich z. B. für:

$CHClF_2$ (mit $m = 1, n = 1, q = 2$) R 22

$C_2H_2F_4$ (mit $m = 2, n = 2, q = 4$) R 134

C_3HF_7 (mit $m = 3, n = 1, q = 7$) R 227

Die Bezeichnung der cyclischen Kohlenwasserstoffe bleibt die gleiche wie oben angegeben. Vor die Nomenklaturnummer wird lediglich ein C gesetzt (Beispiel: $\underbrace{CH_2-CH_2}_{CH_2} = RC270$).

Treten Isomere auf, so trägt die symmetrische Form keinen Zusatz. Die asymmetrischen Verbindungen erhalten die Zusatzbuchstaben a, b, c etc.; die Buchstabenfolge steigt mit der Entfernung von der symmetrischen Struktur an (Beispiel: Solkane134a = CH_2F-CF_3).

Weiterführende Erläuterungen sind in ASHRAE Standard 34 gegeben.

3.1.3 Stand der Entwicklung der HFKW- und HFCKW-Ersatzkältemittel

3.1.3.1 Ersatzkältemittel für R11

R11 ist in Neuanlagen (siehe Kapitel 9 „Vorschriften“) nicht mehr zulässig. R123 (ein HFCKW) ist ein Ersatzstoff für R11, speziell für Turboanlagen. Die physikalischen Eigenschaften dieses Stoffes weichen nur geringfügig von den R11-Daten ab. Das energetische Verhalten von R123 unterscheidet sich im direkten Vergleich zu R11. Die volumetrische Kälteleistung sowie die theoretische Kälteleistungszahl (ca. 3% niedriger) von R123 sind geringer. Das Hubvolumen eines R123-Verdichters muß im Vergleich zu einem R11-Verdichter größer sein, um vergleichbare Kälteleistungszahlen zu erzielen.

Ein Vorteil von R123 ist, daß keine neuen Schmiermittel für diesen Ersatzstoff benötigt werden. R11 geeignete Mineralöle sind auch für R123 geeignet. Ferner ist die Umstellung von bestehenden R11-Turbo-Kaltwassersätzen auf R123 möglich. R123 und R11 sind miteinander mischbar.

3.1.3.2 Ersatzkältemittel für R12

Die deutsche FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 6.5.1991 und die Bekanntmachung von Ersatzkältemitteln für R12-haltige Erzeugnisse nach der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 21.12.1995 haben den Ausstieg von R12 bis spätestens 30.6.1998 festgelegt, mit Ausnahme von steckerfertigen Geräten mit einem dauerhaft geschlossenen Kreislauf und Kältemittelmenge unter 1 kg (siehe Kapitel 9 „Vorschriften“).

Ersatzkältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential sind anstelle von R12 einsetzbar. Nach dem Stand der Technik können die Kältemittel R134a bzw. R22 verwendet werden.

Aufgrund der ähnlichen physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften ist R134a der geeignete R12-Ersatz. Die Kälteindustrie hat die technischen Voraussetzungen für die Anwendung von R134a geschaffen. Entsprechende Komponenten bzw. Maschinen- und Anlagenbauteile werden angeboten. Ferner ist die Umstellung bestehender R12-Kälteanlagen auf R134a möglich. R134a wird sowohl in neuen Anlagen als auch in umgestellten R12-Altanlagen kommerziell eingesetzt. Der Umgang mit R134a ist einfach und sicher. R134a

ist nicht brennbar. Zahlreiche Anwendungsfälle in der Kältetechnik zeigen, daß R134a das geeignete Kältemittel ist, um R12 zu ersetzen.

Bei der Umstellung von R12-Altanlagen können auch R22-haltige Gemische zum Einsatz gelangen.

3.1.3.3 Ersatzkältemittel für R13 und R13B1

R13B1 und R13 sind in Neuanlagen (siehe Kapitel 9 „Vorschriften“) als Kältemittel nicht mehr erlaubt. Für das Tieftemperaturkältemittel R13B1 kann als Ersatz R410A verwendet werden. Das Kältemittel R13B1 wurde zum Beispiel in Tiefkühlanlagen mit Verdampfungstemperaturen zwischen -70°C und -50°C eingesetzt. Nach Prüfung der Betriebsbedingungen und der Auslegung der Anlage kann R13B1 im Retrofit-Verfahren gegen R410A ausgetauscht werden.

Das Kältemittel R13, das für Verdampfungstemperaturen zwischen -90°C bis -70°C eingesetzt wurde, kann durch R23 ersetzt werden. Die physikalischen Eigenschaften von R13 und R23 sind sehr ähnlich. Umstellungen von R13-Kaskadenkälteanlagen auf R23 wurden in der Praxis durchgeführt und sind ohne größere Probleme möglich.

3.1.3.4 Ersatzkältemittel für R22

Der Einsatz von R22 wird in Neuanlagen ab dem Jahr 2000 in Deutschland nicht mehr zulässig sein. Durch den breiten Anwendungsbereich dieses Kältemittels wird es keinen – wie mit R134a in idealer Weise für R12 möglich – einzelnen Stoff geben, der alle technischen Vorteile von R22 bieten kann.

Bei kompakten Einheiten läßt sich ein eindeutiger Trend zu R410A als effizientes Hochleistungskältemittel erkennen. Auch wird der Einsatz von R410A in Wärmepumpen – nach vorübergehender Einführung von Propan – als sehr vielversprechend eingestuft, da hierbei eine – im Vergleich zu R22 und Propan – erhebliche Baugrößenreduzierung möglich ist. Neben einer Verbesserung der Jahresarbeitszahl – mit mindestens gleichwertigem TEWI-Wert – ist der verringerte Platzbedarf hier ein Entscheidungsgrund für den Einsatz dieses Kältemittels.

R22-Anwendungen werden derzeit bereits auch durch die R502-Ersatzkältemittel R404A und R507 realisiert. Insbesondere im Supermarktbereich wird die Möglichkeit verfolgt, nur ein Kältemittel im Normal- und im Tiefkühltemperaturbereich einzusetzen, um eine anlagentechnische Kostenreduzierung zu erreichen.

Wird der Einsatz von R22 im klimatechnisch relevanten Bereich mit Verdampfungstemperaturen von $t_0 = 0^\circ\text{C}$ betrachtet, lassen sich mit R134a z.T. deutlich bessere Kälteleistungszahlen und damit ein geringerer Energieverbrauch erreichen. Nachteil ist hier, daß die geringere volumetrische Kälteleistung von R134a vergrößerte Maschinen bei dem Ersatz von R22 erfordert.

Das zeotrope Kältemittel R407C ist entwickelt worden, um die Dampfdruckkurve von R22 wiederzugeben. Es eignet sich in Sonderfällen als direkter Retrofit-Ersatz für R22, wenn die gleichen Randparameter gelten und die gleichen Leistungsdaten erreicht werden sollen.

Der Einsatz des Glide-Kältemittels R407C zeigt eine steigende Tendenz. Hierbei erhöhen sich die technischen Anforderungen an die ausführenden Betriebe und auch an die Komponenten- und Anlagenhersteller.

Das nahe-azeotrope Kältemittel R410A fällt durch seine deutlich höhere Drucklage auf. Am Beispiel der Wärmepumpenanwendung zeigt sich, daß eine höhere Kälteleistung im Vergleich zu R22, R407C und auch zu Propan erreicht wird. Der Einsatz von R410A führt hier zu erheblich kleineren Baugrößen und zu geringeren Kosten als bei R22, R407C und Propan. Das Kältemittel R410A kann jedoch aufgrund der hohen Drucklage nicht als Retrofit-Kältemittel für R22 eingesetzt werden.

Es existieren im Gegensatz zu R134a als Ersatz zu R12 keine Kältemittel, die in allen Anlagen für R22 eingesetzt werden können. Dieser grundsätzliche Unterschied führt dazu, daß ein Ersatzstoff für R22, der in bestehenden, dem Bestandschutz unterliegenden Anlagen eingesetzt werden soll, nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht vorhanden ist.

3.1.3.5 Ersatzkältemittel für R502

Das Kältemittel R502 ist in Neuanlagen nach der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung nicht mehr erlaubt.

Der Ausstieg aus R502 wird aufgrund der zukünftig nicht vorhandenen R502-Komponenten und mangels Kältemittel R502 vor einer Bekanntgabe durch den Gesetzgeber realisiert sein.

Das Kältemittel R502 kann durch keinen Einzelstoff ersetzt werden, wie das bei R134a als Substitut für R12 der Fall ist. Hier sind Kältemittelmischungen erforderlich. Ersatzkältemittel für R502 mit einem Ozonabbaupotential von Null sind bereits „Stand der Technik“.

Es handelt sich um die nach der ASHRAE-Nomenklatur benannten Kältemittelgemische R404A, R407A, R407B und R507, die inzwischen unter diesen Bezeichnungen im Markt eingeführt sind.

Der Kältemittelmarkt für diese Ersatzstoffe teilt sich aber auf die beiden Stoffe R404A und R507 auf. Die stark zeotropen Gemische R407A und B, die einen deutlich ausgeprägten Temperatur-Glide aufweisen, konnten sich in diesem Maße nicht durchsetzen. Die Eigenschaften der beiden Kältemittel R404A und R507 werden nach wie vor kontrovers diskutiert. Die lebhafte R404A/R507-Diskussion tritt aber in Deutschland bereits mit der beginnenden Umrüstung von R12-Altanlagen in den Hintergrund. Unter Umständen ist mit einem Ausstieg aus R502 noch vor Realisierung des R12-Ausstiegs zu rechnen. Die Komponenten wie Verdichter, Expansionsorgane usw. sind für das FCKW-Kältemittel R502 bei den Herstellern nicht mehr verfügbar, d.h. die R502-Kälteanlagen können mittelfristig nicht mehr gewartet werden, da auch die Bestände der Großhändler erschöpft sind. Darüber hinaus wird die R502-Komponente R115 am Weltmarkt nicht mehr produziert, so daß das Kältemittel R502 nur noch aus Lagerbeständen verfügbar ist.

3.1.4 Fluorhaltige Methan-Abkömmlinge

Die 15 Methan-Abkömmlinge (einschl. des Methans selbst) sind in Abbildung 1 mit ihren Siedepunkten, MAK-Werten (soweit bekannt) und Explosionsgrenzen (soweit brennbar und bekannt) aufgeführt.

Wie ersichtlich, steigt der Siedepunkt bei Austausch eines Wasserstoffatoms durch ein Chloratom vom Methan bis Tetrachlorkohlenstoff an, während die Substitution von Chloratomen durch Fluoratome eine Erniedrigung des Siedepunktes ergibt.

Die Substitution von Wasserstoff oder Chlor durch Fluor setzt die Toxizität in den meisten Fällen stark herab, was bei den kommerziell verwendeten Produkten zutrifft. Auch die Brennbarkeit bzw. die Neigung zur Bildung explosiver Gemische mit Luft wird um so geringer, je mehr Wasserstoff durch Fluor oder Chlor ersetzt ist. Methan-Abkömmlinge mit ein oder zwei Halogenatomen sind noch brennbar, während bei drei und vier Halogenatomen im Molekül keine Brennbarkeit bzw. Explosivität vorliegt.

Mit steigendem Fluorgehalt nimmt die Stabilität dieser Verbindungen zu, aber auch der GWP-Wert, während der POCP-Wert abnimmt. Der Grund hierfür liegt in der großen Bindungsenergie der C-F-Bindung. Mit zunehmendem Chlorgehalt steigen die Molekulargewichte und auch die Dichten an.

MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration gemäß DFG

SAEL: Solvay Acceptable Exposure Limit

UL6: Klassifizierung gemäß Underwriters Laboratories (USA)

TRK: Technische Richtkonzentration nach der Gefahrstoffverordnung

 Explosionsgrenzen, Volumenprozent in trockener Luft

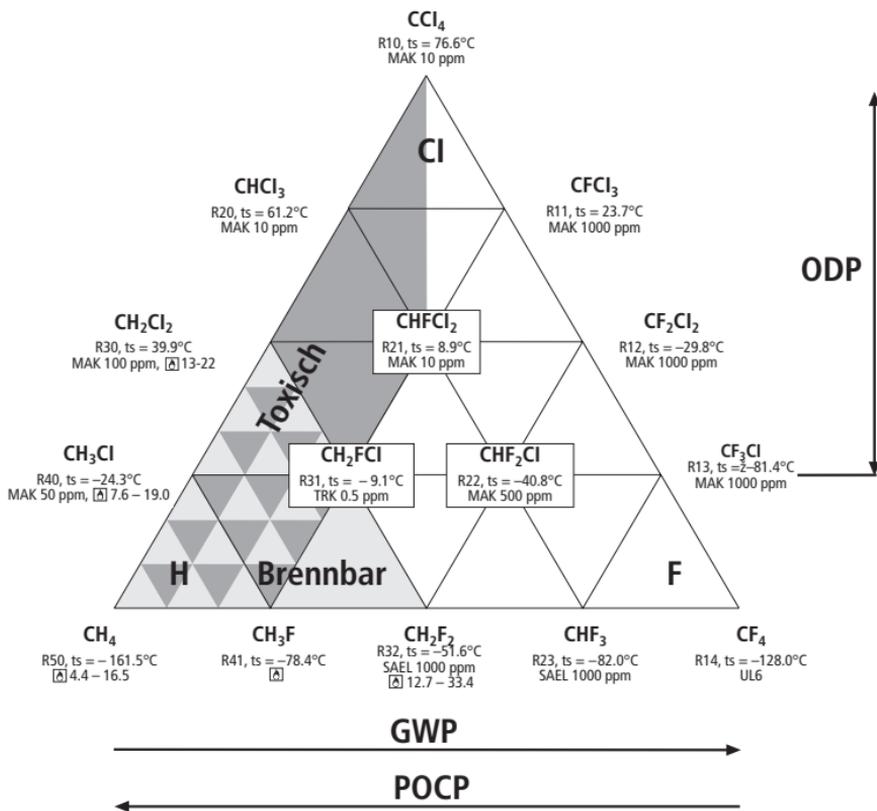


Abbildung 1: Fluor-Chlor-Abkömmlinge des Methans

3.1.5 Fluorhaltige Ethan-Abkömmlinge

Die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten über die verschiedenen Eigenschaften der Methan-Verbindungen in Abhängigkeit von der chemischen Struktur gelten auch weitgehend für die 28 Grundverbindungen des Ethans (einschl. des Ethans selbst). In Abbildung 2 sind die wichtigsten Isomeren mit ihren Siedepunkten, Toxizitätswerten und Explosionsgrenzen – soweit bekannt und zutreffend – angeführt.

Wegen der zahlreichen Isomeren erhöht sich die Zahl der möglichen Verbindungen sogar auf 55. Der Siedepunkt nimmt auch hier bei Substitution eines H-Atoms durch ein Cl-Atom zu, bei Austausch eines Cl-Atoms durch ein F-Atom wiederum ab. Diese Abnahme ist jedoch kleiner als bei den Methan-Derivaten. Der Einfluß des steigenden Fluorgehaltes bezüglich Toxizitäts-, Brennbarkeits- und Umweltparametern verhält sich analog zu den Methan-Abkömmlingen.

- MAK: Maximale Arbeitsplatzkonzentration gemäß DFG
 AEL: Acceptable Exposure Limit
 SAEL: Solvay Acceptable Exposure Limit
 UL6: Klassifizierung gemäß Underwriters Laboratories (USA)
 EL: Exposure Limit (PAFT)
 OEL: Occupational Exposure Limit (PAFT)
 TRK: Technische Richtkonzentration
 nach der Gefahrstoffverordnung
 ☐ Explosionsgrenzen, Volumenprozent
 in trockener Luft

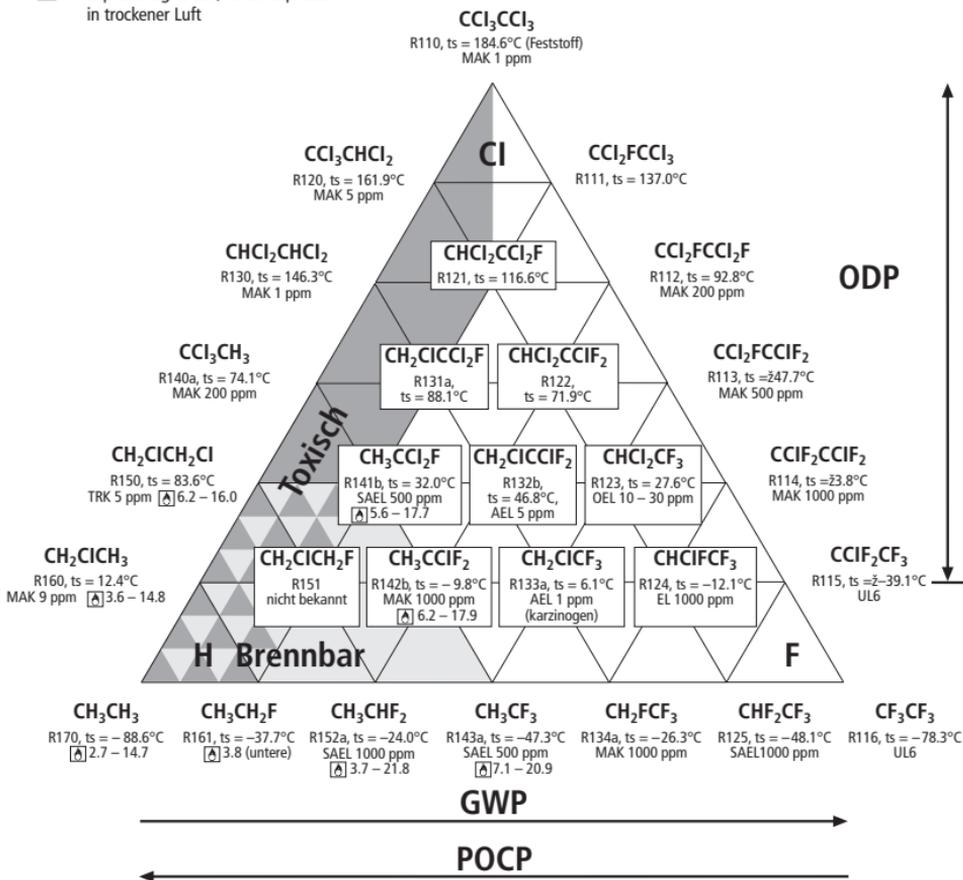


Abbildung 2: Fluor-Chlor-Abkömmlinge des Ethans

3.1.6 Kältemittel-Gemische

Die Fluorchlorkohlenwasserstoff-Kältemittel (FCKW) lassen sich in gewissen Fällen nicht durch Reinstoffe sondern nur durch Gemische (Mischungen von zwei oder mehr Kältemitteln) von Ersatzstoffen substituieren. Man unterscheidet azeotrope, nicht-azeotrope und nahe-azeotrope Gemische.

Azeotropes Gemisch

(kurz Azeotrop, Beispiel: R502, R507): Mischung aus zwei oder mehreren Flüssigkeiten, bei der im Gleichgewichtszustand Flüssigkeit und Dampf die gleiche Zusammensetzung aufweisen. Die azeotrope Zusammensetzung selbst ist eine Funktion von Druck und Temperatur. Azeotrope haben einen tieferen oder höheren Siedepunkt als die einzelnen Gemischkomponenten. Der Dampfdruck des Gemisches wird entsprechend höher oder niedriger sein als der der Einzelkomponenten. Durch Destillation können Azeotrope nicht getrennt werden.

Nichtazeotropes Gemisch

(kurz: Nichtazeotrop bzw. Zeotrop, Beispiel: R407C): Gemisch von Kältemitteln, dessen Dampf und Flüssigkeit im gesamten Konzentrationsbereich unterschiedliche Zusammensetzungen aufweisen. Bei nichtazeotropen Gemischen ist der Dampf mit den tiefer siedenden bzw. leichter flüchtigen Komponenten angereichert. Nichtazeotrope Kältemittel haben einen Temperatur-Glide. Ist dieser Glide groß, so kann es zu Problemen hinsichtlich des Betriebes der Kälteanlage kommen (Regelung, Leckagen, Wärmeübergang, Separationserscheinungen in der Anlage, Handhabung).

Nahe-azeotropes Gemisch

(Beispiel: R404A): Nichtazeotrop mit einem geringen Temperatur-Glide, der praktisch ohne Folgen für eine spezifische Anwendung vernachlässigt werden kann.

Temperatur-Glide

Differenz zwischen Siede- und Taupunkttemperatur bei konstantem Druck.

Solvay hat sich die Aufgabe gestellt, dem Anwender möglichst einfache Lösungen zum langfristigen Ersatz von FCKW-Kältemitteln anzubieten. Daher geben wir Einstoffkältemitteln den Vorzug. Ist der Einsatz eines Einstoffkältemittels aufgrund der thermodynamischen Eigenschaften nicht möglich, so bieten wir azeotrope Kältemittelgemische an. Ist auch dieses nicht möglich, empfehlen wir nahe-azeotrope Kältemittel. Hierbei gilt die Solvay-Richtlinie, daß der Temperatur-Glide kleiner 0.2K sein soll. Nichtazeotrope Gemische schlagen wir erst als letzte Lösungsmöglichkeit vor.

3.2 Solkane®-Kältemittel

3.2.1 Die Kältemittel Solkane® 22, 23, 123, 134a, 227, 404A, 407C, 410, 507

Solkane® 22

(Chlordifluormethan; CHClF_2)

Siedepunkt bei 1.013 bar – 40.8°C / Molmasse 86.47

Solkane 22 ist ein Mitteldruckkältemittel wie Ammoniak, es hat aber den Vorteil des kleineren Druckverhältnisses. So können zweistufig Temperaturen von –60 bis –75°C erreicht werden. Kolbenverdichter (auch Rotations- und speziell Schraubenverdichter) werden normalerweise für R22 eingesetzt, wobei die Hermetiks einen beträchtlichen Prozentsatz ausmachen. Bei tiefen Temperaturen, d.h. großem Hubvolumen, werden auch Turboverdichter benutzt. R22 ist ein mögliches Übergangskältemittel als Ersatz für FCKW 12 und FCKW 502 in Tieftemperaturanwendungen und in Gemischen für den gesamten R12-Anwendungsbereich. Dabei ist zu beachten, daß die volumetrische Kälteleistung gegenüber R12 um etwa 60% größer ist.

R22 ist ein sehr gut bekanntes und umfassend untersuchtes Kältemittel. Es ist das zur Zeit weltweit am häufigsten eingesetzte Kältemittel und gelangt in einem weiten Anwendungsspektrum (üblicher Verdampfungstemperaturbereich –40 bis –5°C° zum Einsatz wie in Tiefkühltheken, -schränken, Gefriertruhen, Klimaanlage, Kühlräumen, Kältekammern für Zwecke der Wissenschaft, in der Transportkälte, Gewerbekälte (speziell in Supermärkten), Industriekälte, aber auch in Wärmepumpen.

Solkane 22 ist nicht brennbar und toxikologisch unbedenklich (MAK-Wert 500 Vol.-ppm, EG-Richtgrenzwert 1000 Vol.-ppm). Der ODP-Wert ist gegenüber R12 um 94.5% reduziert. Wegen des restlichen ODP-Wertes von 5.5% ist R22 als „Gefährlich für die Umwelt“ zu kennzeichnen. In Deutschland ist dieses Kältemittel in Neuanlagen noch bis Ende 1999 erlaubt, in Altanlagen und für Servicezwecke auch darüber hinaus.

Unter Kältemaschinenbedingungen ist R22 thermisch und chemisch stabil. Die Verträglichkeit gegenüber Metallen ist vergleichbar der von R12. Übliche Konstruktionsmaterialien sind: Kupfer, Messing, Monel-Metall, Nickel, Gußeisen, Stahl und Aluminium. Auf Magnesium, Blei, Zink und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte verzichtet werden.

Gegenüber Kunststoffen und Elastomeren ist R22 aggressiver als R12 und führt verschiedentlich zu verstärkter Quellung. Chloroprenkautschuk (CR), chloresulfoniertes Polyethylen (CSM) und Polytetrafluorethylen (PTFE) sind brauchbar, nicht jedoch Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) und Fluor-Kautschuk-Typen (FKM-Typen).

R22 und Mineralöle sind bei höheren Temperaturen meist vollständig mischbar, bei tieferen jedoch nur beschränkt. Die breite Mischungslücke kann bei Tieftemperaturanlagen zu Schwierigkeiten bei der Ölrückführung aus dem Verdampfer führen. Ein wirksamer Ölabscheider ist daher für solche Fälle zu empfehlen bzw. die Verwendung von halbsynthetischen Ölen.

Solkane® 23 **(Trifluormethan; CHF₃)**

Siedepunkt bei 1.013 bar – 82.0°C / Molmasse 70.0

Solkane 23 ist als ausgesprochenes Hochdruckkältemittel, das zur Erzeugung sehr tiefer Temperaturen (etwa –60 bis –100°C) Verwendung findet, das Ersatzkältemittel für R13. Die physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften weichen nur geringfügig von den R13-Daten ab. Die Dampfdrücke sind ähnlich denen von R13, zumindest im tiefen Temperaturbereich. Der Energiebedarf für äquivalente Kälteleistungen ist ungefähr gleich. Die volumetrische Kälteleistung von Solkane 23 ist größer als die des Kältemittels R13. Mit fallender Temperatur wird die Differenz geringer (bei –60°C etwa 25%, bei –110°C nur noch etwa 1%). Die Kälteleistungszahlen beider Kältemittel sind etwa gleich.

Solkane 23 wird ausschließlich in Kaskadensystemen eingesetzt, und zwar bei Verdampfungstemperaturen der Tieftemperaturstufe von –60 bis –100°C und Verflüssigungstemperaturen von –10 bis –40°C. Es findet Verwendung in industriellen Kälteanlagen (z.B. Gaszerlegung und chemische Verfahrenstechnik), pharmazeutischen Produktionsanlagen, für medizinische Zwecke, in der Materialprüfung, in Kryomaten und Kryostaten, Hoch-Vakuumkammern, Testkammern und bei der Umstellung von bestehenden R13-Anlagen im Retrofit-Verfahren.

R23 ist nicht brennbar und bei sachgemäßer Anwendung nicht gesundheitsschädlich (Gruppe 6 nach der Klassifizierung von Underwriters Laboratories). Der Solvay-AEL-Wert für Solkane 23 liegt bei 1000 ppm.

Die thermische und chemische Stabilität von R23 ist ausgezeichnet. Die im Kältemaschinenbau üblichen Metalle verhalten sich diesem Kältemittel gegenüber indifferent. Auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte jedoch auch bei R23 verzichtet werden.

Die Elastomere Chloroprenkautschuk (CR), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) und Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) sind bei einer nur geringfügigen Quellung als Dichtungsmaterialien brauchbar. Der Einfluß des Schmiermittels sollte in Versuchen getestet werden.

Esteröle sind auch für R23 geeignete Kältemaschinenöle.

Solkane® 123

(1.1-Dichlor-2.2.2-trifluorethan; CHCl_2CF_3)

Siedepunkt bei 1.013 bar 27.6°C / Molmasse 152.9

Solkane 123 ist als Niederdruckkältemittel ein Übergangskältemittel zum Ersatz von R11. Die physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften weichen nur geringfügig von den R11-Daten ab. Die volumetrische Kälteleistung sowie die Kälteleistungszahl von R123 sind allerdings etwas kleiner. Das Hubvolumen eines R123-Verdichters muß im Vergleich zu einem R11-Verdichter größer sein, um ein vergleichbares energetisches Verhalten zu erzielen.

Solkane 123 ist einsetzbar in Kaltwassersätzen für den industriellen und gewerblichen Gebrauch, speziell in Turboverdichtern. Auch für Wärmepumpen und ORC-Kreisläufe (Organic Rankine Cycle) ist R123 anwendbar.

Ein Vorteil von Solkane 123 ist, daß keine neuen Kältemaschinenöle für diesen Ersatzstoff benötigt werden. R11-geeignete Mineralöle sind auch für R123 brauchbar. Ferner ist die Umstellung von bestehenden R11-Turbo-Kaltwassersätzen auf R123 möglich. R123 und R11 sind miteinander mischbar. Der Austausch kann daher ohne besondere Reinigungsarbeiten des Kältekreislaufes durchgeführt werden. Die Umrüstung sollte mit dem Verdichterhersteller oder Anlagenbauer diskutiert werden, um festzustellen, ob der vorhandene Verdichter eingesetzt werden kann. Ferner müssen die Dichtungsmaterialien und Filtertrockner ausgetauscht werden sowie ggf. das Expansionsventil. Hermetische Verdichter sind für eine Umrüstung nicht geeignet, da die Wicklungslacke von R123 angegriffen werden. Für diese Fälle werden komplette Umrüstsätze

mit offenen R123-Verdichtern angeboten. Die Umstellung auf R123 als Übergangskältemittel ist besonders für ältere R11-Kälteanlagen, mit nur noch einer geringen Lebensdauer zu empfehlen.

Solkane 123 ist nicht brennbar. Bezüglich der Toxizität ist R123 von der MAK-Kommission in die Gruppe IIIB (Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential) eingestuft worden. Der AEL-Wert von R123, der meisten im PAFT beteiligten Firmen, liegt zwischen 10 und 30 ppm. Messungen an Turbo-Kaltwassersätzen haben gezeigt, daß der Betrieb durch technische Maßnahmen sicher gestaltet werden kann.

Wegen des – wenn auch geringen – ODP-Wertes von 0.02% ist R123 als „Gefährlich für die Umwelt“ zu kennzeichnen. R123 ist unter Kältemaschinenbedingungen thermisch und chemisch stabil. Gegenüber Kohlenstoffstahl, Kupfer und Aluminium verhält es sich vergleichbar zu R11, in Gegenwart von Wasser können jedoch, insbesondere bei erhöhten Temperaturen, Korrosionen auftreten.

Solkane® 134a

(1.1.1.2-Tetrafluorethan; CH₂F CF₃)

Siedepunkt bei 1.013 bar –26.1 °C / Molmasse 102.0

Solkane 134a ist die langfristige Alternative für das FCKW-Kältemittel R12. R134a wurde als erstes Ersatzkältemittel eingeführt und kann heute als Stand der Technik bezeichnet werden. Es entspricht in den physikalischen und kältetechnischen Eigenschaften weitgehend dem R12. Die volumetrische Kälteleistung von R134a ist bis zu Verdampfungstemperaturen von ca. –25°C herab gleich oder höher als bei R12 (theoretisch nur bis zu –5°C), die Kälteleistungszahl bis zu Verdampfungstemperaturen von ca.–20°C vergleichbar oder besser (theoretisch praktisch gleich).

Solkane 134a kann R12 in praktisch allen Anwendungen ersetzen, wie in Haushalt-Kühlgeräten, Autoklimaanlagen, Wärmepumpen, Turbo-Kaltwassersätzen zur Gebäude-Klimatisierung, bei der Transportkühlung und Gewerbekühlung. Die Kälteindustrie hat die technischen Voraussetzungen für die Anwendung geschaffen. Kältemaschinen, Anlagenbauteile und Komponenten werden auf breiter Basis angeboten. Ferner ist die Umstellung bestehender R12-Kälteanla-

gen insbesondere neuerer Anlagen sowie von Anlagen mit halbhermetischen bzw. offenen Verdichtern möglich, allerdings erst nach Abänderung der Anlage (Retrofit, siehe unter diesem speziellen Kapitel).

Solkane 134a ist nicht brennbar und toxikologisch unbedenklich. Aufgrund der PAFT-Untersuchungen wurde der MAK-Wert auf 1000 Vol.-ppm durch die MAK-Kommission festgelegt.

Thermisch und chemisch ist R134a stabil. Die Verträglichkeit gegenüber Metallen ist vergleichbar der von R12. Alle üblicherweise im Kältemaschinenbau verwendeten Metalle und Metall-Legierungen sind einsetzbar. Lediglich auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte verzichtet werden. Selbst Lagerversuche mit feuchtem R134a zeigten gute Hydrolysebeständigkeit an Metallen wie ferritischem Stahl, V2A, Kupfer, Messing oder Aluminium.

Nur geringfügige Quellung tritt bei der Einwirkung von R134a auf folgende Kunststoffe bzw. Elastomere auf: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Epoxidharz, Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyacetal (POM), Chloroprenkautschuk (CR), Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) und hydrierten Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR). Es gilt aber auch den möglichen Einfluß des Schmiermittels zu berücksichtigen. Bei Abwesenheit von Mineralöl im Kältekreislauf können auch Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)-Typen verwendet werden. Fluorkautschuk-Typen sind für R134a nicht zu empfehlen. Flexible Schlauchverbindungen sollten einen Polyamid-Kern enthalten.

Als Trockner-Material sind bei Einsatz von R134a Molekularsiebe mit 3 Angström Porendurchmesser zu verwenden. Geeignete Kältemaschinenöle für R134a sind PAG-Öle (bei Autoklimaanlagen) und insbesondere Esteröle.

Solkane® 227

(1.1.1.2.3.3.3-Heptafluorpropan; $\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$)

Siedepunkt bei 1.013 bar -16.4°C / Molmasse 170.03

Solkane 227 ist eine langfristige Alternative für die FCKW-Kältemittel R114 und R12B1 sowie in speziellen Bereichen für das FCKW-Kältemittel R12. Solkane 227 ist ein Tiefdruck-Kältemittel und eignet sich daher besonders für Anwendungen mit hohen Verflüssigungstemperaturen. Die thermodynamischen

Eigenschaften von Solkane 227 liegen zwischen denen von R12 und R114. Die volumetrische Kälteleistung liegt etwa 50% über der von R114 und 40% unter der von R12. Die Kälteleistungszahl für den theoretischen Vergleichsprozeß ist kleiner als die der Kältemittel R12 und R114.

Solkane 227 wird vorwiegend in Hochtemperaturanwendungen wie z.B. Krankabinen-Klimaanlagen und Hochtemperaturwärmepumpen eingesetzt. Darüber hinaus bestehen Einsatzgebiete für ORC-Kreisläufe oder als Füllmedium für Temperatursensoren. Generell ist Solkane 227 für Anwendungen, bei denen die Verflüssigungstemperatur über 75°C liegt, eine denkbare Alternative zu Solkane 134a, da eine Vielzahl von im Handel gängigen Komponenten lediglich bis 25 bar ausgelegt ist. Der Dampfdruck von R134a bei 75°C liegt bei 24 bar gegenüber 17 bar für Solkane 227.

Solkane 227 ist nicht brennbar, verfügt über eine mit R12 vergleichbare Toxizität und ist thermisch und chemisch stabil. Es kann mit einer Festlegung des MAK-Wertes auf 1000 ppm gerechnet werden.

Die Verträglichkeit von Solkane 227 gegenüber Metallen ist vergleichbar mit der von R12. Alle üblicherweise im Kältemaschinenbau verwendeten Werkstoffe können eingesetzt werden. Verzichtet werden sollte lediglich auf Zink, Blei, Magnesium und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium.

Extraktionsversuche mit den Elastomertypen Chloroprenkautschuk (CR) und Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) ergaben geringe Quellungen sowie vernachlässigbare Extraktanteile. Fluor-Kautschuk (FKM)- Typen sind nur bedingt zu empfehlen, da je nach Rezeptur eine starke Quellung sowie Blasenbildung zu beobachten ist (dies trifft auch für andere teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe zu). Kann die Anwesenheit von Mineralöl im System ausgeschlossen werden, sind auch EPDM-Typen (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) verwendbar.

Solkane 227 ist, wie alle HFKW-Kältemittel mit herkömmlichen Mineralölen praktisch nicht mischbar. Sowohl Esteröl- als auch Polyalkylenglykol-Typen sind mit Solkane 227 über einen weiten Temperatur- und Zusammensetzungsbereich mischbar und werden eingesetzt.

Solkane® 404A

(Nahe-Azeotrop $\text{CHF}_2\text{CF}_3/\text{CH}_3\text{CF}_3/\text{CH}_2\text{FCF}_3 = 44/52/4$ Masse-%)

Siedepunkt bei 1.013 bar: Siedetemperatur -46.2°C , Tautemperatur -45.7°C /
Molmasse 97.6

Solkane 404A ist eine langfristige Alternative für das FCKW-Kältemittel R502. Der Einsatz von Solkane 404A in Kältemaschinen kann als Stand der Technik bezeichnet werden. Die volumetrische Kälteleistung ist vergleichbar mit der von R502. Bei Verdampfungstemperaturen von -40°C liegt die theoretische volumetrische Kälteleistung ca. 5% unter der von R502. Die Kälteleistungszahl für Solkane 404A liegt ca. 5 – 8% unter der von R502. Bei steigender Überhitzung verbessert sich die Kälteleistungszahl für Solkane 404A stärker als für R502.

Solkane 404A ist ein nahe-azeotropes Gemisch aus R125, R143a und R134a (44/52/4 Masse-%). Solkane 404A wurde, wie Solkane 507 als Ersatzstoff für R502 konzipiert. Es findet hauptsächlich in der Gewerbekälte bei Verdampfungstemperaturen zwischen -50 und -20°C seine Anwendungen. Es ist jedoch zu beobachten, daß dieses Kältemittel auch in der Normalkühlung bis hin zum Klimabereich eingesetzt wird. Der Grund ist, daß man über einen sehr weiten Verdampfungstemperaturbereich mit einem einzigen Kältemittel arbeiten kann. Darüber hinaus ist die volumetrische Kälteleistung von Solkane 404A und auch von Solkane 507 im Normalkühlungsbereich der von Solkane 134a deutlich überlegen. Diese Vorteile werden allerdings kompensiert durch eine schlechtere Leistungszahl. Je höher die Verdampfungstemperatur, desto schlechter wird die Leistungszahl von Solkane 404A im Verhältnis zu Solkane 134a. Der Dampfdruck von Solkane 404A liegt geringfügig tiefer als der von Solkane 507. Die volumetrische Kälteleistung wie auch die Kälteleistungszahl liegen für den theoretischen Vergleichsprozeß unter denen von Solkane 507. Auch der Wärmeübertragungskoeffizient für das Blasensieden liegt unter dem von Solkane 507 (bei Anlagen mit überfluteter Verdampfung macht sich dieser Effekt besonders bemerkbar). Bestehende R502-Anlagen können auf Solkane 404A umgestellt werden. Es sind hierbei die bei einer Umstellung von FCKW-Anlagen auf HFKW-Kältemittel üblichen Punkte zu beachten (Ölwechsel/Spülung, Materialverträglichkeiten, Anpassung bzw. Austausch des Expansionsventils, Sauggasfilters).

Solkane 404A ist nicht brennbar, verfügt über eine mit R502 vergleichbare Toxizität und ist thermisch und chemisch stabil. Der MAK-Wert von R134a beträgt

1000 ppm. Der Solvay-AEL-Wert für Solkane 125 liegt bei 1000 ppm und der für Solkane 143a bei 500 ppm. Es kann also mit einer Festlegung des MAK-Wertes auf mindestens 500 ppm gerechnet werden.

Die Verträglichkeit von Solkane 404A gegenüber Metallen ist vergleichbar mit der von R502. Alle üblicherweise im Kältemaschinenbau verwendeten Werkstoffe können eingesetzt werden. Verzichtet werden sollte auf Zink, Blei, Magnesium und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium.

Extraktionsversuche mit den Elastomertypen Chloroprenkautschuk (CR), Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) und Hydrierter Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR) ergaben geringe Quellungen sowie vernachlässigbare Extraktanteile. Fluor-Kautschuk (FKM)-Typen sind nur bedingt zu empfehlen, da je nach Rezeptur eine starke Quellung sowie Blasenbildung zu beobachten ist (dies trifft auch für andere teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe zu). Kann die Anwesenheit von Mineralöl im System ausgeschlossen werden, sind auch Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)-Typen verwendbar. Vor Anwendung empfehlen wir, Versuche durchzuführen, da bei den einzelnen Kunststoffen und Elastomeren verschiedene Formulierungen vorliegen können.

Wie alle HFKW bzw. HFKW-Gemische ist Solkane 404A mit Mineralöl nicht mischbar. Verschiedene Esteröle weisen in den wichtigen Temperatur- bzw. Zusammensetzungsbereichen eine gute Löslichkeit mit Solkane 404A auf (s. auch Kapitel „Verhalten gegen Schmiermittel“).

Solkane® 407C

(Zeotrop $\text{CH}_2\text{F}_2/\text{CHF}_2\text{CF}_3/\text{CH}_2\text{FCF}_3 = 23/25/52$ Masse-%)

Siedepunkt bei 1.013 bar: Siedetemperatur: -43.6°C , Tautemperatur -36.3°C /
Molmasse 86.2

Für den Ersatz von R22 wurden weder Reinstoffe, noch azeotrope oder naheazeotrope Gemische gefunden, die in ihren Eigenschaften dem teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoff (HFCKW) R22 nahe kommen. Solkane 407C ist ein zeotropes Gemisch aus R125, R32 und R134a (25/23/52 Masse-%) mit einem Temperatur-Glide von ca. 7 K. Es ist für bestimmte Anwendungen eine langfristige Alternative für R22. Bei Klimaanwendungen entspricht die volumetrische Kälteleistung wie auch die Kälteleistungszahl in etwa der von R22. Bei

tieferen Verdampfungstemperaturen verschlechtern sich jedoch beide Werte gegenüber denen von R22.

Die Wahl der Wärmetauscher ist für den Einsatz von Solkane 407C von entscheidender Bedeutung. Die Umstellung einer R22-Anlage mit Rohrbündelwärmetauschern auf der Verflüssiger- und auf der Verdampferseite auf Solkane 407C kann eine Abnahme der Kälteleistung um 10% und eine Abnahme der Leistungszahl um bis zu 18% zur Folge haben. Der Grund hierfür ist in den schlechten Wärmeübergangskoeffizienten zu suchen, die zeotrope Gemische generell aufweisen, wenn man sie mit den Werten der Komponenten, aus denen sie bestehen, vergleicht. Bei luftgekühlten Anlagen mit Lamellenwärmetauschern macht sich dieser Effekt jedoch kaum bemerkbar und die Leistungsdaten sind vergleichbar bzw. unter Umständen sogar besser als beim R22-Betrieb.

Der Temperatur-Glide kann im Leckagefall zu Problemen führen. Das austretende Kältemittel ist bei einer Gasleckage reich an den tiefersiedenden Komponenten (R32 und R125), während sich die Konzentration des in der Kälteanlage umlaufenden Gemisches in Richtung der höhersiedenden Komponente (R134a) verschiebt. Es ist unbedingt darauf zu achten, daß Solkane 407C nur aus der flüssigen Phase zu befüllen ist. Die Zusammensetzung der Gasphase in der Flasche weicht von der Spezifikation ab.

Bestehende R22-Anlagen können auf Solkane 407C umgestellt werden. Bei einem solchen Retrofit auf Solkane 407C sind allerdings die Anlagenparameter, besonders die Wärmetauscher, genau zu prüfen. Anlagen, die zu großen Leckagen neigen, sowie Anlagen mit überfluteter Verdampfung sollten nicht auf Solkane 407C umgestellt werden. Weiterhin können Turbokälteanlagen grundsätzlich nicht auf Solkane 407C umgerüstet werden.

Solkane 32 ist brennbar, Solkane 125 und Solkane 134a sind hingegen unbrennbar. Sowohl Solkane 407C in Originalzusammensetzung als auch alle Zusammensetzungen, die sich bei eventuellen Entmischungen (z.B. Leckagefall) ergeben könnten, sind unbrennbar. Solkane 407C ist thermisch und chemisch stabil und verfügt über eine mit R22 vergleichbare bzw. geringere Toxizität. Aufgrund der PAFT-Untersuchungen kann mit einer Festlegung des MAK-Wertes auf 1000 ppm gerechnet werden. Der MAK-Wert von R134a beträgt 1000 ppm. Die Solvay-AEL-Werte für Solkane 32 und Solkane 125 liegen bei jeweils 1000 ppm.

Die Verträglichkeit gegenüber Metallen ist vergleichbar mit der von R22. Alle üblicherweise im Kältemaschinenbau verwendeten Werkstoffe können eingesetzt werden. Verzichtet werden sollte auf Zink, Blei, Magnesium und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium.

Das Verhalten von Solkane 407C gegenüber Elastomeren ist vergleichbar mit dem der anderen Solkane-Typen. Chloroprenkautschuk (CR), Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) oder hydrierter Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR) sind gängige und mit Solkane 407C gut verträgliche Elastomertypen. Fluorkautschuk (FKM)-Typen sind nur bedingt zu empfehlen, da bei bestimmten Rezepturen stärkere Quellungen bzw. Blasenbildungen auftreten. Vor Anwendung empfehlen wir, Versuche durchzuführen, da bei den einzelnen Kunststoffen und Elastomeren verschiedene Formulierungen vorliegen können.

Solkane 407C ist mit Mineralöl nicht mischbar. Verschiedene Esteröle weisen in den wichtigen Temperatur- bzw. Zusammensetzungsbereichen eine gute Löslichkeit mit Solkane 407C auf (s. auch Kapitel „Verhalten gegen Schmiermittel“).

Solkane® 410

(Nahe-Azeotrop $\text{CH}_2\text{F}_2/\text{CHF}_2\text{CF}_3 = 50/50$ Masse-%)

Siedepunkt bei 1.013 bar: Siedetemperatur -51.4°C ,

Tautemperatur -51.49°C / Molmasse 72.6

Solkane 410 wird weltweit als langfristiges Ersatzkältemittel für R22 favorisiert, ist aber auch eine Alternative für R13B1. Dieses Kältemittelgemisch ist ein Nahe-Azeotrop mit einem sehr geringen Temperatur-Glide. Es ist für den Einsatz in Neuanlagen gedacht und wird R22 als Arbeitsmedium in Kälteanlagen, Klimaanlageanlagen und Wärmepumpen ersetzen. Der wesentliche Unterschied zu R22 ist die höhere Drucklage. So erreicht R410A einen Druck von 25 bar bereits bei einer Verflüssigungstemperatur von ca. 42°C , R22 dagegen erst bei ca. 62°C . Ein großer Vorteil von R410A ist die sehr hohe volumetrische Kälteleistung, die bis zu 50% über der von R22 liegen kann. Es können daher kleinere Anlagenkomponenten zum Einsatz kommen, wodurch eine – im Vergleich zu R22 – kompaktere Anlage realisierbar ist. Kältetechnische Komponenten, wie z.B. Verdichter, müssen für den höheren Druck ausgelegt werden. Diese Entwicklung ist bereits in vollem Gang. Aufgrund der hohen Drucklage ist R410A

nicht für die Umstellung von bestehenden R22-Anlagen geeignet. Für eine derartige Umstellung im Retrofit-Verfahren empfehlen wir nach eingehender Prüfung evtl. Solkane 407C.

Einsatzmöglichkeiten für das Kältemittel R410A sind gegeben in Klimaanlageanlagen, Wärmepumpen, der Kühlraumlagerung, der gewerblichen und industriellen Kühlung und beim Ersatz von R13B1 im Tieftemperaturbereich. Retrofit-Verfahren für R13B1 wurden bereits erfolgreich durchgeführt.

Solkane 410 ist nicht brennbar und toxikologisch unbedenklich. Aufgrund der PAFT-Untersuchungen kann mit einer Festlegung des MAK-Wertes auf 1000 ppm gerechnet werden. Die Solvay-AEL-Werte für Solkane 32 und Solkane 125 liegen bei jeweils 1000 ppm.

Thermisch und chemisch ist Solkane 410 stabil. Die Verträglichkeit gegenüber den im Kältemaschinenbau üblichsten Metallen wie Stahl, Kupfer, Aluminium und Messing ist gegeben. Auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte jedoch auch hier verzichtet werden.

Nur geringfügige Quellung tritt bei der Einwirkung von Solkane 410 auf folgende Kunststoffe bzw. Elastomere auf: Polyamid (PA), Phenolharz, Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyacetal (POM), Chloroprenkautschuk (CR) und hydrierten Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR). Da bei den einzelnen Kunststoffen und Elastomeren verschiedene Formulierungen vorliegen können, empfehlen wir in jedem Fall vor der Anwendung die Durchführung von Versuchen. Ebenfalls gilt auch hier, den möglichen Einfluß des Schmiermittels zu berücksichtigen. Fluorkautschuk (FKM)-Typen sind nicht zu empfehlen.

Geeignete Kältemaschinenöle sind auch für Solkane 410 Esteröle.

Solkane® 507

(Azeotrop $\text{CHF}_2\text{CF}_3/\text{CH}_3\text{CF}_3 = 50/50$ Masse-%)

Siedepunkt bei 1.013 bar -46.7°C / Molmasse 98.9

Solkane 507 ist ein langfristiges Ersatzkältemittel für die Tieftemperaturanwendung, wo bisher die Kältemittel R502 oder R22 eingesetzt wurden. Es entspricht in den physikalischen, thermodynamischen, kältetechnischen und betriebstechnischen Eigenschaften weitgehend dem R502. Dabei liegt

die Verdichtungsendtemperatur unter der von R502 und die volumetrische Kälteleistung unter bestimmten Betriebsbedingungen über der von R502 bei meist nur geringfügig tieferer Kälteleistungszahl. Aufgrund seiner azeotropen Eigenschaften ist es der optimale Ersatz für R502.

Es werden Verdichter für den Verdampfungstemperaturbereich von -45 bis $+10^{\circ}\text{C}$ angeboten. R507 kann aber auch als Kältemittel für den Normalkühlbereich anstelle von R134a eingesetzt werden. Vorteilhaft ist hierbei die größere volumetrische Kälteleistung von R507, ferner kann dadurch der Tief- und Normalkühlbereich mit einem Kältemittel abgedeckt werden. Nachteilig ist dann allerdings die kleinere Kälteleistungszahl.

Typische Einsatzgebiete von R507 sind: Kühlmöbel oder Kühlräume, Supermarkt-Kälteanlagen, Eismaschinen, die Transportkälte, Gewerbekälteanlagen und Industriekälteanlagen. R507 ist einsetzbar in neuen Kälteanlagen sowie in bestehenden Anlagen nach dem Retrofit-Verfahren.

Als weitere Alternative zu R502 kommt auch das Kältemittelgemisch Solkane 404A in Frage. Dieses ist jedoch ein Nichtazeotrop und hat daher gegenüber Solkane 507 gewisse Nachteile (siehe Solkane 404A).

R507 ist nicht brennbar und toxikologisch unbedenklich. Der Solvay-AEL-Wert für Solkane 125 liegt bei 1000 ppm und für Solkane 143a z. Zt. bei 500 ppm. Es kann daher mit einer Festlegung des MAK-Wertes für R507 auf mindestens 500 ppm gerechnet werden.

Thermisch und chemisch ist R507 stabil. Die Verträglichkeit gegenüber Metallen ist vergleichbar der von R134a. Alle üblicherweise im Kältemaschinenbau verwendeten Metalle und Metall-Legierungen sind einsetzbar. Lediglich auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte verzichtet werden. Lagerversuche mit feuchtem R507 zeigten gute Hydrolysebeständigkeit und keinen korrosiven Abtrag an Metallen wie ferritischem Stahl, V2A, Kupfer, Messing oder Aluminium.

Nur geringfügige Quellung tritt bei der Einwirkung von R507 auf folgende Kunststoffe bzw. Elastomere auf: Polyamid (PA), Epoxidharz, Phenolharz, Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyacetal (POM), Chloroprenkautschuk (CR), Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) und hydrierten Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR). Es gilt aber auch hier, den möglichen Einfluß des Schmiermittels zu berücksichtigen. Bei Abwesenheit von Mineralöl im Kältekreislauf können auch Ethylen-

Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)-Typen verwendet werden. Fluor-Kautschuk-Typen (FKM-Typen) sind nur bedingt zu empfehlen.

Geeignete Kältemaschinenöle für R507 sind Esteröle.

3.2.2 Komponenten für Kältemittel-Gemische: Solkane® 32, 125, 143a, 152a

Solkane® 32 (Difluormethan; CH₂F₂)

Siedepunkt bei 1.013 bar – 51.6°C / Molmasse 52.0

Solkane 32 verfügt über ausgezeichnete thermodynamische Eigenschaften als Kältemittel. In den kältetechnischen Eigenschaften ist es den Kältemitteln R502 und R22 ähnlich. Als Ersatzstoff für diese beiden Kältemittel kommt R32 in reiner Form jedoch nicht in Frage, da die Dampfdrücke und Verdichtungsendtemperaturen zu hoch liegen. Außerdem weist R32 Explosionsgrenzen (12.7 – 33.4 Vol.-% in Luft) auf. Aus diesem Grund ist R32 als „Hochentzündlich“ zu kennzeichnen. Dagegen eignet sich R32 ausgezeichnet als Gemischkomponente für R22- und R13B1-Kältemittel-Ersatzstoffe. So findet es in Solkane 410 und Solkane 407C bereits Verwendung für derartige Zwecke.

R32 weist sehr gute Wärmeübertragungseigenschaften auf.

Solkane 32 ist toxikologisch unbedenklich. Die PAFT-Untersuchungsergebnisse lassen einen MAK-Wert von 1000 ppm erwarten. Der Solvay-AEL-Wert für Solkane 32 liegt bei 1000 ppm.

Thermisch und chemisch ist Solkane 32 äußerst stabil. Die Verträglichkeit gegenüber den im Kältemaschinenbau üblichen Metallen wie Stahl, Kupfer, Aluminium und Messing ist gegeben. Auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminium-legierungen sollte verzichtet werden.

Das Verhalten von Solkane 32 gegenüber Kunststoffen und Elastomeren ist genau so gut wie das von R12 und R22. Nur geringfügige Quellung tritt bei der Einwirkung auf folgende Stoffe auf: Polytetrafluorethylen (PTFE), Chloroprenkautschuk (CR), Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR), hydrierten Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR) und chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM). Fluor-Kautschuk (FKM)-Typen sind nicht zu empfehlen. Da bei den einzelnen Kunststoffen und

Elastomeren verschiedene Formulierungen vorliegen können, empfehlen wir in jedem Fall vor der Anwendung die Durchführung von Versuchen.

Solkane® 125 **(Pentafluorethan; CHF₂CF₃)**

Siedepunkt bei 1.013 bar – 48.1°C / Molmasse 120.0

Solkane 125 ist ein Ersatzkältemittel für die Tieftemperaturanwendung. Die physikalischen, thermodynamischen und kältetechnischen Eigenschaften sind denen des Kältemittels R502 ähnlich. Die Dampfdrücke liegen allerdings höher. Aus diesem Grund und wegen des niedrigen kritischen Punktes (kritische Temperatur = 66.3°C) ist die Verflüssigungstemperatur auf maximal ca. 35°C begrenzt, was die Verwendungsmöglichkeit deutlich einschränkt.

Kältemittelkreislauf-Simulationsrechnungen ergeben für R125 eine höhere Kälteleistung als für R502. Flüssigkeitsunterkühlung führt zu einem Kälteleistungsgewinn gegenüber R502. Die Kälteleistungszahl von R125 ist jedoch kleiner als die von R502.

Solkane 125 ist einsetzbar als Substitut für R502, aber auch R22, jedoch mit eingeschränktem Anwendungsbereich, z.B. für wassergekühlte Kälteanlagen bei tiefen Verdampfungstemperaturen, zur gewerblichen Nahrungsmittellagerung bei tiefen Temperaturen und zum Transport. Aufgrund der vorteilhaften Molmasse wird Solkane 125 auch als Reinstoff in Turbokälteanlagen eingesetzt.

Wegen der Nichtbrennbarkeit ist Solkane 125 eine interessante Komponente für die Verwendung in Kältemittel-Gemischen, z.B. in Solkane 507, Solkane 404A, Solkane 410 und Solkane 407C.

Solkane 125 ist toxikologisch unbedenklich. Aufgrund der PAFT-Untersuchungen kann mit einer Festlegung des MAK-Wertes auf 1000 ppm gerechnet werden. Der Solvay-AEL-Wert für Solkane 125 liegt bei 1000 ppm.

Thermisch und chemisch ist R125 stabil. Die Verträglichkeit gegenüber den im Kältemaschinenbau üblichen Metallen wie Stahl, Kupfer, Aluminium und Messing ist gegeben. Auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte verzichtet werden.

R125 ist verträglich mit den meisten der gewöhnlich benutzten Kunststoffe und Elastomere. Fluor-Kautschuk (FKM)-Typen und Silikon-Kautschuk sind nicht zu

empfehlen. Vor Anwendung sollten in jedem Fall Versuche durchgeführt werden, da Kunststoffe und Elastomere in verschiedenen Formulierungen vorliegen können.

Geeignete Kältemaschinenöle für Solkane 125 sind Esteröle.

Solkane® 143a **(1.1.1-Trifluorethan; CH₃CF₃)**

Siedepunkt bei 1.013 bar – 47.3°C / Molmasse 84.0

Die thermophysikalischen, thermodynamischen und chemischen Eigenschaften von Solkane 143a sind denen von R502 ähnlich. R143a hat die Voraussetzungen für einen guten R502-Ersatzstoff, ist aber brennbar. Lediglich diese Eigenschaft (Explosionsgrenzen 7.1 – 20.9 Vol.-% in Luft) spricht gegen den Einsatz von R143a in reiner Form als R502-Substitut. Wegen der Explosionsgrenzen ist R143a als „Hochentzündlich“ zu kennzeichnen. Als Gemischkomponente hat jedoch R143a in Ersatzkältemitteln für R502 bereits Verwendung gefunden. So werden Solkane 507 und Solkane 404A in Kühlmöbeln, Kühlräumen, Supermarkt-Kälteanlagen, Eismaschinen und in der Transportkälte standardmäßig verwendet.

Solkane 143a ist toxikologisch unbedenklich. Der Solvay-AEL-Wert liegt z.Zt. bei 500 Vol.-ppm.

Thermisch und chemisch ist R143a stabil. Die Verträglichkeit gegenüber den im Kältemaschinenbau üblichen Metallen sowie Kunststoffen und Elastomeren ist gegeben. Auf Einsatz von Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sowie Fluor-Kautschuk (FKM)-Typen ist zu verzichten. Vor Anwendung sollten in jedem Fall Versuche durchgeführt werden, da Kunststoffe und Elastomere in unterschiedlichen Formulierungen vorliegen können.

Solkane® 152a **(1.1-Difluoethan; CH₃CHF₂)**

Siedepunkt bei 1.013 bar – 24.0°C / Molmasse 66.1

Solkane 152a ist ein Mitteldruckkältemittel für den Normalkühlbereich. Die physikalischen, thermodynamischen und kältetechnischen Eigenschaften sind denen der Kältemittel R12 und R134a ähnlich. Obwohl Solkane 152a ein gutes Ersatzkältemittel für R12 ist, wird es in reiner Form wegen seiner Brennbarkeit (Explosionsgrenzen 3.7–21.8 Vol.-% in Luft) nicht eingesetzt. Aus diesem Grund ist R152a als „Hochentzündlich“ zu kennzeichnen. Zur Anwendung kommt R152a vorzugsweise in nicht brennbaren Kältemittel-Gemischen, insbesondere in Drop-In-Verfahren, z.B. als R12-Ersatz in den Kältemitteln R401 (R22/R152a/R124-Gemische) und R405A (R22/R152a/R142b/RC318-Gemisch) sowie als R502-Ersatz in R411 (R1270/R22/ R152a-Gemische). Die Kältemittel R401, R405A und R411 enthalten mit R22, R124 und R142b chlorhaltige Produkte und besitzen damit einen ODP-Wert.

Solkane 152a ist toxikologisch unbedenklich. Es erscheint in der Klassifizierung gemäß Underwriters Laboratories (USA) in der Gruppe 6. Der Solvay-AEL-Wert liegt bei 1000 ppm.

Solkane 152a ist thermisch und chemisch stabil. Die im Kältemaschinenbau üblichen Metalle wie Stahl, Kupfer, Aluminium und Messing können verwendet werden. Auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte verzichtet werden.

In Verbindung mit R152a sollten die bei Einsatz von HFKW üblichen Kunststoffe und Elastomere wie Chloroprenkautschuk (CR) und Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) verwendet werden. Auf Fluor-Kautschuk (FKM)-Typen ist zu verzichten. Vor Anwendung empfehlen wir, Versuche durchzuführen, da bei den einzelnen Kunststoffen und Elastomeren verschiedene Formulierungen vorliegen können.

3.2.3 Verpackung und Lagerung

Tabelle 1 stellt die ab Werk verfügbaren Gebindegrößen für die verschiedenen Solkane-Typen zusammen. Wir empfehlen, die Gebinde trocken und kühl zu lagern. Abbildung 3 zeigt einen Leihgroßbehälter (LGB) mit einem Fassungsvermögen von ungefähr 800 kg (abhängig von der Dichte des Kältemittels).

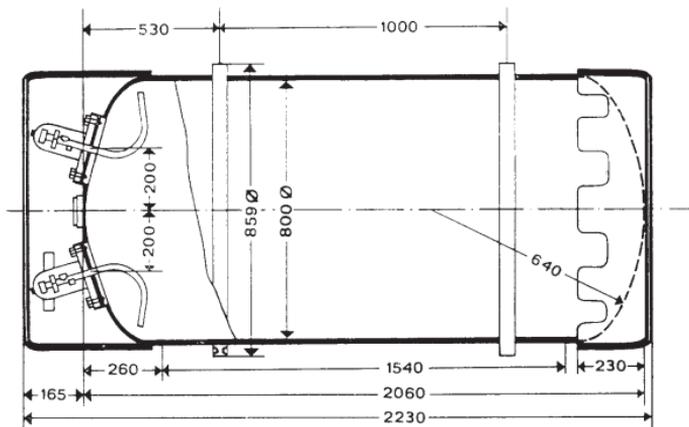


Abbildung 3 : Leihgroßbehälter (LGB)

Die Stirnseite ist mit zwei Ventilen ausgerüstet, die an die im Inneren befindlichen Steigrohre angeschlossen sind. Stehen die Ventile senkrecht übereinander, so kann das Kältemittel durch das untere Ventil flüssig und durch das obere Ventil gasförmig entnommen werden. Die zur Entleerung bestimmten Behälter sind so zu lagern, daß sich die beiden Ventile übereinander befinden.



Leihgroßbehälter enthalten bis zu 800 kg Solkane

**Tabelle 1: Verfügbare Gebindegrößen¹⁾ der verschiedenen Solkane®-Typen
(Stand August 2000)**

	 Leihgroß- behälter	 ISO-Tank- container	 Tanklastzug	 Fässer
Solkane 22	900 kg	ca. 17 t	20 t	
Solkane 23	940 kg	ca. 10 t		
Solkane 123	1000 kg	ca. 20 t		300 kg
Solkane 134a	400 und 900 kg	ca. 17 t	20 t	
Solkane 227	1050 kg	ca. 20 t		
Solkane 404A	720 kg	ca. 15 t		
Solkane 407C	800 kg			
R409A	950 kg			
Solkane 410	720 / 320 kg			
Solkane 507	720 kg	ca. 15 t		

1) weitere Gebindegrößen sind über den Großhandel zu beziehen



Tanklastzüge mit Solkane bieten eine Kapazität von ca. 20 t



Zum Bahn-Transport bereitgestellter Tankcontainer gefüllt mit Solkane vor dem Werk Frankfurt

3.3 Weitere Kältemittel

Die folgende Tabelle enthält bereits im Solkane-Taschenbuch angeführte Kältemittel sowie weitere Kältemittel. Es handelt sich um einen Auszug aus ASHRAE STANDARD 34 „Number Designation and Safety Classification of Refrigerants“ (Draft vom 15.11.1996). Dabei ist zu bedenken, daß der Einsatz von chlorhaltigen Kältemitteln vom Gesetzgeber geregelt wird. Entsprechende Verordnungen sind zu beachten.

Erläuterung der angeführten Standard 34 Sicherheitsgruppe: Die Klassifizierung setzt sich zusammen aus einem Buchstaben (A oder B), der die Toxizitätsklasse angibt, und einer Zahl, welche die Brennbarkeitsklasse charakterisiert. Die Toxizitätsklasse A kennzeichnet Kältemittel mit niedriger, die Klasse B Kältemittel mit hoher Toxizität. Die Brennbarkeitsklasse 1 umfaßt Kältemittel, die keine Flammen-Fortpflanzung in Luft zeigen, die Klasse 2 Kältemittel mit niedriger Brennbarkeit und die Klasse 3 solche mit hoher Brennbarkeit. Die Einteilungskriterien basieren auf der unteren Explosionsgrenze und der Verbrennungsenthalpie. Nichtazeotrope Gemische, deren Toxizitäts- und/oder Brennbarkeitscharakteristiken sich ändern, wenn sich die Zusammensetzung durch Fraktionierung ändert, werden durch eine duale Sicherheitsgruppe gekennzeichnet, wobei die zwei Klassifizierungen durch einen Schrägstrich (/) voneinander getrennt sind. Die erste Klassifizierung gilt für die Ausgangszusammensetzung, die zweite für die Gemischzusammensetzung bei „worst case“-Fraktionierung (Beispiel R406A: A1/A2).

Tabelle 2: Informationen über Kältemittel (1)

Kältemittel		Physikalische Daten			
Kurzzeichen	Chem. Formel oder Gemisch-Zusammensetzung (Gew.-%)	Molmasse	Siedepunkt bei 1.013 bar (°C)	Kritische Größen	
				t_c (°C)	p_c (MPa)
R11	CCl_3F	137.40	23.9	198.0	4.40
R12	CCl_2F_2	120.90	-29.5	112.0	4.14
R12B1	CBrClF ₂ -Halon 1211	165.36	-4.0	153.8	4.10
R13	$CClF_3$	104.46	-81.4	28.8	3.87
R13B1	CBrF ₃ -Halon 1301	148.93	-58.1	67.0	3.96
R14	CF_4	88.00	-127.9	-45.7	3.75
R22	$CHClF_2$	86.47	-40.8	90.1	4.99
R23	CHF_3	70.00	-82.0	26.3	4.87
R32	CH_2F_2	52.00	-51.6	78.1	5.78
R41	CH_3F	34.03	-78.4	44.3	5.88
R50	CH ₄ -Methan	16.04	-161.5	-82.5	4.64
R113	CCl_2FCClF_2	187.38	47.6	214.1	3.44
R114	$CClF_2CClF_2$	170.92	3.8	145.9	3.25
R115	$CClF_2CF_3$	154.47	-39.1	79.9	3.15
R116	CF_3CF_3	138.01	-78.4	19.9	3.04
R123	$CHCl_2CF_3$	152.90	27.6	183.7	3.66
R124	$CHClFCF_3$	136.48	-12.0	122.3	3.62
R125	CHF_2CF_3	120.00	-48.1	66.2	3.63
R134	CHF_2CHF_2	102.03	-23.0	118.7	4.62
R134a	CH_2FCF_3	102.00	-26.1	101.1	4.06
R141b	CH_3CCl_2F	116.95	32.2	204.4	4.25
R142b	CH_3CClF_2	100.50	-9.8	137.2	4.12
R143a	CH_3CF_3	84.00	-47.3	72.9	3.78
R152a	CH_3CHF_2	66.10	-24.0	113.3	4.52
R161	CH_3CH_2F	48.06	-37.1	102.2	4.70
R170	CH ₃ CH ₃ -Ethan	30.07	-88.8	32.2	4.89
E170	CH ₃ -O-CH ₃ -DME	46.07	-24.8	128.8	5.32
R218	$CF_3CF_2CF_3$	188.02	-36.7	71.9	2.68
R227ea	CF_3CHFCF_3	170.03	-16.4	101.8	2.93

Sicherheitsdaten			Umweltdaten	
TLV-TWA (ppm)	UEG (Vol.-%)	Std. 34 Sicherheitsgruppe	ODP	GWP ₁₀₀
C1000	none	A1	1.000	4000
1000	none	A1	0.900	8500
	none		5.000	
1000	none	A1	1.000	11700
1000	none	A1	13.000	5600
	none	A1	0	6500
1000	none	A1	0.050	1700
1000	none	A1	0	11700
1000	12.7	A2	0	650
			0	150
1000	5	A3	0	21
1000	none	A1	0.900	5000
1000	none	A1	0.850	9200
1000	none	A1	0.400	9300
1000	none	A1	0	9200
10-30	none	B1	0.020	93
1000	none	A1	0.030	480
1000	none	A1	0	2800
1000	none		0	1000
1000	none	A1	0	1300
500	6.4		0.100	630
1000	9.0	A2	0.066	2000
500	7.1	A2	0	3800
1000	3.1	A2	0	140
	3.8		0	low
1000	3.2	A3	0	3
1000	3.3		0	<1
1000	none	A1	0	7000
1000	none		0	2900

Tabelle 2: Informationen über Kältemittel (2)

Kältemittel			Physikalische Daten		
Kurzzeichen	Chem. Formel oder Gemisch-Zusammensetzung (Gew.-%)	Molmasse	Siedepunkt bei 1.013 bar (°C)	Kritische Größen t_c (°C)	p_c (MPa)
RC270	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -	42.08	- 33.5	125.2	5.58
R290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ -Propan	44.10	- 42.1	96.8	4.25
RC318	-CF ₂ -CF ₂ -CF ₂ -CF ₂ -	200.03	- 7.0	115.4	2.78
R400	R12/114 (50/50)	141.63	- 20.5	136.5	
R400	R12/114 (60/40)	136.94	- 22.9	133.0	
R401A	R22/152a/124 (53/13/34)	94.44	- 33.1	108.0	4.60
R401B	R22/152a/124 (61/11/28)	92.84	- 34.7	106.1	4.68
R401C	R22/152a/124 (33/15/52)	101.03	- 28.4	112.7	4.37
---	R22/152a/124 (40/17/43)	96.61	- 28.8	121.6	
R402A	R125/290/22 (60/2/38)	101.55	- 49.2	75.5	4.13
R402B	R125/290/22 (38/2/60)	94.71	- 47.4	82.6	4.45
R403A	R290/22/218 (5/75/20)	91.99	- 50.0	93.3	5.08
R403B	R290/22/218 (5/56/39)	103.26	- 49.5	90.0	5.09
R404A	R125/143a/134a (44/52/4)	97.60	- 46.2	72.1	3.73
R405A	R22/152a/142b/C318 (45/7/5.5/42.5)	111.91	- 27.3	106.1	4.26
R406A	R22/600a/142b (55/4/41)	89.86	- 32.4	114.5	4.58
---	R22/600a/142b (65/4/31)	88.57	- 37.5	118.9	
R407A	R32/125/134a (20/40/40)	90.11	- 45.5	82.8	4.54
R407B	R32/125/134a (10/70/20)	102.94	- 47.3	75.8	4.16
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	86.20	- 43.6	86.0	4.63
R407D	R32/125/134a (15/15/70)	90.96	- 39.5	102.4	
R408A	R125/143a/22 (7/46/47)	87.02	- 43.5	83.5	4.34
R409A	R22/124/142b (60/25/15)	97.43	- 35.1	106.9	4.62
R409B	R22/124/142b (65/25/10)	96.67	- 36.6	116.0	4.70
R410A	R32/125 (50/50)	72.60	- 51.4	71.4	4.90
R410B	R32/125 (45/55)	75.57	- 51.3	71.0	4.78
---	R32/125 (48/52)	73.75	- 51.4	84.5	

Sicherheitsdaten			Umweltdaten	
TLV-TWA (ppm)	UEG (Vol.-%)	Std. 34 Sicherheitsgruppe	ODP	GWP ₁₀₀
	2.4		0	
	2.3	A3	0	3
	none	A1	0	8700
	none	A1/A1	0.875	8850
	none	A1/A1	0.880	8780
	none	A1/A1	0.037	1080
	none	A1/A1	0.039	1190
	none	A1/A1	0.032	830
	none		0.033	910
	none	A1/A1	0.019	2330
	none	A1/A1	0.030	2080
	none	A1/A1	0.038	2680
	none	A1/A1	0.028	3680
	none	A1/A1	0	3260
	none	A1/A1	0.026	4580
	wff	A1/A2	0.055	1760
	wff		0.051	1680
	none	A1/A1	0	1770
	none	A1/A1	0	2290
	none	A1/A1	0	1530
	none	A1/A1r	0	1430
	none	A1/A1	0.024	2740
	none	A1/A1	0.047	1440
	none	A1/A1	0.047	1430
	none	A1/A1	0	1730
	none	A1/A1	0	
	none		0	1770

Tabelle 2: Informationen über Kältemittel (3)

Kältemittel			Physikalische Daten			
Kurz- zeichen	Chem. Formel oder Gemisch- Zusammensetzung (Gew.-%)		Molmasse	Siedepunkt bei 1.013 bar (°C)	Kritische Größen	
					t_c (°C)	p_c (MPa)
R411A	R1270/22/152a	(1.5/87.5/11.0)	82.36	-39.4	98.6	4.88
R411B	R1270/22/152a	(3/94/3)	83.07	-41.6	96.5	4.92
---	R1270/22/152a	(3.0/95.5/1.5)	83.44	-42.6	96.5	4.92
R412A	R22/218/142b	(70/5/25)	92.17	-38.5	104.8	
R413A	R218/134a/600a	(9/88/3)	103.95	-35.0		
---	R22/124/600a/142b	(50/39/1.5/9.5)	101.59	-34.3	118.2	
---	R22/124/600a/142b	(51/28.5/4/16.5)	96.93	-35.1	118.3	
---	R23/22/152a	(5/80/15)	81.72	-45.4	111.3	5.66
---	R23/22/152a	(5/90/5)	84.18	-46.7	105.8	5.70
---	R23/32/134a	(4.5/21.5/74)	83.14	-42.2	89.0	4.90
---	R32/125/143a	(10/45/45)	90.69	-48.4	72.0	4.05
---	R32/125/143a/134a	(10/33/36/21)	94.50	-49.4	77.5	4.01
R500	R12/152a	(73.8/26.2)	99.30	-33.5	105.5	4.42
R501	R22/12	(75/25)	93.10	-41.4	103.8	
R502	R22/115	(48.8/51.2)	111.63	-45.3	82.2	4.08
R503	R23/13	(40.1/59.9)	87.25	-88.7	19.5	4.36
R504	R32/115	(48.2/51.8)	79.25	-57.2	66.4	4.76
R505	R12/31	(78/22)	103.48	-30.0	117.8	4.73
R506	R31/114	(55.1/44.9)	93.69	-12.3	142.2	5.16
R507A	R125/143a	(50/50)	98.90	-46.7	70.7	3.71
R508A	R23/116	(39/61)	100.10	-85.7	23.1	4.06

Sicherheitsdaten			Umweltdaten	
TLV-TWA (ppm)	UEG (Vol.-%)	Std. 34 Sicherheitsgruppe	ODP	GWP ₁₀₀
1000	wff	A1/A2	0.044	1500
1000	wff	A1/A2	0.047	1600
1000	none		0.048	1630
1000	wff	A1/A2	0.052	2040
	wff	A1/A2r	0	1770
	none		0.043	1230
			0.045	1330
1000	none		0.040	1970
1000	none		0.045	2120
	none		0	1630
	none		0	3330
	none		0	2850
1000	none	A1	0.664	6310
	none	A1	0.263	3400
1000	none	A1	0.229	5590
1000	none		0.599	11700
	none		0.207	5130
	none		0.704	
	none		0.387	
500	none	A1	0	3300
1000	none	A1	0	10200

Tabelle 2: Informationen über Kältemittel (4)

Kältemittel		Physikalische Daten			
Kurzzeichen	Chem. Formel oder Gemisch-Zusammensetzung (Gew.-%)	Molmasse	Siedepunkt bei 1.013 bar (°C)	Kritische Größen	
				t_c (°C)	p_c (MPa)
R508B	23/116 (46/54)	95.39	- 88.3	14.0	3.93
R509A	R22/218 (44/56)	123.96	- 47.1	86.9	
R600	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -Butan	58.12	- 0.5	152.0	3.80
R600a	CH(CH ₃) ₂ -CH ₃ -Isobutan	58.12	- 11.8	135.0	3.65
R601	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -Pentan	72.15	36.2	196.4	3.36
R601a	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ -CH ₃ -Isopentan	72.15	27.8	187.4	3.37
R601b	(CH ₃) ₄ C-Neopentan	72.15	9.5	160.6	3.20
R610	CH ₃ -CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₃ -Ethylether	74.12	34.6	214.0	6.00
R611	HCOOCH ₃ -Methylformiat	60.05	31.8	214.0	5.99
R630	CH ₃ (NH ₂)-Methylamin	31.06	- 6.7	156.9	7.46
R631	CH ₃ -CH ₂ (NH ₂)-Ethylamin	45.10	16.6	183.0	5.62
R717	NH ₃ -Ammoniak	17.03	- 33.3	133.0	11.42
R718	H ₂ O-Wasser	18.02	100.0	374.2	22.10
R744	CO ₂ -Kohlendioxid	44.01	- 78.4	31.1	7.38
R7146	SF ₆ -Schwefelhexafluorid	146.05	- 63.8	45.6	3.76
R1130	CHCl=CHCl	96.94	47.8	243.3	5.48
R1150	CH ₂ =CH ₂ -Ethylen	28.05	- 109.4	9.3	5.11
R1270	CH ₃ CH=CH ₂ -Propylen	42.08	- 47.7	92.4	4.62

Sicherheitsdaten			Umweltdaten	
TLV-TWA (ppm)	UEG (Vol.-%)	Std. 34 Sicherheitsgruppe	ODP	GWP ₁₀₀
1000	none	A1/A1	0	10400
1000	none	A1	0.022	4670
800	1.9	A3	0	<1
800	1.8	A3	0	
600	1.5		0	11
600	1.4		0	
600			0	
400	1.9		0	
100	5.1	B2	0	
5	4.9		0	
5	3.5		0	
25	14.8	B2	0	<1
	none	A1	0	<1
5000	none	A1	0	1
1000	none		0	23900
200	5.6			
1000	2.7	A3	0	
1000	2.0	A3	0	

TLV-TWA = ACGIH Threshold Limit Value – Time – Weighted Average

C = TLV-Ceiling (die Konzentration sollte grundsätzlich nicht überschritten werden)

UEG = Untere Explosionsgrenze (Vol.-% in Luft)

wff = worst case of fractionation may become flammable
(Fraktionierung kann im ungünstigsten Fall zur Brennbarkeit führen)

ODP = Ozone depletion potential

GWP₁₀₀ = Global warming potential (Zeithorizont 100 Jahre)

Sicherheitsklassifikation:

p = provisorisch,

r = Empfehlung von SSPC 34

3.4 Weitere Möglichkeiten

Kältemittel der Zukunft sollten in jedem Fall einen ODP-Wert von Null sowie eine verminderte atmosphärische Lebensdauer und dadurch eine reduzierte Treibhauswirksamkeit haben. Außerdem werden Unbrennbarkeit, toxikologische Unbedenklichkeit und technische Eignung als Kältemittel verlangt. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte werden z.Zt. teilfluorierte Propan- und Butan-Abkömmlinge, aber auch Fluorether diskutiert. Zu den in der Diskussion stehenden Produkten gehören die folgenden Verbindungen, die entweder in reiner Form oder als Komponente von Gemischen für FCKW-Ersatzstoffe in Frage kommen könnten:

Kurzzeichen	Chem. Formel	Siedepunkt bei 1.013 bar (°C)	HGWP
R245ca	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{CH}_2\text{F}$	25.0	0.13
R245fa	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CHF}_2$	15.3	0.24
R236ea	$\text{CF}_3\text{CHFCHF}_2$	6.5	
R236ca	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{CHF}_2$	5.0	
R254cb	$\text{CHF}_2\text{CF}_2\text{CH}_3$	- 0.8	
R365mfc	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_2\text{CH}_3$	40.2	0.21
E245fa	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OCHF}_2$	ca. 29	0.15 ¹⁾
E125	CF_3OCHF_2	- 42.0	
E134	$\text{CHF}_2\text{OCHF}_2$	ca. 5	
E134a	$\text{CF}_3\text{OCH}_2\text{F}$	- 20	

¹⁾ Schätzwert

Die teilfluorierten Fluorether (Fluorether Kurzzeichen = E) zeichnen sich zum Teil durch eine relativ kurze atmosphärische Lebensdauer und damit einen kleinen HGWP-Wert aus.

4 Kältetechnische Berechnungsgrundlagen

Die Grundlagen für die Berechnung von kältetechnischen Prozessen, die nach dem Kaltdampfprozeß arbeiten, werden im folgenden Kapitel zusammengefaßt. Es handelt sich um eine Zusammenstellung der gültigen Definitionen und Terminologien. Für eine ausführliche Beschreibung der thermodynamischen Zusammenhänge sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Die Indizes der hier aufgeführten Formeln beziehen sich auf den einstufigen Kaltdampfprozeß (s. Abb. 4).

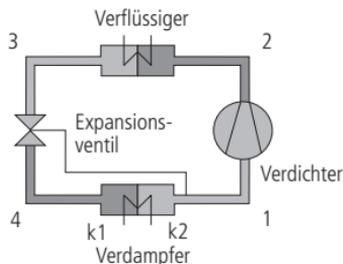


Abbildung 4: Einstufiger Kaltdampfprozeß

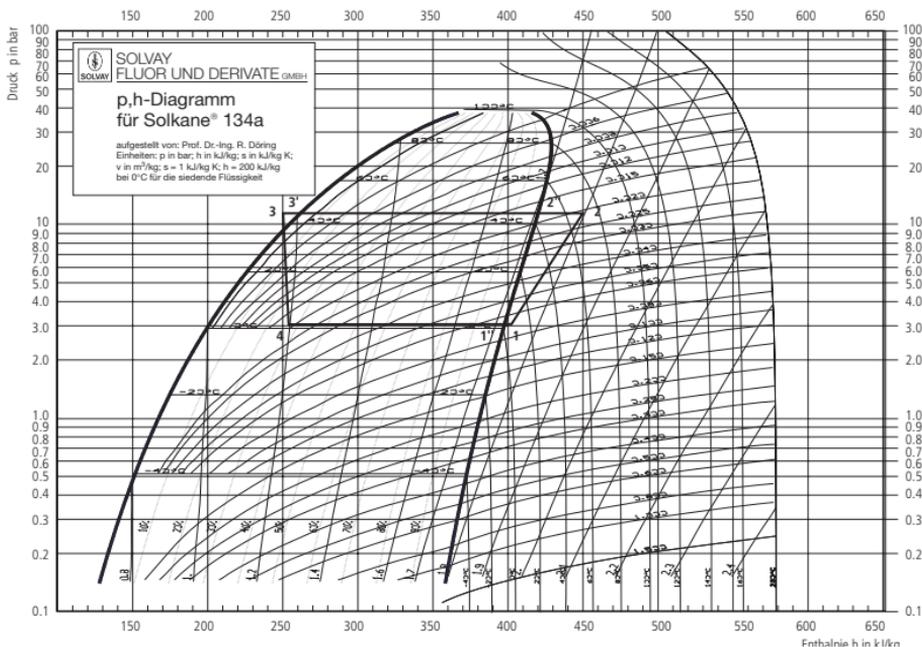


Abbildung 5: Mollier lg p-h Diagramm eines einstufigen Kaltdampfprozesses für Solkane 134a.

Die **Kälteleistung** kann aus der Definition verschiedener Systemgrenzen gewonnen werden. Eine gebräuchliche Form ist die innere Energiebilanz am Verdampfer. Definitionsgemäß ist die Verdampferleistung der Wärmestrom \dot{Q}_0 , der dem Kältemittel im Verdampfer zugeführt wird, d.h. das Produkt aus dem Kältemittelmassenstrom \dot{m}_R und der Erhöhung der spezifischen Enthalpie Δh zwischen Verdampfereintritt und Verdampferaustritt $\dot{Q}_0 = \dot{m}_R \cdot (h_1 - h_4)$.

Die **Gesamtkälteleistung** \dot{Q}_{og} (DIN 8976) ist der Wärmestrom, welcher der Umgebung durch das Kältemittel entzogen wird. Sie berechnet sich aus dem Produkt von Kältemittelmassenstrom und der Enthalpiedifferenz zwischen Verdichtereintritt und Verflüssigeraustritt.

$$\dot{Q}_{og} = \dot{m}_R \cdot (h_1 - h_3).$$

Die Enthalpie am Verflüssigeraustritt h_3 unterscheidet sich von der Enthalpie am Verdampfereintritt h_4 lediglich durch die, unter realen Bedingungen nicht isenthalpe Drosselung des Kältemittels im Expansionsventil, hervorgerufen durch Wärmeeinfall aus der Umgebung. Im theoretischen Vergleichsprozeß sind h_3 und h_4 identisch.

Die **Nettokälteleistung** \dot{Q}_{on} ist der Wärmestrom, der einem Kälteträger oder einem Kühlmedium im Verdampfer vom Kältemittel entzogen wird. Die Nettokälteleistung ergibt sich somit aus der Enthalpieabnahme eines Kälteträgers.

$$\dot{Q}_{on} = \dot{H}_{K1} - \dot{H}_{K2} + Q_a.$$

Die Korrektur \dot{Q}_a beschreibt den Wärmestrom, der aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer und Umgebung zusätzlich als Wärmeeinfall zum Kälteträger gelangt.

$$\dot{Q}_a = k \cdot A \cdot (t_a - t_m).$$

Dabei bedeuten:

- k den Wärmedurchgangskoeffizienten zwischen Umgebung und Kälteträger
- A die äußere Oberfläche des Verdampfers
- t_a die Umgebungstemperatur
- t_m eine Mitteltemperatur (arithmetisches Mittel der Ein- und Austrittstemperatur des Kälteträgers).

Die allgemeine Bestimmungsgleichung der Nettokälteleistung für Kälteträger lautet:

$$\dot{Q}_{on} = \dot{m}_{Kg} (h_{Kg1} - h_{Kg2}) + \dot{Q}_a$$

Für flüssige Kälteträger ergibt sich die Nettokälteleistung zu

$$\dot{Q}_{on} = \dot{m}_{Kf} \cdot c_{Kf} \cdot \Delta t_{Kf} + \dot{Q}_a$$

Dabei bezieht sich h_{Kg1} auf den Zustand des Kälteträgers am Verdampfereintritt, h_{Kg2} auf dessen Zustand am Verdampferaustritt zuzüglich der im Verdampfer evtl. abgeschiedenen festen und flüssigen Anteile des Kälteträgers, z.B. Reif und Tauwasser.

Die **Verdichterkälteleistung** \dot{Q}_{oV} (DIN 8977) berechnet sich aus dem Produkt aus Kältemittelmassenstrom und der Differenz zwischen der spezifischen Enthalpie am Verdichtereintritt und der spezifischen Enthalpie der gesättigten Flüssigkeit des Kältemittels bei dem Druck am Austritt des Verdichters.

$$\dot{Q}_{oV} = \dot{m}_R \cdot (h_1 - h'_3)$$

Die **volumetrische Kälteleistung** q_{ov} ist die Kälteleistung bezogen auf 1 m³/s Kältemitteldampf im Ansaugzustand des Verdichters. Die zugrundegelegte Kälteleistung ist jeweils anzugeben.

$$q_{ov} = \frac{\dot{Q}_O}{\dot{m}_R \cdot V_{v1}}$$

Die volumetrische Kälteleistung ist die Einflußgröße für die Baugröße einer Kältemaschine.

Auch die Definition der **Antriebsleistung** ist abhängig von der Definition der Systemgrenzen.

Man unterscheidet zwischen

- effektiver Leistungsaufnahme des Verdichters (Wellenleistung) P_e ,
- Leistungsaufnahme der Gesamtanlage P_g ,
- indizierter oder innerer Leistung des Verdichters P_i (Wellenleistung abzüglich mechanischer Verluste des Verdichters) und
- Leistungsaufnahme des elektrischen Antriebsmotors an den Klemmen (Klemmleistung) P_{kl} .

Die **Kälteleistungszahl** ε ist das Verhältnis der Kälteleistung zur zugeführten Antriebsleistung. Die zugrundegelegten Kälte- und Antriebsleistungen sind jeweils anzugeben (Indizes). Die Leistungszahl der Gesamtanlage ist beispielsweise definiert durch

$$\varepsilon_g = \frac{\dot{Q}_{og}}{P_g}$$

Formelzeichen und Einheiten

A m^2 Fläche

c $\frac{J}{kgK}$ spezifische Wärmekapazität

c_{Kf} $\frac{J}{kgK}$ spezifische Wärmekapazität, flüssiger Kälte­träger

H J Enthalpie

\dot{H} W Enthalpiestrom

h $\frac{J}{kg}$ spezifische Enthalpie

h_{Kg} $\frac{J}{kg}$ spezifische Enthalpie, gasförmiger Kälte­träger

h_{Kf} $\frac{J}{kg}$ spezifische Enthalpie, flüssiger Kälte­träger

k $\frac{W}{m^2K}$ Wärmedurchgangskoeffizient

\dot{m} $\frac{kg}{s}$ Massenstrom

\dot{m}_K $\frac{kg}{s}$ Kälte­trägermassenstrom

\dot{m}_R $\frac{kg}{s}$ Kältemittel­massenstrom

P W Leistung

P_e W effektive Leistungsaufnahme des Verdichters (Wellenleistung)

P_g W Leistungsaufnahme der Gesamtanlage

P_i	W	indizierte oder innere Leistung des Verdichters
P_{KI}	W	Leistungsaufnahme des elektrischen Antriebsmotors an den Klemmen gemessen (Klemmenleistung)
\dot{Q}_o	W	Kälteleistung, Verdampferleistung
\dot{Q}_{og}	W	Gesamtkälteleistung
\dot{Q}_{on}	W	Nettokälteleistung
\dot{Q}_{ov}	W	Verdichterkälteleistung
q_o	$\frac{J}{kg}$	spezifische Kälteleistung (massenstrombezogene Kälteleistung)*
q_{ov}	$\frac{J}{m^3}$	volumetrische Kälteleistung (volumenstrombezogene Kälteleistung)*
t_K	°C	Temperatur des Kälte-trägers
Δt_K	°C	Temperaturdifferenz des Kälte-trägers
t_a	°C	Umgebungstemperatur
\dot{V}_{V1}	$\frac{m^3}{s}$	Ansaugvolumenstrom
v_{V1}	$\frac{m^3}{kg}$	spezifisches Volumen im Ansaugzustand

* Der jeweils erstgenannte Begriff ist gebräuchlich, der in Klammern aufgeführte thermodynamisch korrekt.

4.1 Gleichungssystem zur Stoffdaten-Berechnung von Solkane®-Kältemitteln

Das in diesem Kapitel beschriebene Gleichungssystem ist gültig für Reinstoffe sowie mit Vereinfachungen für azeotrope Gemische. Die Beschreibung von zeotropen Gemischen ist erheblich aufwendiger. Zeotrope Gemische zeichnen sich durch eine beim Siedeverlauf nicht konstante, also gleitende Temperatur aus. Man kann demnach nicht, wie es in dem hier aufgeführten Gleichungssystem der Fall ist, von der Siedetemperatur auf die Tautemperatur schließen. Die Zusammensetzungen von Dampf- und Flüssigphasen im Gleichgewicht sind für zeotrope Gemische nicht identisch. Ein Gleichungssystem für zeotrope Gemische muß die Konzentrationsverschiebung von Dampf- und Flüssigphase im stationären Zustand beschreiben. Aufgrund dieser potentiellen Konzentrationsverschiebungen sollte ein Gleichungssystem auch die Möglichkeit bieten, die Zusammensetzung des Systems anzupassen. Ein entsprechendes Gleichungssystem wird zur Zeit im Hause Solvay erarbeitet.

Die Berechnung von Stoffdaten der Reinstoffe kann mit dem folgenden Gleichungssystem erfolgen. Die Konstanten für die verschiedenen Kältemittel sind in Tabelle 3 angegeben.

4.1.1 Dampfdruck

Für die Darstellung des Dampfdruckes von Kältemitteln ist die Gleichung nach Wagner gut geeignet. Die Gleichung beinhaltet zehn anzupassende Parameter in der Form

$$\ln p_R = \left(A_1 (1-T_R) + A_2 (1-T_R)^{B_1} + A_3 (1-T_R)^{B_2} + A_4 (1-T_R)^{B_3} + A_5 (1-T_R)^{B_4} + A_6 \right) / T_R \quad (1)$$

mit der reduzierten Temperatur $T_R = \frac{T}{T_C}$ dem reduzierten Druck $p_R = \frac{p}{p_C}$ und den anzupassenden Parametern A_i und B_i .

4.1.2 Siededichte

Die Dichte der siedenden Flüssigkeit kann durch den Polynomansatz

$$\rho'_R = 1 + C_1 (1 - T_R)^{1/3} + C_2 (1 - T_R)^{2/3} + C_3 (1 - T_R) + C_4 (1 - T_R)^{4/3} \quad (2)$$

mit der reduzierten Dichte $\rho'_R = \frac{\rho'}{\rho_c}$ und den vier Parametern C_i dargestellt werden.

4.1.3 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität im Zustand des idealen Gases kann mit folgendem Polynomansatz

$$c_p^0 = D_1 + D_2 T + D_3 T^2 + D_4 T^3 + D_5 / T \quad (3)$$

mit den fünf Koeffizienten D_i berechnet werden.

4.1.4 pvT-Verhalten

Zur Darstellung des pvT-Verhaltens von Einstoff-Kältemitteln oder azeotropen Gemischen ist die thermische Zustandsgleichung nach Martin-Hou

$$\begin{aligned} p = \frac{RT}{z} + \frac{E_1 + F_1 T + G_1 e^{-kT_R}}{z^2} + \frac{E_2 + F_2 T + G_2 e^{-kT_R}}{z^3} + \\ \frac{E_3}{z^4} + \frac{E_4 + F_4 T + G_4 e^{-kT_R}}{z^5} \end{aligned} \quad (4)$$

mit $z = v - b$ gut geeignet. Sie beinhaltet die insgesamt 11 anpassbaren Parameter E_i , F_i , G_i und b sowie die Konstante k .

4.1.5 Spezifische Enthalpie und Spezifische Entropie

Aus der thermischen Zustandsgleichung (4) und der Gleichung für die spezifische Wärmekapazität (3) ergeben sich als Beziehungen für die spezifische Enthalpie und die spezifische Entropie:

$$h = h_0 + (p\nu - RT) + D_1 T + D_2 \frac{T^2}{2} + D_3 \frac{T^3}{3} + D_4 \frac{T^4}{4} + \frac{E_1}{Z} + \frac{E_2}{2Z^2} + \frac{E_3}{3Z^3} + \frac{E_4}{4Z^4} + e^{-k \cdot T_R} \cdot (1 + k \cdot T_R) \cdot \left(\frac{G_1}{Z} + \frac{G_2}{2Z^2} + \frac{G_4}{4Z^4} \right) \quad (5)$$

und

$$s = s_0 + R \ln \left(\frac{Z p_1}{RT} \right) + D_1 \cdot \ln T + D_2 T + D_3 \frac{T^2}{2} + D_4 \frac{T^3}{3} - \left(\frac{F_1}{Z} + \frac{F_2}{2Z^2} + \frac{F_4}{4Z^4} \right) + \frac{k}{T_c} e^{-k \cdot T_R} \cdot \left(\frac{G_1}{Z} + \frac{G_2}{2Z^2} + \frac{G_4}{4Z^4} \right) \quad (6)$$

mit $p_1 = 1.01325$ bar und der speziellen Gaskonstanten R .

Die thermodynamischen Daten des Naßdampfgebietes wurden unter Nutzung der Gleichung nach Clausius - Clapeyron

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1}{T} \cdot \frac{h'' - h'}{v' - v''} \quad (7)$$

ermittelt.

Aus Gleichung (7) erhält man durch Umformung:

$$h' = h'' - \frac{dp}{dT} \cdot T \cdot (v'' - v') \quad (8)$$

Nach Integration ergeben sich die Integrationskonstanten h_0 und s_0 unter Verwendung von

$$h'_{(t=0^\circ\text{C})} = 200.0 \text{ kJ/kg}$$

$$s'_{(t=0^\circ\text{C})} = 1.000 \text{ kJ/(kgK)}.$$

4.1.6 Spezifische Exergie

Die spezifische Exergie wird unter Vernachlässigung der kinetischen und potentiellen Energie durch die Gleichung

$$e = h - h_u - T_u(s - s_u) \quad (9)$$

ausgedrückt, wobei der Index u auf den Zustand der Umgebung hinweist. Als Bezugsdruck gilt der Sättigungsdruck der betreffenden Arbeitssubstanz bei der Temperatur $T_u = 290$ K.

Es gilt für die Gleichungen 1-9 jeweils:

- Temperatur T in [K]
- Dichte ρ (in [kg/m³])
- spezifisches Volumen v in [m³/kg]
- spezifische Enthalpie h in [kJ/kg]
- spezifische Entropie s in [kJ/(kgK)]

Die Indizes weisen auf die Aggregatzustände flüssig (') und gasförmig (") hin.

Tabelle 3: Konstanten für die thermodynamischen Berechnungsgrundlagen (1)

const.	Unit	R22 [a, b]	R32	R123
Saturated [TR=T/Tc]		0.60 – 0.95	0.69 – 0.95	0.56 – 0.97
Superheated p [Mpa]/Tmax [K]		0.05 – 2.5 / 420	0.05 – 0.5 / 455	0.05 – 2.5 / 500
A ₁	[-]	-7.1180E+00	-7.5756E+00	-7.6830E+00
A ₂	[-]	2.3300E+00	3.0907E+00	4.3623E+00
A ₃	[-]	-3.9257E+00	-5.9497E+00	-1.0067E+01
A ₄	[-]	6.3012E+00	9.4120E+00	1.5277E+01
A ₅	[-]	-6.3919E+00	-8.2233E+00	-1.2065E+01
A ₆	[-]	-9.2010E-06	1.3937E-04	5.4113E-04
B ₁	[-]	1.5000	1.5000	1.5000
B ₂	[-]	2.0000	2.0000	2.0000
B ₃	[-]	2.5000	2.5000	2.5000
B ₄	[-]	3.0000	3.0000	3.0000
C ₁	[-]	1.65	1.800263	1.743412
C ₂	[-]	1.27	1.355916	1.210301
C ₃	[-]	-1.06	-0.980629	-1.269500
C ₄	[-]	0.91	0.879826	1.142949
D ₁	[kJ/kg K]	2.62795E-01	1.24207E+00	1.10920E-01
D ₂	[kJ/kg K ²]	1.22539E-03	-4.30444E-03	2.64730E-03
D ₃	[kJ/kg K ³]	6.25581E-07	1.49037E-05	-3.03990E-06
D ₄	[kJ/kg K ⁴]	-1.49815E-09	-1.30550E-08	1.53676E-09
D ₅	[kJ/kg K ⁵]	0	0	0
D ₆	[kJ/kg]	1.66484E+00	-3.34252E+01	2.35112E-02
E ₁	[-]	-1.49669E-03	-3.48463E-03	-1.09399E-03
E ₂	[-]	1.83231E-06	-8.46896E-07	9.92069E-07
E ₃	[-]	1.20294E-10	9.54425E-10	4.39233E-10
E ₄	[-]	-4.66754E-12	-7.19661E-11	-4.51951E-12
F ₁	[-]	1.74608E-06	6.74996E-06	1.39387E-06
F ₂	[-]	-2.39315E-09	1.73316E-09	-1.59353E-09
F ₄	[-]	8.15538E-15	1.74923E-13	8.27068E-15
G ₁	[-]	-2.24897E-02	-7.40687E-02	-1.37139E-02
G ₂	[-]	1.53942E-05	-2.69804E-05	-2.66296E-05
G ₄	[-]	1.72572E-10	4.59565E-09	1.47297E-10
b	[m ³ /kg]	2.23593E-04	-1.23088E-03	-2.61126E-04
k	[-]	5.475	5.475	5.475
R	[bar m ³ /(kJ K)]	9.61549E-04	1.59821E-03	5.43677E-04
Tc	[K]	369.30	351.26	456.83
pc	[bar]	49.90	57.82	36.62
rc	[kg/m ³]	523.84	424.00	550.00
M	[kg/kmol]	86.47	52.00	152.90

Applicable acc. ISO/DIS 17584* (12/2003)

R125	R134a	R143a	R152a
	0.60 – 0.96	0.59 – 0.95	0.56 – 0.97
	0.05 – 2.5 / 500	0.05 – 2.0 / 475	0.05 – 2.5 / 500
-7.7226E+00	-7.7069E+00	-7.5556E+00	-7.7213E+00
3.6331E+00	2.4932E+00	3.7588E+00	4.5614E+00
-7.0409E+00	-2.9212E+00	-7.7972E+00	-1.0393E+01
1.0112E+01	-3.8684E+00	1.1445E+01	1.5212E+01
-9.1166E+00	4.6898E-01	-9.1198E+00	-1.1241E+01
6.2974E-05	-8.3360E-05	7.3763E-05	4.5324E-04
1.5000	1.5158	1.5000	1.5000
2.0000	1.9907	2.0000	2.0000
2.5000	4.3798	2.5000	2.5000
3.0000	1.7461	3.0000	3.0000
1.692899	1.732277	1.834762	1.750819
1.380434	1.348322	1.086108	1.306798
-1.266397	-1.251446	-0.768969	-1.059488
0.991319	1.056144	0.756214806	0.910847
4.43550E-01	2.49202E-01	2.84634E-01	4.18642E-01
9.89241E-04	2.45251E-03	2.25435E-03	1.40396E-03
2.05444E-06	-1.65650E-06	5.55068E-07	3.09703E-06
-3.01960E-09	8.91048E-10	-2.18660E-09	-3.46140E-09
0	0	0	0
-1.61960E+01	-6.96764E+00	-5.68048E+00	2.35978E-01
-7.60920E-04	-1.40114E-03	-1.87726E-03	-3.38549E-03
-6.11070E-07	2.19433E-06	1.78850E-07	1.77559E-06
-2.04710E-09	-6.73580E-10	1.71317E-09	1.30470E-09
-6.33460E-12	-4.66800E-12	-3.32970E-11	-4.84868E-11
1.34481E-06	1.63714E-06	3.40317E-06	5.31125E-06
3.08935E-09	-2.78860E-09	-2.27055E-10	-2.30804E-09
2.15058E-14	1.02574E-14	7.38650E-14	9.94006E-14
-1.32304E-02	-2.69555E-02	-3.34101E-02	-5.73338E-02
-3.47650E-05	2.67772E-05	-6.23063E-05	-2.54917E-06
5.22200E-10	1.69513E-10	1.87386E-09	3.16760E-09
-7.80700E-04	2.99628E-04	-8.95779E-04	-7.73363E-04
5.166	5.475	5.475	5.475
6.92749E-04	8.14892E-04	9.89340E-04	1.25880E-03
339.33	374.21	346.04	386.41
36.29	40.59	37.76	45.17
571.30	511.90	425.73	368.00
120.00	102.00	84.00	66.10

* Except Heat Capacities

Tabelle 3: Konstanten für die thermodynamischen Berechnungsgrundlagen (2)

const.	Unit	R404A [a, b]	R407C [a, b]
Saturated	[TR=T/Tc]	0.62 – 0.90	0.58 – 0.95
Superheated	p [Mpa]/Tmax [K]	0.05 – 2.0 / 420	0.05 – 2.5 / 420
A ₁	[-]	-7.5388152 / -7.7843482	-6.6102789 / -9.1030381
A ₂	[-]	3.1135196 / 4.5429514	-1.4132342 / 10.275949
A ₃	[-]	-6.2846755 / -10.59339	4.7954371 / -24.268356
A ₄	[-]	10.007636 / 16.350124	-3.8776663 / 32.465544
A ₅	[-]	-9.016329 / -12.872483	-1.7421263 / -20.814719
A ₆	[-]	8.6689E-4 / -5.51545E-4	0.010919942 / -0.01227508
B ₁	[-]	1.5000	1.5000
B ₂	[-]	2.0000	2.0000
B ₃	[-]	2.5000	2.5000
B ₄	[-]	3.0000	3.0000
C ₁	[-]	1.667096	1.782668035
C ₂	[-]	1.579917	1.9543224381
C ₃	[-]	-1.572306	-2.34590112
C ₄	[-]	1.185236	1.705800362
D ₁	[kJ/kg K]	2.68898E-01	5.16830E-01
D ₂	[kJ/kg K ²]	2.18304E-03	5.86760E-04
D ₃	[kJ/kg K ²]	-6.45482E-08	2.94150E-06
D ₄	[kJ/kg K ⁴]	-1.32660E-09	-3.16270E-09
D ₅	[kJ/kg K ⁵]	0	0
D ₆	[kJ/kg]	-4.83918E+00	-1.47650E+01
E ₁	[-]	-1.42473E-03	1.58978E-03
E ₂	[-]	-1.24141E-06	-1.85207E-06
E ₃	[-]	-3.34429E-10	-2.95621E-10
E ₄	[-]	-2.01320E-11	-2.92687E-11
F ₁	[-]	2.91474E-06	3.30921E-06
F ₂	[-]	2.95444E-09	3.96706E-09
F ₄	[-]	5.39828E-14	7.29247E-14
G ₁	[-]	-2.47247E-02	-3.35072E-02
G ₂	[-]	-5.45329E-05	-7.28580E-05
G ₄	[-]	1.46493E-09	2.05836E-09
b	[m ³ /kg]	-1.09320E-03	-1.18597E-03
k	[-]	5.475	5.475
R	[bar m ³ /(kJ K)]	8.51862E-04	9.64516E-04
Tc	[K]	345.20	359.18
pc	[bar]	37.29	46.30
rc	[kg/m ³]	486.53	484.23
M	[kg/kmol]	97.60	86.20

Applicable acc. ISO/DIS 17584* (12/2003)

R410A [a]	R507 [a]
0.59 – 0.94	0.61 – 0.92
0.05 – 0.5 / 440	0.05 – 2.5 / 420
-7.44346906 / -7.55263161	-7.60093772 / -7.65020846
1.777486346 / 2.317371339	3.38922434 / 3.722323831
-1.95648689 / -3.1974852	-6.97163346 / -7.9903175
3.374098233 / 4.915099639	10.82146993 / 12.37193104
-5.0656166 / -5.8902625	-9.45590737 / -10.3687047
6.9069E-4 / 2.51091E-4	0.00018596 / -2.4939E-6
1.5000	1.5000
2.0000	2.0000
2.5000	2.5000
3.0000	3.0000
2.028037	1.647704
1.755952	1.740683
-2.432390	-1.899114
1.913324	1.385889
8.26738E-01	2.65117E-01
-1.56394E-03	2.18485E-03
8.23946E-06	-1.04594E-07
-7.81040E-09	-1.29306E-09
0	0
-2.37897E+01	-4.48048E+00
-1.90321E-03	-1.35751E-03
-6.39865E-07	1.66645E-06
6.31686E-10	-4.89974E-10
-2.76115E-11	-5.24016E-12
3.64583E-06	1.78716E-06
1.59116E-09	-1.96249E-09
6.29721E-14	1.13725E-14
-4.43417E-02	-2.49293E-02
-3.14090E-05	-4.89974E-10
2.11482E-09	3.16976E-10
-8.73663E-04	1.12341E-04
5.475	5.475
1.14549E-03	8.41047E-04
344.51	343.77
49.03	37.05
459.53	490.77
72.60	98.86

* Except Heat Capacities

4.1.7 Transportgrößen

Die folgenden Berechnungsgleichungen für die Transportgrößen sind für Reinstoff-Kältemittel, zeotrope und azeotrope Gemische gültig. Die Koeffizienten sind in Tabelle 4 angegeben.

4.1.7.1 Dynamische Viskosität

Die dynamische Viskosität der gesättigten Flüssigkeit wird durch das Polynom

$$\ln \left(\frac{\eta'}{10^{-3}} \right) = H_0 + H_1 t + H_2 t^2 + H_3 t^3 \quad (10)$$

mit t in °C und η' in 10^{-3} Pa s und den vier Koeffizienten H_i ausgedrückt.

Die dynamische Viskosität des gesättigten und überhitzten Dampfes kann nach der Gleichung

$$\eta = \eta_0 + \eta_s \quad (11)$$

berechnet werden. Dabei gelten folgende Beziehungen

$$\eta'_0 = 2,6696 \cdot 10^{-2} \frac{(M \cdot T)^{1/2}}{I_r^2 \cdot \Omega(T^*)} \quad (12a)$$

$$\Omega(T^*) = \exp.[0.45667 - 0.53955 \cdot \ln(I_0 \cdot T) + 0.187265 \cdot (\ln(I_0 \cdot T))^2 - 0.03629 \cdot (\ln(I_0 \cdot T))^3 + 0.00241 \cdot (\ln(I_0 \cdot T))^4] \quad (12b)$$

$$\eta'_s = 1000 \cdot T_r^{-2.2} [\ln(1.65 + p_{r0}^{0.8})]^{1.6} \left[e^{\left(1 - \frac{0.78}{T_r}\right) p_{r0}} - 1 \right] \cdot (I_2 \cdot I_3)^{-1} \quad (12c)$$

$$p_{r0} = \frac{p - p_{\text{Pambient}}}{p_{\text{crit}}} \quad (12d)$$

4.1.7.2 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Flüssigkeit in Abhängigkeit der Temperatur folgt mit hinreichender Genauigkeit einer linearen Regression der Form

$$\lambda' = J_0 + J_1 t. \quad (13)$$

Die Wärmeleitfähigkeit des gesättigten Dampfes wird mit einer Regressionsgleichung mit fünf Koeffizienten der Form

$$\lambda'' = L_0 + L_1 t + L_2 t^2 + L_3 t^3 + L_4 t^4 \quad (14)$$

berechnet. Für die Gleichungen (13) und (14) gelten:

t = Temperatur in °C

λ = Wärmeleitfähigkeit in $10^{-3} \text{W}/(\text{mK})$.

J_i und L_i sind die Koeffizienten, die an den jeweiligen Stoff angepaßt werden.

4.1.7.3 Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung der Flüssigkeit wird mit einem Polynom 3. Grades der Form

$$\sigma = K_0 + K_1 t + K_2 t^2 + K_3 t^3 \quad (15)$$

mit t in °C und σ in $10^{-3} \text{N}/\text{m}$ dargestellt.

4.1.7.4 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität der gesättigten Flüssigkeit wird durch eine Regressionsgleichung der Form

$$c'_p = M_0 + M_1(1 - T_R)^{1/9} + M_2(1 - T_R)^{2/9} + M_3(1 - T_R)^{3/9} + M_4(1 - T_R)^{6/9} \quad (16)$$

mit c'_p in $\text{kJ}/(\text{kgK})$ und den fünf Koeffizienten M_i in $[\text{kJ}/(\text{kgK})]$ ausgedrückt.

Tabelle 4: Konstanten für die Berechnungsgleichungen der Transportgrößen der Solkane®-Kältemittel (1)

const.	Unit	R22	R32	R123
H ₀	[Pa s]	-1.55991947	-1.8646	-0.56273755
H ₁	[Pa s/K]	-0.01083022	-0.0113347	-0.0130821
H ₂	[Pa s/K ²]	-5.3528E-06	-2.393700E-05	4.566270E-05
H ₃	[Pa s/K ³]	1.47439E-07	-2.173300E-07	-2.192300E-07
l ₀	[-]	285.7	N	275.16
l ₁	[-]	0.4652	N	0.5909
l ₂	[-]	37.488	N	35.816
l ₃	[-]	0.2736	N	0.2689
ξ	[1/Pa s]	37488	N	35816
J ₀	[10 ⁻³ W/m K]	96.6888148	151.43	83.890607
J ₁	[10 ⁻³ W/m K ²]	-0.436130061	-0.70375	-0.290282105
K ₀	[10 ⁻³ N/m]	11.69554373	1.108080E+01	1.848186E+01
K ₁	[10 ⁻³ N/m K]	-0.14976356	-1.720700E-01	-1.232125E-05
K ₂	[10 ⁻³ N/m K ²]	0.000185225	2.085600E-04	2.559425E-05
K ₃	[10 ⁻³ N/m K ³]	5.89052E-07	1.263800E-06	5.088261E-07
L ₀	[10 ⁻³ W/m K]	9.503310023	1.288200E+01	8.454018E+00
L ₁	[10 ⁻³ W/m K ²]	0.060826729	1.026400E-01	6.711867E-02
L ₂	[10 ⁻³ W/m K ³]	-0.000039977	1.392130E-03	3.968701E-05
L ₃	[10 ⁻³ W/m K ⁴]	4.15695E-07	0	-4.607059E-07
L ₄	[10 ⁻³ W/m K ⁵]	5.2452E-20	0	1.852623E-09
M ₀	[kJ/(kg K)]	334.721	438.0707293	148.4284461
M ₁	[kJ/(kg K)]	-1405.7	-1808.85382	-601.053656
M ₂	[kJ/(kg K)]	2070.38	2624.069589	856.2204098
M ₃	[kJ/(kg K)]	-1089.66	-1362.52461	-435.393072
M ₄	[kJ/(kg K)]	91.9077	111.5079622	32.69939588

R125	R134a	R143a
-1.59881	-1.29909	-1.86345
-0.013809	-0.0129286	-0.013459
-1.408100E-05	4.922300E-06	-4.240000E-07
-2.918000E-07	-1.986000E-07	1.670300E-07
N	277.74	N
N	0.5067	N
N	39.721	N
N	0.2597	N
N	39721	N
72.06	94.21	78.39
-0.38514	-0.42784	-0.41553
6.818000E+00	1.148600E+01	7.762700E+00
-1.322500E-01	-1.426700E-01	-1.313900E-01
2.235000E-04	1.313300E-04	1.495200E-04
2.982500E-06	1.169700E-06	1.955300E-06
1.347600E+01	1.180400E+01	1.231200E+01
1.031500E-01	8.305000E-02	9.808000E-02
1.333310E-03	1.337410E-04	2.324970E-04
1.107480E-05	0	1.112810E-05
8.531950E-08	0	1.454960E-07
344.02988	395.19	273.238559
-1417.609	-1588.637	-1128.09554
2042.5403	2233.8111	1638.813984
-1049.057	-1120.361	-851.664324
81.293348	81.2566	69.17485057

Tabelle 4: Konstanten für die Berechnungsgleichungen der Transportgrößen der Solkane®-Kältemittel (2)

const.	Unit	R152a	R227ea	R404A
H ₀	[Pa s]	-1.55872	-1.0612	-1.73999
H ₁	[Pa s/K]	-0.0112737	-0.013945	-0.013554
H ₂	[Pa s/K ²]	2.188000E-05	5.340900E-05	-4.758900E-06
H ₃	[Pa s/K ³]	-2.109700E-07	-4.056500E-07	-1.095300E-07
l ₀	[-]	322.18	300	279.31
l ₁	[-]	0.4695	0.5	0.4968
l ₂	[-]	46.173	38.085	42.42918
l ₃	[-]	0.2524	0.2752	0.2611
ζ	[1/Pa s]	46173	38085	42429
J ₀	[10 ⁻³ W/m K]	116.75	59.89	76.009
J ₁	[10 ⁻³ W/m K ²]	-0.46025	-0.25291	-0.4024
K ₀	[10 ⁻³ N/m]	1.338300E+01	9.884890E+00	7.537000E+00
K ₁	[10 ⁻³ N/m K]	-1.399900E-01	-1.189714E-01	-1.290000E-01
K ₂	[10 ⁻³ N/m K ²]	9.204200E-05	8.713140E-05	1.616800E-04
K ₃	[10 ⁻³ N/m K ³]	1.870100E-07	9.366990E-07	1.562400E-06
L ₀	[10 ⁻³ W/m K]	1.228200E+01	1.090952E+01	1.270900E+01
L ₁	[10 ⁻³ W/m K ²]	7.744000E-02	7.010000E-02	9.932000E-02
L ₂	[10 ⁻³ W/m K ³]	9.616400E-04	7.526930E-05	6.226100E-04
L ₃	[10 ⁻³ W/m K ⁴]	0	-1.126800E-07	1.068300E-05
L ₄	[10 ⁻³ W/m K ⁵]	0	4.559410E-08	5.733900E-08
M ₀	[kJ/(kg K)]	378.2333496	N	272.7746241
M ₁	[kJ/(kg K)]	-1569.98146	N	-1137.19404
M ₂	[kJ/(kg K)]	2289.645687	N	1666.232657
M ₃	[kJ/(kg K)]	-1193.68482	N	-872.727122
M ₄	[kJ/(kg K)]	97.70727825	N	72.38836018

R407C	R410A	R507
-1.5764	-1.78743	-1.76262
-0.012445	-0.012082	-0.0136
4.502900E-06	-2.090300E-05	-6.017700E-06
-1.179200E-07	-2.393000E-07	-2.212900E-08
339.72	317.47	294.33
0.4538	0.4324	0.4902
39.17502	40.99075	42.17005
0.2622	0.2542	0.2601
39175	40990	42170.05
96.197	99.926	75.115
-0.4615	-0.5071	-0.3999
9.996900E+00	8.796300E+00	7.357300E+00
-1.444000E-01	-1.522700E-01	-1.320400E-01
1.644500E-04	2.174000E-04	1.865200E-04
1.430400E-06	2.114700E-06	2.508400E-06
1.251500E+01	1.306100E+01	1.279100E+01
9.413000E-02	1.027900E-01	1.001700E-01
8.287300E-04	1.374300E-03	6.858600E-04
1.988500E-06	3.348700E-06	1.110600E-05
-1.531900E-08	-2.579800E-08	5.043700E-08
309.36797	237.48544	312.9057
-1284.36142	-974.66894	-1320.8741
1873.363029	1412.81	1956.713
-977.084713	-734.81854	-1035.3755
80.36186841	60.886696	88.2952

4.2. Physikalische Daten

4.2.1 Physikalische Daten der Solkane®-Kältemittel

Physikalische Größe	Einheit	Solkane 22	Solkane 23
Chemische Formel	[-]	CHClF ₂	CHF ₃
Molmasse	[-]	86.47	70.0
Siedepunkt bei 1.013bar	[°C]	-40.8	- 82.0
Kritische Temperatur	[°C]	96.1	26.3
Kritischer Druck	[bar]	49.9	48.7
Viskosität der gesättigten Flüssigkeit ²	[mPas]	0.247	0.164 ⁵
Viskosität der gesättigten Flüssigkeit ¹	[mPas]	0.160	0.108 ⁶
Viskosität des gesättigten Dampfes ¹	[mPas]	0.0130	0.0139 ⁶
Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Flüssigkeit ²	[W/(mK)]	0.103	0.106 ⁵
Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Flüssigkeit ¹	[W/(mK)]	0.086	0.085 ⁶
Wärmeleitfähigkeit des gesättigten Dampfes ¹	[W/(mK)]	0.0110	0.0157 ⁶
Spez. Wärmekapazität der gesättigten Flüssigkeit Cp ¹	[kJ/kg K]	1.261	1.506 ⁶
Spez. Wärmekapazität des gesättigten Dampfes Cp ¹	[kJ/kg K]	0.869	1.365 ⁶
Verhältnis Cp/Cv (gesättigter Dampf) ¹	[-]	1.45	1.74 ⁶
Dichte der gesättigten Flüssigkeit ¹	[kg/m ³]	1191	1106 ⁶
Dichte des gesättigten Dampfes ¹	[kg/m ³]	44.25	84.99 ⁶
Verdampfungsenthalpie ¹	[kJ/kg]	182.5	156.6 ⁶
Explosionsgrenze in Luft ³	[Vol.-%]	Keine	Keine

1: t = 25°C

2: t = -15°C

3: t = 25°C; p = 1.013 bar

4: t = 30°C

5: t = -40°C

6: t = -10°C

4.2.2 Physikalische Daten der Komponenten für Kältemittel-Gemische

Physikalische Größe	Einheit	Solkane 32
Chemische Formel	[–]	CH ₂ F ₂
Molmasse	[–]	52
Siedepunkt bei 1.013 bar	[°C]	–51.7
Kritische Temperatur	[°C]	78.1
Kritischer Druck	[bar]	57.8
Viskosität der gesättigten Flüssigkeit ²	[mPas]	0.183
Viskosität der gesättigten Flüssigkeit ¹	[mPas]	0.115
Viskosität des gesättigten Dampfes ¹	[mPas]	–
Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Flüssigkeit ²	[W/(mK)]	0.162
Wärmeleitfähigkeit der gesättigten Flüssigkeit ¹	[W/(mK)]	0.134
Wärmeleitfähigkeit des gesättigten Dampfes ¹	[W/(mK)]	0.0163
Spez. Wärmekapazität der gesättigten Flüssigkeit Cp ¹	[kJ/kg K]	1.939
Spez. Wärmekapazität des gesättigten Dampfes Cp ¹	[kJ/kg K]	1.516
Verhältnis Cp/Cv (gesättigter Dampf) ¹	[–]	1.69
Dichte der gesättigten Flüssigkeit ¹	[kg/m ³]	961
Dichte des gesättigten Dampfes ¹	[kg/m ³]	47.31
Verdampfungsenthalpie ¹	[kJ/kg]	270.4
Explosionsgrenze in Luft ³	[Vol.-%]	12.7 – 33.4

1: t = 25°C

2: t = –15°C

3: t = 25°C; p = 1.013 bar

Solkane 125	Solkane 143a	Solkane 124	Solkane 152a
CHF ₂ CF ₃	CH ₃ CF ₃	CF ₃ CHClF	CH ₃ CHF ₂
120	84	136.48	66.1
-48.1	-47.2	-12.0	-24.0
66.2	72.9	122.3	113.3
36.3	37.8	36.2	45.2
0.248	0.190	0.423	0.251
0.141	0.111	0.257	0.160
-	-	0.0116	0.0103
0.078	0.085	0.082	0.124
0.062	0.068	0.068	0.105
0.0170	0.0151	0.0120	0.0148
1.399	1.671	1.134	1.803
1.089	1.343	0.803	1.250
1.35	1.40	1.15	1.27
1190	932	1355	899
90.57	57.63	23.62	18.47
110.3	159.6	146.5	279.1
Keine	7.1 – 20.9	Keine	3.7 – 21.8

5 Allgemeine Eigenschaften

5.1 Stabilität

Eine der Hauptforderungen, die an ein Kältemittel gestellt werden, ist die chemische Stabilität für den in der Kältemaschine vorkommenden Temperatur- und Druckbereich. Tritt nämlich eine Zersetzung innerhalb des Kältemittelkreislaufs auf, so kann es zur Bildung von nichtkondensierbaren Gasen (Druckanstieg), evtl. auch zur Bildung von aggressiven Spaltprodukten, z.B. Halogenen und Halogenwasserstoffsäuren, kommen, die Öl und Konstruktionsmaterialien angreifen (Korrosion). Die Solkane-Typen selbst entsprechen allen an sie gestellten Anforderungen hinsichtlich der Stabilität, es sei denn, sie unterliegen unvorschriftsmäßigen Betriebsbedingungen wie zu hohen Temperaturen bzw. Drücken, wobei besonders in Gegenwart bestimmter Metalle und Metalloxide, die katalytisch wirken, die Gefahr der Zersetzung besteht. Vielfach ist jedoch der Ausfall einer Kältemaschine nicht auf die mangelnde Stabilität des Kältemittels sondern auf die Zersetzung des Kältemaschinenöls zurückzuführen. Der Grund für die ausgezeichnete chemische Stabilität der HFKW und HFCKW ist, wie bereits erwähnt, in der großen Bindungsenergie der C-F-Bindung zu suchen. In zahlreichen Vergleichsuntersuchungen wurde gefunden, daß R134a ebenso stabil oder sogar stabiler als R12 bzw. R22 ist.

Naturgemäß ist die Beständigkeit der einzelnen Solkane-Typen gegen thermische Einflüsse verschieden und wird durch die Anwesenheit von Metallen, Metalloxiden, Öl, Sauerstoff oder Feuchtigkeit herabgesetzt. So sind z.B. bei Anwendung eines neuen Öles Stabilitätsversuche zu empfehlen.

5.2 Einwirkung auf Kühlgüter

Als Folge einer Undichtigkeit an einer Kälteanlage kann die Einwirkung von gasförmigen Kältemitteln auf unverpackte Lebensmittel zum Verlust erheblicher Werte führen. Das von den Nahrungsmitteln absorbierte Kältemittel läßt sich im allgemeinen durch Zufuhr von Wärme bzw. Anlegen von Vakuum wieder entfernen. Es können sich jedoch auch chemische Reaktionen zwischen bestimmten Kältemitteln und den Bestandteilen der Lebensmittel abspielen. Dabei besteht die Gefahr, daß sich Stoffe bilden, die nicht nur den Geschmack

der Lebensmittel beeinträchtigen sondern auch die Nahrungsmittel ungenießbar machen, was z.B. bei Einsatz von Ammoniak als Kältemittel der Fall sein kann. Die Solkane-Typen sind gegenüber dem Kühlgut indifferent, d.h. weder Geschmack noch andere Qualitätskriterien von Nahrungsmitteln werden von Solkane-Kältemitteln beeinflusst. Die Parameter „Wasser-“ und „Fettlöslichkeit“ sind allerdings auch bei den HFKW und HFCKW ebenso wie bei den FCKW von Bedeutung.

5.3 Verhalten gegen metallische Werkstoffe

Betrachtet man die Einwirkung von Kältemitteln auf Metalle, so stellt man fest, daß mit trockenen Solkane-Typen praktisch alle üblicherweise im Kältemaschinenbau und -apparatebau verwendeten Metalle und Metall-Legierungen einsetzbar sind. Lediglich auf Zink, Magnesium, Blei und Aluminium-Legierungen mit mehr als 2 Masse-% Magnesium sollte verzichtet werden.

Selbst Lagerversuche mit feuchten HFKW-Kältemitteln zeigten gute Hydrolysebeständigkeit und keinen korrosiven Abtrag an Metallen wie ferritischem Stahl, V2A, Kupfer, Messing oder Aluminium.

Für die Auswahl von Werkstoffen genügt es nicht, das Verhalten Kältemittel-Metall allein zu untersuchen, vielmehr muß das Mehrkomponentensystem Kältemittel-Metall-Wasser (ein geringer Feuchtigkeitsgehalt liegt immer vor) -Öl betrachtet werden.

5.4 Verhalten gegen nichtmetallische Werkstoffe

Nichtmetallische Werkstoffe finden im Kältemaschinenbau reichlich Verwendung. Lacke, Textilfasern und Fasermaterialien sind als elektrische Isolierstoffe in den Motorwicklungen der gekapselten Verdichter, Elastomere als Abdichtungsmaterial besonders für Wellendichtungen, Faserstoffe, vermengt mit Fetten, Graphit oder Synthetika ganz allgemein als Dichtungsmaterialien gebräuchlich. Das Hauptverwendungsgebiet für die nichtmetallischen Werkstoffe im Kältemaschinenbau ist der Verdichter. Hier werden diese Stoffe nicht nur erhöhten Temperaturen (gelegentlich bis über 100°C) sondern auch der Einwirkung von gasförmigem Kältemittel oder Kältemittel-Öl-Gemischen ausgesetzt. Dabei können Isolierstoffe, Elastomere und Dichtungsstoffe versprö-

den oder erweichen, quellen oder schrumpfen, verhärten, verkleben, angelöst bzw. ganz aufgelöst werden, wobei die Extraktstoffe dann wiederum Verstopfungen und chemische Reaktionen verursachen können. Richtige Auswahl der Werkstoffe, Einhaltung niedriger Betriebstemperaturen und gute Schmierung tragen wesentlich dazu bei, Störungen an Kältemaschinen von vornherein zu vermeiden.

Dichtungswerkstoffe enthalten neben einem Polymer auch Füllstoffe, Weichmacher und eine ganze Reihe von Stoffen zur Verarbeitung und zum Alterungsschutz. Bezüglich der chemischen Beständigkeit gegenüber den abzudichtenden Kältemitteln ist das Polymer selbst das schwächste Glied in der Kette der verschiedenen Mischungsbestandteile. Daher beschränkt sich die Auswahl des richtigen Dichtungswerkstoffes häufig ausschließlich auf die Wahl des Polymerstoffes. Allerdings können in der Praxis auch die anderen Bestandteile von entscheidender Bedeutung sein. Dies sind z.B. die Art der Vernetzung, die Menge der eingesetzten Weichmacher und die Art der Füllstoffe. Die Polymerverträglichkeit allein ist also noch kein Garant für ein sicheres Dichtungsmaterial, aber sie ist eine wichtige Voraussetzung.

Aus den angeführten Gründen empfehlen wir für jeden neuen Anwendungsfall eines HFKW-Kältemittels spezielle Prüfungen.

Für verschiedene HFKW-Typen sind brauchbare **Thermoplaste** Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyacetal (POM) und Polyamid (PA), geeignete **Elastomere** Acrylnitril-Butadienkautschuk (NBR) und hydrierter Acrylnitril-Butadienkautschuk (HNBR). Da sich jedoch die einzelnen HFKW- und HFCKW-Kältemittel gegenüber Kunststoffen und Elastomeren unterschiedlich verhalten, wird dieses Verhalten im Detail im Abschnitt „Solkane-Typen“ beschrieben.

Brauchbare Dichtungen sind auch Metaldichtungen. Sind Schraubverbindungen erforderlich, so muß das Gewinde sauber geschnitten und von anhaftendem Schneidöl sorgfältig gereinigt werden. Auf keinen Fall dürfen Mennige oder Glycerinpaste zum Abdichten von Gewinden benutzt werden.

Der beste Weg, Leckstellen auszuschließen, ist, auf lösbare Verbindungen zugunsten geschweißter und gelöteter zu verzichten.

5.5 Verhalten gegen Schmiermittel

Als Schmier- und Dichtungsmittel an bewegten Teilen von Kältemaschinen dienen die verschiedenen Kältemaschinenöle. Die Schmierstellen sind in erster

Linie Kolben, Ventile, Stopfbuchsen und Gleitringdichtungen der Verdichter. Da sich praktisch alle beweglichen Teile einer Kälteanlage im Verdichter befinden, wird auch nur dort eine Schmierung wirklich benötigt. Das Vorhandensein von Öl im Kältemittelkreislauf ist grundsätzlich nachteilig.

Die Auswahl eines geeigneten Kältemaschinenöls ist für den Verdichter ebenso wichtig wie die genaue Einhaltung der Betriebsvorschriften. Bei Nichtbeachtung dieser Punkte kann die Viskosität des Öls im Verdichter zu niedrig sein, wodurch die Schmierfähigkeit verringert wird, und schließlich kann es zur Zersetzung des Öls kommen. Dabei wiederum bilden sich organische Säuren, die Korrosion verursachen. Ein weiteres Produkt des Ölzerfalls ist der Ölschlamm. Dieser verklebt bewegliche Teile und erhöht die Reibung. In heißgelaufenen Verdichtern kommt es leicht zu Reaktionen zwischen Öl und Kältemittel, wobei sich Halogenwasserstoffsäuren bilden. Außerhalb des Verdichters kann das Öl im Kältekreislauf manche Störung verursachen. So ergibt sich infolge des Ölumlafes u.U. ein schlechter Wärmeübergang bzw. eine verminderte Kälteleistung durch Dampfdruckerniedrigung im Verdampfer. Ein wirksamer Ölabscheider ist das beste Gegenmittel.

Aus DIN 51 503 sind die Anforderungen, die an ein geeignetes Kältemaschinenöl gestellt werden müssen, zu ersehen. Danach werden niedrige Neutralisations- und Verseifungszahlen, ein sehr geringer Asche- und Wassergehalt, ein bestimmtes Fließvermögen sowie ausreichende Viskosität gefordert.

Für FCKW-Kältemittel wurden in der Kältetechnik hauptsächlich Schmieröle auf Mineralölbasis eingesetzt. Für HFCKW-Kältemittel, wie z.B. R22, werden Alkylbenzolöle benutzt. Die Ersatzkältemittel (HFKW) haben im Vergleich zu den FCKW-Kältemitteln eine höhere Polarität. Mineralöle bzw. Alkylbenzolöle sind relativ unpolare Substanzen. In der Chemie gilt eine Faustregel, nach der die Polarität von Substanzen einen Einfluß auf die Löslichkeit hat. Zwei polare Stoffe lösen sich gut untereinander, wogegen ein polarer Stoff nicht oder nur ungenügend in einem unpolaren Stoff löslich ist. Aus diesem Grund sind HFKW-Ersatzkältemittel (z.B. R134a, R507 etc.) nicht löslich in Schmiermitteln auf Mineralöl- bzw. Alkylbenzolölbasis. In einer Kälteanlage wird immer Öl mit dem Kältemittel in den Kreislauf ausgetragen. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, daß das Öl eine gewisse Löslichkeit im Kältemittel aufweist, um die Ölrückführung zum Verdichter zu gewährleisten. Dadurch werden Ölablagerungen im Verflüssiger oder im Verdampfer vermieden. Für HFKW-Ersatzkältemittel wurden von den Kältemaschinenölerstellern synthetische

Schmierstoffe auf Basis von Polyolestern (POE) und Polyalkylenglykolen (PAG) entwickelt. Diese synthetischen Schmierstoffe sind polar und mit HFKW-Kältemitteln mischbar. Mit den bekannten HFKW-Kältemitteln werden nun fast ausschließlich polyolesterbasierte Öle verwendet. Eine Ausnahme bildet der Anwendungsbereich Pkw-Klimaanlagen. Hier werden vorwiegend Polyalkylenglykole (PAG) eingesetzt. Mittelfristige Ersatzkältemittel, wie z.B. HFCKW (R22, R123) und Drop-In-Kältemittel (z.B. R409A), können mit Mineralöl bzw. Alkylbenzolöl benutzt werden.

Polyolesteröle weisen sehr gute Schmierungseigenschaften sowie eine hohe thermische und chemische Stabilität auf. Im Vergleich zu den klassischen Schmierstoffen können Esteröle aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften bzw. Polarität mehr Feuchtigkeit „anziehen“. Bei Wassergehalten von mehr als 200 ppm in Esteröl, kann das Esteröl mit der Feuchtigkeit reagieren (Hydrolysereaktion). Bei dieser Reaktion entstehen aus dem Esteröl sogenannte Teilester und Karbonsäuren. Die Reaktionsprodukte können unter bestimmten Bedingungen mit den Verdichterbauteilen reagieren. Um diese Reaktion zu vermeiden, sollte der Wasseranteil in Esterölen 100 ppm nicht überschreiten. Aus diesem Grund muß beim Umgang mit Esterölen darauf geachtet werden, daß so wenig Feuchtigkeit wie möglich in die Kälteanlage gelangt. Dies bedeutet, daß z.B. keine angebrochenen Esterölgebilde weiter verwendet werden. Das Esteröl in einem offenen Gebinde kann Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen. Ferner sollte die Befüllung des Verdichters mit Esteröl zügig erfolgen und der Kontakt mit Luftfeuchtigkeit möglichst ausgeschlossen werden. Ein sorgfältiges Evakuieren und Trocknen der Kälteanlage ist für den Einsatz von Esterölen sehr wichtig. Es ist darauf zu achten, daß ein ausreichend dimensionierter Trockner eingebaut wird.

Polyalkylenglykol-Öle (PAG) bestehen sowohl aus polaren als auch unpolaren Teilen. Sie werden z.B. mit den Kältemitteln Propan oder Propylen als Schmierstoffe eingesetzt.

Bei Einsatz von kohlenwasserstoffhaltigen Drop-In-Kältemitteln wird durch die sehr gute Löslichkeit der „KW“ die Ölviskosität zum Teil erheblich verringert, was zur Reduzierung der Freßtragfähigkeit (Gefahr von Verschleiß) in den Lagern des Verdichters führt.

Grundsätzlich sollten die von den Verdichterherstellern freigegebenen Öle verwendet werden.

Ersatzkältemittel, wie z.B. R134a, sind in PAG-Ölen – insbesondere bei tiefen Temperaturen – gut löslich. Im Bereich höherer Temperaturen weisen PAG-Öle allerdings Mischungslücken auf. Langzeitversuche ergaben, daß die thermische Stabilität der PAG-Basisöle im Vergleich zu anderen synthetischen Ölen oder Ölen auf Mineralölbasis schlechter ist. Im Vergleich zu Esterölen ist das Wasseraufnahmevermögen von PAG-Ölen stärker ausgeprägt. Durch die Zugabe von geeigneten Inhibitoren kann das ausgeprägte Wasseraufnahmevermögen von PAG-Ölen reduziert werden. In der Praxis werden PAG-Öle in Pkw-Klimaanlagen mit R134a eingesetzt. Die Eigenschaft der guten Löslichkeit in R134a bei tiefen Temperaturen ist hier wünschenswert, da aufgrund der hohen Ölzirkulationsrate in Pkw-Klimaanlagen eine ausreichende Ölrückführung gewährleistet ist.

Der Einsatz von synthetischen Kältemaschinenölen für Ersatzkältemittel ist aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften nicht unkritisch. Aus diesem Grund versuchen die Kältemaschinenölersteller durch neue Entwicklungen die Eigenschaften der synthetischen Öle zu verbessern. So kann z.B. der Einsatz von Polyolesterölen in mobilen Klimaanlagen wie bei der Busklimatisierung zu Problemen führen. Es besteht die Möglichkeit, daß durch die langen Schlauchleitungen Feuchtigkeit in den Kältekreislauf eindringt. Eine Lösung dieses Problems könnte sich mit speziell additivierten Alkylbenzolölen abzeichnen, insbesondere mit R134a. Das additivierte Alkylbenzolöl und R134a bilden eine Dispersion, die eine ausreichende Ölrückführung zum Verdichter gewährleistet. Der Einsatz dieser neu entwickelten Öle ist auch für stationäre Kälte- und Klimaanlagen denkbar. Wird die Eignung dieser Spezialöle in der Praxis bestätigt, so kann die Umrüstung von FCKW-Kälteanlagen auf langfristige HFKW-Ersatzkältemittel wesentlich vereinfacht werden (siehe auch Kapitel Retrofit). Mehrfache Esterölwechsel oder der Einsatz von Drop-In-Kältemitteln sind dann nicht mehr notwendig.

Bezüglich der Auswahl geeigneter Kältemaschinenöle für die alternativen Kältemittel möchten wir auf die Freigabe der Verdichterhersteller bzw. auf die Informationen der Kältemaschinenölersteller verweisen.

5.6 Kältemittel und Wasser

Voraussetzung für das einwandfreie Arbeiten einer Kältemaschine ist die Reinheit des Kältemittels. Die verbreitetste und in ihren Folgen gefährlichste Verunreinigung der Kältemittel ist Wasser. Es ist zweifellos die Ursache für die meis-

ten Störungen in Kältemaschinen, auch beim Arbeiten mit Fluorkohlenwasserstoffen. So kann Wasser zu Einfrierungen der Regelorgane, Verstopfungen der Filter, Korrosionen, Kupferplattierungen und Ausbrennungen in gekapselten Aggregaten führen. Wasser kann im Kältemittelkreislauf in verschiedenen Formen vorkommen, frei (flüssig oder fest), im Kältemittel bzw. im Öl gelöst, an das Trockenmittel und an die Oberflächen von Konstruktionsmaterialien adsorbiert und in chemischen Verbindungen sowie in Isolierstoffen gebunden. Ein geringer Wassergehalt läßt sich in der Praxis nie ganz vermeiden. Selbst bei sorgfältigster Trocknung der montierten Maschine bleibt etwas Feuchtigkeit zurück. Eine Studie von Kälteanlagenherstellern ergab bezüglich des akzeptablen Feuchtegehaltes in montierten Maschinen für das Kältemittel R12 einen Wassergehalt von 10 – 60 ppm und für das Kältemittel R22 50 – 200 ppm, abhängig von der jeweiligen Anwendung [1]. Erfahrungen mit Wassergehalten in diesem Bereich haben keine Probleme verursacht, aber es wird empfohlen, den Wassergehalt so gering wie möglich zu halten.

Um die Funktionen des Wassers im Kältemittelkreislauf zu verstehen, ist die Kenntnis der Löslichkeit von Wasser in Kältemitteln erforderlich. Diese ist bei den einzelnen Kältemittel-Typen verschieden und sinkt mit fallender Temperatur. Ferner ist sie vom Aggregatzustand des Kältemittels abhängig. Gegenüber den vollhalogenierten FCKW-Kältemitteln ist die Wasserlöslichkeit in teilhalogenierten Kohlenwasserstoffen (z.B. HFCKW R22, HFKW R134a) größer. Die Löslichkeitsgrenze von Wasser in flüssigem R22 bei 25°C beträgt 1300 mg/kg und in flüssigem R134a liegt sie in der gleichen Größenordnung. Im Vergleich dazu beträgt die Löslichkeitsgrenze von Wasser in flüssigem R12 bei 25°C 90 mg/kg. Wie zuvor erwähnt, ist die Löslichkeitsgrenze bei niedrigen Temperaturen geringer. Das bedeutet, daß bei den oben angeführten Wassergehalten bei einer Temperatur von beispielsweise 0°C freies Wasser vorhanden wäre, das in Kapillarrohren bzw. Expansionsventilen ausfrieren kann. Neben regelrechter Eisbildung kann es dabei auch zu Verstopfungen durch gelartige, voluminöse Hydrate kommen, die des öfteren bis weit über den Gefrierpunkt des Wassers beständig sind. Ferner kann der Gehalt von freiem Wasser Korrosion in der Kältemaschine hervorrufen. Das Einfrieren der Regelorgane bei Anwendung von FCKW-Kältemitteln ist eine Warnung vor zu hohem Feuchtigkeitsgehalt. Aufgrund der höheren Wasserlöslichkeit von teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen werden Eisblockierungen im Expansionsorgan seltener auftreten. Kohlenwas-

serstoff-Kältemittel haben eine noch geringere Fähigkeit als FCKW-Kältemittel, Wasser zu lösen, d.h., die oben beschriebenen Risiken treten bei ihrem Einsatz verstärkt auf.

Die Einhaltung der DIN-Vorschrift 8960 durch die Hersteller von Kältemitteln garantiert einwandfreie Funktion einer Kältemaschine, vorausgesetzt, daß die Anlage gut getrocknet ist und nur trockene Kältemaschinenöle verwendet werden. Nach DIN 8960 sind die Wassergrenzwerte für Ersatzkältemittel auf 25 mg/kg festgesetzt. Bei diesen Feuchtigkeitsgehalten können weder Einfrierungen noch Korrosionen auftreten. Solvay garantiert nicht nur diese Grenzwerte sondern übertrifft in der Produktqualität diese Anforderungen noch deutlich.

Der Wassergehalt in der Dampfphase ist bei den vollhalogenierten FCKW-Kältemitteln höher als in der Flüssigkeitsphase. Bei den teilhalogenierten Halogenkohlenwasserstoff-Kältemitteln, z.B. R22, ist der Wassergehalt in der Flüssigphase höher. Zwischen der Dampf- und Flüssigphase stellt sich ein Gleichgewicht bezüglich des Wassergehaltes ein. Die Verteilung von Wasser zwischen der Dampf- und Flüssigphase hängt von der Temperatur und der Flüssigkeitsmenge in einem Probebehälter ab. So ist z.B. in einem fast vollständig gefüllten Zylinder der größte Wasseranteil in der flüssigen Phase gelöst, auch wenn der absolute Wassergehalt in der Flüssigphase gering ist. Andererseits, ist der Zylinder nur mit wenig Flüssigphase gefüllt, so kann der Großteil des Wassers in der Dampfphase gelöst sein [2]. Auf dieser Gesetzmäßigkeit beruht die Möglichkeit, die Flüssigphase von FCKW-Kältemitteln durch Gasentnahme zu trocknen, vorausgesetzt, daß stoßweise Gas abgeblasen wird und sich jeweils ein neues Gleichgewicht einstellen kann. Bei teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen wie z.B. R22 ist dies nicht möglich, weil hier die Flüssigkeitsphase mehr Wasser enthält als die Dampfphase.

Im Kapitel 5.5 „Verhalten gegen Schmiermittel“ wird erläutert, daß für FCKW-Ersatzkältemittel synthetische Kältemaschinenöle, nämlich Polyolesteröle, eingesetzt werden müssen. Es wird nochmals darauf hingewiesen, daß die Esteröle die Eigenschaft haben, Feuchtigkeit anzuziehen. Es ist sehr wichtig darauf zu achten, nur trockenes Esteröl einzusetzen. Wasser kann mit Esteröl reagieren (Hydrolyse). Die dabei entstehenden Reaktionsprodukte können die Komponenten einer Kälteanlage, z.B. Verdichter, angreifen. Die Hydrolysebeständigkeit der Fluorkohlenwasserstoff-Kältemittel ist im Vergleich zu chlorierten Kohlenwasserstoffen sehr gut.

Aufgrund der höheren Wasserlöslichkeit in teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen und der hygroskopischen Eigenschaft von Esterölen ist grundsätzlich mit größter Sorgfalt darauf zu achten, daß so wenig Feuchtigkeit wie möglich in einer Kälteanlage vorhanden ist. Im Kapitel 6.4 wird auf das Trocknen von Kältemaschinen näher eingegangen. Der Einsatz von geeigneten Filtertrocknern in der Flüssigkeitsleitung von Kältemaschinen ist unbedingt notwendig. Hierbei ist zu beachten, daß, im Gegensatz zur Anwendung von FCKW-Kältemitteln, angepaßte Filtertrockner für die Ersatzkältemittel eingesetzt werden. Die Molekülstruktur der Ersatzkältemittel unterscheidet sich von der der FCKW-Kältemittel. Die in Filtertrocknern eingesetzten Molekularsiebe zur Trocknung von Ersatzkältemitteln müssen eine Porengröße von 3 Angström aufweisen. Ferner sollte darauf geachtet werden, daß das Material des Filtertrockners mit den Ersatzkältemitteln kompatibel ist. Geeignete Filtertrockner werden für die neuen Kältemittel im Handel angeboten.

In der Regel sind in Kältemaschinen Schaugläser eingebaut, die mit einem Feuchtigkeitsindikator ausgerüstet sind. Derartige Schaugläser zeigen an, wenn der akzeptable Wassergehalt in der Kältemaschine überschritten wird. Um zuverlässige Aussagen über den Wassergehalt zu erhalten, ist zu beachten, daß ein Schauglas mit einem für Ersatzkältemittel geeigneten Feuchtigkeitsindikator eingesetzt wird.

Abschließend wird ein Hinweis auf ein Gerät zur Beseitigung von großen Wassermengen aus Kältekreisläufen gegeben. Der Großhandel bietet ein Ausfriergerät an, das zur Entfernung von Wasser aus Kältekreisläufen dient und einzusetzen ist, wenn eine Trocknung mit herkömmlichen Methoden (Einsatz von Filtertrocknern, spülen mit trockenem Stickstoff) aufgrund der in der Kälteanlage enthaltenen Wassermenge aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ausscheidet. Dies ist z.B. der Fall, wenn nach Wassereintrüben aufgrund defekter wassergekühlter Verflüssiger oder Durchlaufkühler Wasser in die Kältemaschine gelangt ist.

Filtertrockner können bekanntlich nur 15 bis 20% ihres Filtereinsatzgewichtes an Wasser aufnehmen.

Das Verfahren beruht auf dem physikalischen Prinzip des temperaturabhängigen Wasseraufnahmevermögens von Kältemitteln. Zur Nutzung dieses Effektes wird überhitzter Kältemitteldampf mit einem hohen Temperaturniveau durch die zu trocknenden Anlagenteile geleitet, nimmt dort entsprechend seinem

Aufnahmevermögen Wasser auf und transportiert dieses in einen Behälter niederen Temperaturniveaus (Ausfriergerät), wo sich das Wasser, entsprechend dem geringeren Aufnahmevermögen des Kältemittels bei tiefer Temperatur, abscheidet. Eine ausführliche Beschreibung des Gerätes wird in [3] gegeben.

Literaturreferenzen zu Kapitel 5.6:

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, ASHRAE Systems Handbook, Atlanta, Ga.: ASHRAE (1984), Kapitel 28
- [2] Ralph C. Downing, „Fluorocarbon Refrigerants Handbook“ Prentice -Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey 07632 (1988), Kapitel 7, Seite 161-189
- [3] Bedienungsanleitung für Ausfriergerät zur Beseitigung von Wasser aus Kältekreisläufen, Firma Schiessl, Kolpingring 14, Oberhaching

5.7 Elektrische Eigenschaften

Seit Einführung gekapselter Kältemaschinen, bei denen also der Elektromotor im Kältemittelkreislauf integriert ist, besteht die Notwendigkeit, die elektrischen Eigenschaften der Kältemittel zu kennen. Von besonderem Interesse sind die Durchschlagsfestigkeit, die Dielektrizitätskonstante und der spezifische Widerstand. Die elektrische Durchschlagsfestigkeit von Gasen wird meist in Kilovolt je cm, häufig jedoch auch in Relativwerten, bezogen z.B. auf Stickstoff = 1, angegeben. Bei den Kohlenwasserstoffen steigt die Durchschlagsfestigkeit mit zunehmender Anzahl von Kohlenstoffatomen und mit wachsender Substitution der Wasserstoff – durch Fluoratome, mehr noch mit der Substitution durch Chloratome.

HFKW- und HFCKW-Kältemittel weisen zwar eine geringere Durchschlagsfestigkeit und bei den Flüssigkeiten eine größere Dielektrizitätskonstante als die alten vollhalogenierten Kältemittel auf, beide Parameter liegen jedoch – abgesehen von wenigen Ausnahmen – in der Größenordnung von R22.

Gleiches gilt für den spezifischen elektrischen Widerstand der wasserstoffhaltigen Typen, der zwar deutlich kleiner ist als bei den FCKW-Kältemitteln, aber bei den bisher vermessenen Ersatzstoffen größer als bei R22 (Ausnahmen R152a und R123).

Eine hohe Durchschlagsfestigkeit wird bei gekapselten Kältemaschinen auch von dem verwendeten Schmieröl gefordert.

Während reine Flüssigkeiten nur eine sehr geringe elektrische Leitzahl haben, erhöhen schon kleinste Mengen an Fremdstoffen die Leitfähigkeit bedeutend.

In der Praxis kommen die Kältemittel niemals in chemisch absolut reinem Zustand vor. Sie sind fast immer mit etwas Öl und geringen Mengen Wasser verunreinigt, das beim Stromdurchgang elektrolytisch zersetzt werden und damit Ursache für weitere Reaktionen sein kann.

Tabelle 5 enthält die Durchschlagsfestigkeiten der gasförmigen Ersatzkältemittel bei 1 bar und 21.1 °C und die Dielektrizitätskonstanten und spezifische Widerstände der Flüssigkeiten (Frequenz 1000 Hz).

Tabelle 5: Elektrische Eigenschaften von Kältemitteln

	Durchschlagsfestigkeit (gas) [kV] (Elektrodenabstand: 2.54 mm)p, t: ambient	Dielektrizitätskonstante (flüssig) [-] t: ambient, p: Sättigung	Spez. Widerstand (flüssig) [MΩcm] Frequenz = 1kHz t: ambient, p: Sättigung
R12	13.7 ^{a)}	2.04 ^{a)}	0.51 x 10 ⁶ ^{a)}
R22	7.2 ^{a)}	6.35 ^{a)}	157 ^{a)}
R32	2.8 ^{a)}	14.27 ^{c)}	—
R123	18.1 ^{a)}	4.50 ^{a)}	147 ^{a)}
R124	10.4 ^{a)}	5.18 ^{a)}	289 ^{a)}
R125	6.4 ^{a)}	4.94 ^{e)}	—
R134a	6.6 ^{a)} / 6.2 ^{b)}	9.51 ^{a)} / 9.24 ^{b)} / 9.46 ^{d)}	177 ^{a)} / 108 ^{b)}
R141b	13.4 ^{a)}	8.07 ^{a)}	322 ^{a)}
R142b	8.7 ^{a)}	9.24 ^{a)}	1056 ^{a)}
R143a	5.8 ^{a)}	9.57 ^{e)}	—
R152a	5.9 ^{a)}	13.89 ^{a)}	50.0 ^{b)}
R404A	5.5 ^{b)}	7.58 ^{b)}	84.5 ^{b)}
R407C	5.3 ^{b)}	8.74 ^{b)}	74.2 ^{b)}
R410A	4.8 ^{b)}	7.78 ^{b)}	39.2 ^{b)}
R507	5.4 ^{b)}	6.97 ^{b)}	55.7 ^{b)}

a) Fellows B.R., Richard R.G., Shankland I.R., "Electrical Characterization of Alternate Refrigerants", Actes Congr. Int. Froid, 18th (1991), Saint-Hyacinthe, Que, Volume 2, pp 398-402.

b) Report by RWTH Aachen (Germany), Prof.-Dr. G. Pietsch, Dipl.-Ing. Haacke, "Messung von elektrischen Kenngrößen alternativer Kältemittel", February 1998 by order of Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover

c) Barão M.T., Mardolcar U.V., Nieto de Castro C.A., "Molecular Properties of Alternative Refrigerants derived from Dielectric-Constant Measurements", Journal of Thermophysics, Vol.18, No.2, March 1997, pp 419-438

d) Barão M.T., Mardolcar U.V., Nieto de Castro C.A., "The Dielectric-Constant of lliquid HFC 134a and HCFC 142b", Journal of Thermophysics, Vol.17, No.3, May 1996, pp 573-585

e) Personal communication to Solvay by Prof. Mardolcar (Departamento de Fisica, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa Codex, Portugal) of not yet published preliminary data in 11/1997

5.8 Ökologische Eigenschaften

Für die ökologische Bewertung von Kältemitteln sind verschiedene Umwelteinflüsse zu quantifizieren. Grundsätzlich müssen Kälteanlagen so konstruiert und betrieben werden, daß Leckagen vermieden bzw. nach dem Stand der Technik reduziert werden. Durch das umfassende Recycling-Konzept von Solvay, das die Verwertung und Rückführung von Rohstoffen in den Wirtschaftskreislauf beinhaltet, wird den Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vom 27.9.1994 optimal Rechnung getragen.

Das **ODP (Ozone Depletion Potential)** beschreibt den Beitrag zum Ozonabbau. Das ODP von R11 ist als Basis auf 1.0 gesetzt.

Das **GWP (Global Warming Potential)** beschreibt den Beitrag zum Treibhauseffekt, bezogen auf $\text{CO}_2 = 1.0$. Die Angabe des Zeithorizontes ist erforderlich. Die Berechnung von GWP-Werten über einen Zeithorizont von 100 Jahren ist weit verbreitet.

Das **HGWP (Halocarbon Global Warming Potential)** drückt den Beitrag zum Treibhauseffekt aus, bezogen auf $\text{R11} = 1.0$. Die HGWP-Werte beziehen sich auf einen unendlichen Zeithorizont.

Der **TEWI (Total Equivalent Warming Impact)** berücksichtigt die Summe der **direkten** (GWP-Beitrag des Kältemittels) und **indirekten** (Beitrag der CO_2 -Emissionen, die sich aus dem Energieverbrauch zum Betrieb der Anlage ergeben) Emissionen der Treibhausgase. TEWI ist keine produktspezifische Angabe sondern bezieht sich auf ein System (Anlage). Bei Haushalt-Kühlgeräten setzt sich TEWI praktisch nur aus dem indirekten Anteil (CO_2 -Emissionen aus dem Energieverbrauch) zusammen. Die Kältemittel-Emissionen sind hier nahezu Null, d.h. der direkte GWP-Anteil ist vernachlässigbar.

Im Falle der Transportkälte ist die Situation eine andere. Aufgrund der technischen Randbedingungen lassen sich hier Kältemittel-Leckagen nicht vermeiden, so daß der direkte GWP-Anteil nicht mehr vernachlässigbar ist.

Das **POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)** beziffert das Potential eines Stoffes zur Bildung von Ozon in Bodennähe ('Sommersmog').

Die direkten Verursacher der Ozonbelastung in Bodennähe sind auf der einen Seite Stickoxide (NO_x) und auf der anderen Seite leichtflüchtige organische Verbindungen (**Volatile Organic Compounds**) wie zum Beispiel Kohlenwas-

serstoffe. Nur eine ausreichende Konzentration beider Stoffgruppen führt zur erhöhten Ozonbildung.

Die verschiedenen **VOC** tragen jedoch in höchst unterschiedlichem Maße zur Ozonbildung bei. Den entscheidenden Einfluß auf die Höhe des Beitrages zur Ozonbildung in Bodennähe hat die Stabilität des Stoffes. Tendenziell gilt: Je kurzlebiger der Stoff, desto höher ist sein photochemisches Ozonbildungspotential (POCP). Die Werte beziehen sich auf Methan als Referenz (POCP = 1.0).

Die nachfolgende Tabelle stellt die ODP-, GWP- und HGWP- Werte der gängigsten Kältemittel dar.

Tabelle 6 : Umweltrelevante Werte verschiedener Kältemittel

Kältemittel	ODP Montreal Protokoll	ODP ¹ WMO, 1994	GWP ² 100 Jahre Zeithorizont	GWP ² 500 Jahre Zeithorizont	HGWP ³
R11	1.0	1.0	3800		1.0
R12	1.0	0.82/0.9	8100		3.0
R12B1	3.0	5.1/5			
R13	1.0				
R13B1	10.0	12/13	5400		1.5
R14	0	0	6500	10000	730
R22	0.055	0.04/0.05	1500		0.33
R23	0	0	11700	9800	8.4
R32	0	0	650	200	0.15
R113	0.8	0.90/0.9	4800		1.6
R114	1.0	0.85			7.1
R115	0.6	0.40			35
R116	0	0	9200	14000	208
R123	0.02	0.014/0.02	90		0.020
R124	0.022	0.03	470		0.11
R125	0	0	2800	920	0.67
R134a	0	0	1300	420	0.3
R141b	0.11	0.10/0.1	600		0.14
R142b	0.065	0.05/0.066	1800		0.41

Kältemittel	ODP Montreal Protokoll	ODP ¹ WMO, 1994	GWP ² 100 Jahre Zeithorizont	GWP ² 500 Jahre Zeithorizont	HGWP ³
R143a	0	0	3800	1400	1.0
R152a	0	0	140	42	0.031
R218	0	0	7000	10100	42
R225ca	0.025	0.02/0.025			0.030
R225cb	0.033	0.02/0.03			0.11
R227ea	0	0	2900	950	0.69
R236fa	0	0	6300	4700	3.8
R245ca	0	0	560	170	0.13
R C318	0	0	8700	12700	64
R404A	0	0	3260	1150	0.83
R407C	0	0	1526	494	0.36
R409A	0.048	0.039	1288		0.29
R410A	0	0	1725	560	0.41
R507	0	0	3300	1160	0.84

- ¹ World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project, Report Nr. 37 (ISBN 92-807-1449-x). Die erste Ziffer stellt die Modellberechnung dar, die zweite ist das Ergebnis der semi-empirischen Berechnung
- ² Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Cambridge University Press, 1996 (ISBN 0-521-56436-0)
- ³ Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of IPCC IS92 Emission Scenarios, Cambridge University Press, 1995 (ISBN 0-521-55962-6)

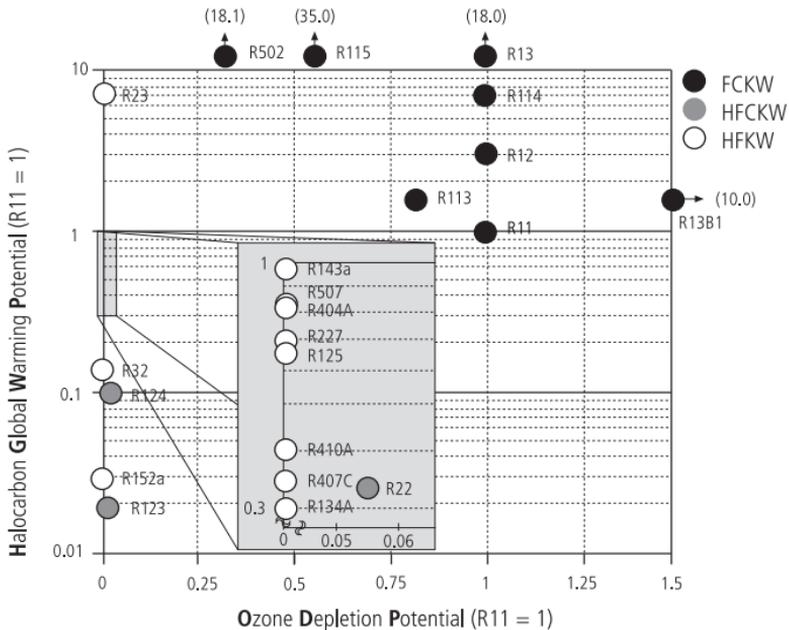


Abbildung 6: ODP- und HGWP-Werte verschiedener Kältemittel

POCP (Methan = 1)

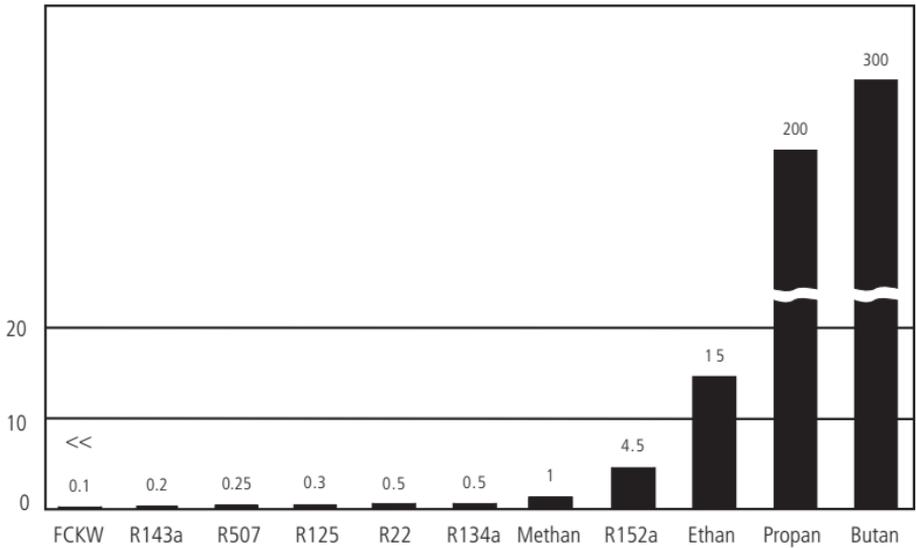


Abbildung 7: POCP-Werte verschiedener Kältemittel

6 Umgang und Handhabung von Kältemitteln

6.1 Allgemeines

Solkane-Kältemittel können gefahrlos gehandhabt werden. Bei Kältemitteln handelt es sich in der Regel um Druckgase. Eine Ausnahme sind die Kältemittel R11 und R123, die bei Raumtemperatur flüssig sind. Ein leichtfertiger Umgang mit Kältemitteln ist zu vermeiden. Um einen sicheren Umgang mit Kältemitteln zu gewährleisten, werden im folgenden Hinweise zur sicheren und richtigen Handhabung gegeben.

Für die Beurteilung der sicherheitstechnischen Eigenschaften eines Kältemittels spielen vor allem die beiden Faktoren Brennbarkeit und Toxizität entscheidende Rollen. Bezüglich der Toxizität verweisen wir auf die Kapitel 3.1.4 und 3.1.5. Der Aspekt der Brennbarkeit wird im Kapitel 6.2 erläutert.

Hinweise zum Umgang werden auch im Merkblatt für den Umgang mit Fluorkohlenwasserstoffen (Bestell-Nr. M021, Ausgabe 12/89) gegeben. Dieses Merkblatt wird von der Berufsgenossenschaft Chemie herausgegeben und kann über den Jedermann-Verlag, Postfach 103140, 69021 Heidelberg, bezogen werden. Des weiteren weisen wir auf die Unfallverhütungsvorschrift VBG20 „Kälteanlagen“ und die Solvay-Sicherheitsdatenblätter hin.

Grundsätzlich ist es zu vermeiden, daß Solkane-Kältemittel mit einer Flamme oder mit rotglühendem Metall in Berührung kommen, da sich hierbei die Kältemittel zersetzen und sich Produkte bilden, die korrosiv sind, die Schleimhäute reizen und eingeatmet giftig wirken. Räume, in denen mit diesen Kältemitteln gearbeitet wird, sollten immer gut belüftet werden, insbesondere dann, wenn die Gefahr des Entweichens von Kältemittel aus Anlagen gegeben ist. Bei starker Anreicherung in geschlossenen Räumen können Kältemittel anästhetisch (betäubend) wirken, da sie den vorhandenen Sauerstoff verdrängen. Ferner darf beim Umgang mit Kältemitteln nicht geraucht werden, da sich die Kältemittel an der Zigarettenglut zersetzen können und die Zersetzungsprodukte – wie oben beschrieben – die Schleimhäute reizen und giftig wirken. Kältemittel entfetten bei Berührung die Haut. Daher sollte man beim Hantieren Schutzhandschuhe (z.B. aus PVA) tragen. Ferner schützen die Handschuhe auch vor Kälteverbrennungen, die entstehen, wenn flüssiges Kältemittel mit der Haut in

Kontakt kommt und verdampft. Zum Schutz der Augen wird das Tragen einer Schutzbrille empfohlen.

Schweißerarbeiten an Kälteanlagen sind nur in gut durchgelüfteten Räumen (nach Entleeren der Anlage) auszuführen.

6.2 Brennbarkeit

Die Solkane-Kältemittel, mit Ausnahme von Solkane143a, 32 und 152a, die nur als Komponenten für Gemische dienen, sind nicht brennbar und bilden bei Umgebungsdruck in keinem Mischungsverhältnis mit Luft explosive Gemische. Allerdings weisen wir darauf hin, daß wasserstoffhaltige Kältemittel (HFCKW und HFKW) unter bestimmten Bedingungen mit Luft zündfähige Gemische bilden können. Im folgenden werden diese Eigenschaften und die Konsequenzen hierfür näher beschrieben.

Aus der Literatur ist bekannt, daß R134a-Dampf mit Luft unter erhöhtem Druck zündfähige Gemische bilden kann [1]. Bei Normaldruck ist ein R134a-Dampf/Luft-Gemisch auch bei erhöhter Temperatur (< 250°C) nicht entzündlich. Der Grenzdruk für die Bildung zündfähiger Gemische in Luft ist von der Gemischtemperatur abhängig.

Ein ähnliches Verhalten zeigt das HFCKW-Kältemittel R22 [2,3]. Das Kältemittel R22 kann bei Drücken oberhalb von 13 bar und einer R22-Konzentration in Luft von mehr als 75 Masse-% zündfähige Gemische bilden.

Untersuchungen haben gezeigt, daß bei Umgebungsdruck unter keinen Umständen zündfähige Gemische aus R22 oder R134a mit Luft hergestellt werden können. Aus diesem Verhalten resultiert auch der grundlegende Unterschied in der sicherheitstechnischen Beurteilung dieser Kältemittel, im Vergleich z.B. zu Kohlenwasserstoffen, die bereits beim bloßen Ausströmen aus Leckstellen an Anlagenteilen in den Aufstellungsraum zündfähige Gemische mit Luft bilden können. Bei R134a und R22 ist hierzu immer ein geschlossenes System mit Luft erforderlich, in dem sich ein entsprechender Überdruck aufbauen kann, was in Kälteanlagen bei ordnungsgemäßem Betrieb nicht gegeben ist.

Für die Anwendungen von HFKW- und HFCKW-Kältemitteln in Kälte- und Klimaanlage bzw. Wärmepumpen führen die geschilderten Produkteigenschaften bei Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik zu keinerlei sicherheitstechnischen Problemen oder Risiken.

Zu betonen ist in diesem Zusammenhang, daß die bereits heute ausgeübte Praxis, Kälteanlagen vor der Befüllung mit trockenem Stickstoff (anstelle von Luft) zu spülen, zu einer sachgemäßen Produkthandhabung gehört.

Bei der Lecksuche darf niemals Druckluft zusammen mit wasserstoffhaltigen Kältemitteln wie z.B. R134a oder R22 eingesetzt werden, lediglich Stickstoff oder Helium können dabei zur Erhöhung des Systemdrucks verwendet werden. Im Extremfall könnten sich dann im Verflüssiger – sofern der Luftanteil dort den Kältemittelanteil übersteigt – zündfähige Gemische bilden.

Vor dem Befüllen einer Kälteanlage gehört effektives Evakuieren zum üblichen Arbeitsablauf.

Beim Betrieb einer Kälteanlage im üblichen Bereich, d.h. bei Verdampfungsdrücken > 1 bar absolut, ist ein Einsaugen von Luft in die Anlage nicht möglich. Voraussetzung ist selbstverständlich die entsprechende Absicherung durch einen Niederdruckpressostaten.

Im Unterdruckbereich werden nur einige Großanlagen, überwiegend solche mit Turboverdichtern, betrieben. Ein Einsaugen von Luft, z.B. über die Gleitringdichtung eines offenen Verdichters oder durch eine Undichtigkeit im Verdampfer, macht sich durch Leistungsabfall des Verflüssigers, verbunden mit einem merklichen Anstieg des Verflüssigungsdrucks, bemerkbar. In diesen Fällen wird die Anwendung eines Hochdruckpressostats in Verbindung mit einer automatischen Entlüftungsvorrichtung empfohlen. Im übrigen würden hohe Luftanteile in Anlagen mit Turboverdichtern dazu führen, daß aufgrund der abnehmenden mittleren Molmasse des geförderten Dampf/Luft-Gemisches der erforderliche Enddruck nicht mehr erreicht bzw. der Verdichter an die Pumpgrenze geraten würde.

Beim Kältemittel-Recycling (Aufarbeitung vor Ort) bzw. der Entnahme wasserstoffhaltiger Kältemittel aus Anlagen und Überführung in Recyclingbehälter ist zu beachten, daß die entsprechenden Gebinde vor jeder (insbesondere der ersten) Inbetriebnahme luftfrei sein müssen. Gründliches Evakuieren muß auch hier selbstverständlich sein. Weiterhin ist dafür zu sorgen, daß die entsprechenden Absaugvorrichtungen luftfrei betrieben werden.

Aufgrund der genannten Zusammenhänge ist festzustellen, daß das Risikopotential in der Anwendung von R134a und R22 ebenso wie das anderer, unter Normaldruck nicht brennbarer FCKW-Substitute, ungleich niedriger zu bewerten ist als das von entzündlichen Kohlenwasserstoffen. Der wesentliche Aspekt

ist dabei die Tatsache, daß beim Ausströmen dieser Substanzen aus Leckstellen in Aufstellungsräume zündfähige Gemische – im Gegensatz zu Kohlenwasserstoffen – nicht möglich sind.

Literatur:

- [1] Dekleva, Lindley, Powell, „Flammability and reactivity of select HFCs and mixtures“, ASHRAE-Journal, December 1993
- [2] Sand, Andrjeski, „Combustibility of Chlorodifluoromethane“, ASHRAE-Journal, May 1982
- [3] Fedorko, „Flammability characteristics of R22-oxygen-nitrogen-mixtures“, ASHRAE-Transactions Vol. 93, No. 2, 1987

6.3 Handhabung von Kältemittel-Gemischen

Als Substitut für FCKW-Kältemittel werden auch HFKW-Gemische eingesetzt. Bei diesen Kältemittel-Gemischen ist zwischen azeotropen und zeotropen Gemischen zu unterscheiden.

Das Kältemittel Solkane 507 (Ersatz für R502) ist z.B. ein azeotropes Gemisch aus R125 und R143a. Azeotrope Gemische bieten gegenüber zeotropen Gemischen einige Vorteile. So verhalten sich azeotrope Gemische im kältetechnisch relevanten Temperaturbereich wie Einstoff-Kältemittel. Das bedeutet, daß azeotrope Kältemittel-Gemische praktisch keinen Temperatur-Glide aufweisen und sich bei der Verdampfung die Zusammensetzung der Flüssig- bzw. Dampfphase lediglich innerhalb der geltenden Spezifikation von Neuware ändert. Diese äußerst geringe Verschiebung hat real keinen nachweisbaren negativen Einfluß auf die Leistung der Kälteanlage und macht sich in der Praxis nicht bemerkbar. Das Kältemittel Solkane 507 kann wahlweise flüssig oder dampfförmig in Kälteanlagen eingefüllt werden. Ausführliche Informationen zum Befüllen von Kälteanlagen sowie zu den Eigenschaften von Solkane 507 sind der Produktinformation Nr. SFD-AK 0795.01 zu entnehmen. Diese Information kann von der anwendungstechnischen Abteilung abgefordert werden.

Im Vergleich zu azeotropen Kältemittel-Gemischen müssen zeotrope Kältemittel-Gemische, z.B. Solkane 407C, flüssig in eine Kälteanlage eingefüllt werden. Aufgrund der zeotropen Eigenschaft von Gemischen ändert sich die Zusammensetzung der Flüssig- und Dampfphase des Kältemittels. In der Dampfphase werden sich die tiefer siedenden Komponenten anreichern. Ferner ist die Änderung der Zusammensetzung abhängig von dem zur Verfügung stehenden Dampfvolumen. Wird zur Befüllung einer Kälteanlage ein zeotropes Kältemittel-Gemisch verwendet und wird die Befüllung mit dampfförmigem Gemisch

ausgeführt, so entspricht das in die Anlage eingefüllte Gemisch nicht der kommerziellen Zusammensetzung. Ein einwandfreier Betrieb der Kälteanlage bzw. die geforderte Kälteleistung wird unter Umständen nicht erreicht.

Es ist zu beachten, daß im Falle einer dampfförmigen Leckage an der Kälteanlage und dem Entweichen eines zeotropen Kältemittel-Gemisches sich die Zusammensetzung des in der Anlage verbleibenden Kältemittels ändert. Ferner ist der Einsatz von zeotropen Kältemittel-Gemischen in Kälteanlagen mit überfluteten Verdampfern nur mit starken Einschränkungen möglich. In beiden Fällen – dampfförmige Leckage bzw. Einsatz überfluteter Verdampfer – werden Konzentrationsverschiebungen in der Flüssig- und Dampfphase auftreten. Die Zusammensetzung des umlaufenden Kältemittel-Gemisches entspricht nicht der ursprünglichen Zusammensetzung. Die Kälteanlage ist auf Basis der Stoffdaten des kommerziell erhältlichen Kältemittel-Gemisches ausgelegt. Aufgrund der geänderten Gemisch-Zusammensetzungen können Leistungsunterschiede auftreten.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß bei Einsatz von azeotropen Kältemittel-Gemischen keine Probleme hinsichtlich dampfförmiger Leckagen oder dampfförmiger Befüllung von Kälteanlagen zu erwarten sind. Bei Einsatz von zeotropen Gemischen ist unbedingt darauf zu achten, daß die Kälteanlage aus der Flüssigphase befüllt wird.

6.4 Entfernen von Wasser aus Kälteanlagen

Unter „Trocknen von Kälteanlagen“ versteht man das Entfernen von Wasser aus dem Inneren derartiger Systeme.

Kältemaschinen sind komplizierte, aus mehreren Bauteilen zusammengesetzte Einheiten, deren chemische, mechanische und elektrische Elemente besonders sorgfältig aufeinander abgestimmt sein müssen.

Kleine Kälteaggregate werden bereits vom Hersteller betriebsfertig vorbereitet und gefüllt.

Bei größeren Anlagen, die erst an Ort und Stelle montiert werden können, wird das Füllen mit Kältemitteln vom Kältetechniker vorgenommen. Sowohl Montage als auch Füllung müssen mit besonderer Sorgfalt durchgeführt werden, wobei die Vorschriften des Herstellers genauestens zu beachten sind.

Wasser ist die verbreitetste und gefährlichste Verunreinigung in Kälteanlagen. Daher ist es in kältetechnischen Systemen zu vermeiden bzw. zu entfernen.

Zum Trocknen von Aggregaten und Einzelteilen kann man sich folgender Methoden bedienen:

1. Durchblasen von Stickstoff

Durch die zu trocknenden Teile wird ein gleichmäßiger Strom trockenen Stickstoffs geleitet. Vom Einsatz trockener Luft wird abgeraten, da nichtbrennbare HFKW- bzw. HFCKW-Kältemittel/Luft-Gemische in geschlossenen Systemen bei erhöhtem Druck zündfähige Gemische bilden können. Ursache ist hier der Sauerstoffgehalt der Luft, der zu Reaktionen Anlaß gibt. Bei Umgebungsdruck ist jedoch für derartige Gemische keine Endzündungsgefahr gegeben. Diese Methode hat sich als die effektivste Maßnahme zur Trocknung von Kälteanlagen herausgestellt.

2. Erzeugen von Vakuum

Das Trocknen unter Anlegen von Vakuum ist hauptsächlich für Teile geeignet, die geschlossen werden können und leckdicht sind. Da das Wasser im Vakuum schon bei niedrigen Temperaturen verdampft, kann es über eine Pumpe entfernt werden. Beim Arbeiten bei Raumtemperatur sollte eine Vakuumpumpe verwendet werden, die möglichst 0.1 mbar abs. Druck erreicht.

3. Zuführen von Wärme

Die zu trocknenden Teile werden in einem Ofen oder Trockenschrank erwärmt. Die hierfür aufgewendete Zeit muß ausreichend sein, vorhandenes Wasser in die Dampfphase zu überführen und die angewendeten Temperaturen hoch genug, um auch an den Oberflächen adsorptiv festgehaltenes Wasser zu entfernen. Die relative Feuchtigkeit der Luft muß niedrig sein. Außerdem ist die mit Wasserdampf angereicherte Luft laufend abzusaugen, um eine Rekondensation bei Herausnahme der getrockneten Teile aus dem Ofen zu vermeiden. Die getrockneten Teile müssen sofort dicht verschlossen werden.

Es ist auch möglich, die drei oben angeführten Methoden miteinander zu kombinieren, wie z.B. Zuführung von Wärme sowie Erzeugen von Vakuum. Bei großen Anlagen hat sich besonders das Verfahren „Erzeugen von Vakuum – Durchblasen von Stickstoff“ bewährt. Dabei sollte mindestens zweimal evakuiert werden. Eine Vakuumpumpe für 5 mbar abs. Druck ist in diesem Fall ausreichend.

6.5 Lecksuche

Für den einwandfreien Betrieb einer Kälteanlage ist eine Dichtigkeitsprüfung Voraussetzung. Leckagen an Kälteanlagen gehören zu den Hauptstörungursachen und führen zu Kältemittel- und ggf. Ölverlusten und zum Eindringen von Luft und damit Feuchtigkeit.

Es sind verschiedene Methoden zum Auffinden von Leckagen an Kälteanlagen anwendbar. Lecksuchmethoden können in zwei Gruppen eingeteilt werden, nämlich Lecklokalisierungs-Geräte und Raum-Überwachungssysteme.

Raum-Überwachungssysteme werden genutzt, um die Raumluftkonzentration von Kältemitteln in Maschinenräumen festzustellen. Diese Geräte sind in der Regel mit einer Alarmfunktion gekoppelt. Beispielsweise werden kältemittelspezifische Detektoren auf Basis der Infrarot-Spektroskopie angeboten. Mit derartigen Geräten können Raumluftkonzentrationen von Kältemitteln im Bereich von 1 ppm bis 25 ppm festgestellt werden.

Zur Lokalisierung einer Leckage an der Kälteanlage können tragbare Lecksuchgeräte eingesetzt werden. Verschiedene Typen von Lecksuchdetektoren werden angeboten. Hierbei unterscheidet man zwischen nichtselektierenden Geräten, halogenselektierenden Geräten und kältemittelspezifischen Detektoren. Bei nichtselektierenden und halogenselektierenden Geräten handelt es sich um elektronische Lecksuchgeräte. Für den Nachweis von Kältemitteln mit elektronischen Geräten eignet sich z.B. das Verfahren zur Ionenstrommessung.

Dieses in der Kältetechnik häufig verwendete Verfahren basiert auf dem Prinzip der Messung des Ionenstromes zwischen zwei Elektroden. Hierzu wird eine kältemittelhaltige Luftprobe über einen elektrochemischen Sensor mit einem dotierten Keramiksubstrat geleitet. Der Detektor wird mittels eines Heizelementes auf hoher Temperatur gehalten. Wenn der Gasstrom Kältemittel enthält, wird das Kältemittel auf der heißen Oberfläche thermisch aufgespalten, wobei Halogen-Ionen entstehen. Diese bewirken einen elektrischen Strom im Keramikmaterial zu einer Auffängerelektrode im Zentrum des Detektors. Der durch die Kältemittel bedingte elektrische Strom wird in ein akustisches Signal umgewandelt. Die Nachweisgrenze von elektronischen Suchgeräten liegt – je nach Ausführung – zwischen 0.5 und 10g pro Jahr.

Der Vorteil der elektronischen Lecksuchgeräte liegt in ihrer einfachen Handhabung und geringen Größe. Allerdings können Querempfindlichkeiten, z.B. zu chlorhaltigen Spurengasen, bestehen, die dann zur Auslösung eines fal-

schen Alarmes führen können. Ist bekannt, daß andere Spurengase, die von dem Lecksuchgerät erfaßt werden, in der Raumluft enthalten sind, empfiehlt sich der Einsatz von kältemittelspezifischen Detektoren. Kältemittelspezifische Detektoren sind in der Regel teurer, bieten aber den Vorteil einer guten Sensibilität und eines störungsfreien Betriebes. Elektronische Lecksuchgeräte, die in der Vergangenheit zur Bestimmung von FCKW-Leckagen eingesetzt wurden, sind zur Erfassung von HFKW (z.B. R134a) nur bedingt oder nicht geeignet. Für die neue Solkane-Kältemittel-Generation bietet der Großhandel entsprechende Geräte an.

Eine weitere Möglichkeit, Kältemittelleckagen festzustellen, ist der Einsatz von lichtintensiven Ultra-Violett-Suchlampen. Bei diesem Verfahren wird dem Kältemaschinenöl ein fluoreszierendes Additiv zugesetzt. Wird die verdächtige Stelle an der Kälteanlage mit diesem Licht bestrahlt, so tritt im Fall einer Leckage mit dem Kältemittel das Additiv/Öl-Gemisch aus und ein helles Leuchten (Fluoreszenz) an der Leckagestelle wird festgestellt. Auch dieses Verfahren zeichnet sich durch eine einfache Handhabung aus, ist aber bei schwer zugänglichen Anlagenteilen nur bedingt einsetzbar. Die Nachweisgrenze für das fluoreszierende Lecksuchsystem liegt bei einer Leckrate von ca. 4g pro Jahr.

6.6 Recycling und Entsorgung

Unter dem Begriff **Recycling** ist hier sowohl die Aufarbeitung gebrauchter fluorierter Kältemittel zu Originalqualität beim Hersteller als auch ihre Abfallentsorgung durch chemische Verwertung gemeint, im Unterschied zu der Abfallentsorgung durch Beseitigung von z.B. nichtaufarbeitungsfähigen Kältemitteln, die in erster Linie durch Verbrennung erfolgt.

Die Solvay Fluor und Derivate GmbH und ihre Recyclingpartner nehmen alle gebrauchten FCKW zurück. Dieses Angebot gilt mit folgender Einschränkung: Bromhaltige Kältemittel und Kältemittel mit für die Anwendung untypischen Verunreinigungen werden sofort der fachgerechten Verbrennung zugeführt. Die Rücknahmegarantie besteht auch für die nicht immer zu vermeidenden FCKW-Gemische und HFKW- bzw. HFCKW-Kältemittel als FCKW-Ersatzstoffe wie z.B. Solkane 134a.

Die zentralen gesetzlichen Vorschriften für alle in Deutschland am Recycling und der Entsorgung von Kältemitteln Beteiligten sind die FCKW-Halon-Verbotsverordnung (siehe Kapitel 9 „Vorschriften“) und das Kreislaufwirtschafts- und

Abfallgesetz vom 27.9.1994 (Inkraft seit dem 7.10.1996). Letzteres umfaßt nach der Definition in §3 als Abfall sowohl Abfälle zur Verwertung als auch Abfälle zur Beseitigung. Gemäß den §§ 5 und 11 haben die Abfallerzeuger die Pflichten zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen grundsätzlich eigenverantwortlich zu erfüllen, wobei die Verwertung von Abfällen Vorrang vor deren Beseitigung hat. Der Abfallschlüssel gemäß Abfallkatalog für die Fluorchlorkohlenwasserstoff-Kältemittel ist 55205.

6.6.1. Recycling-Logistik

Der Ablauf des Recycling-Systems der Solvay Fluor und Derivate GmbH und ihrer Partnerfirmen läßt sich anhand der Abbildung 8 zur Gewerbe- und Industriekälte am besten verdeutlichen.

Solvay produziert Kältemittel und liefert diese über Fachhandelspartner an die Kälteanlagenbau-Fachbetriebe. Die Kälteanlagenbauer befüllen damit die von ihnen erstellten und gewarteten Kälte- und Klimaanlageanlagen. Wird eine solche Anlage stillgelegt oder umgerüstet, muß das Kältemittel fachgerecht entnommen und zurückgeführt werden.

Das Recycling-System (Solvay) im Bereich Gewerbe- und Industriekälte

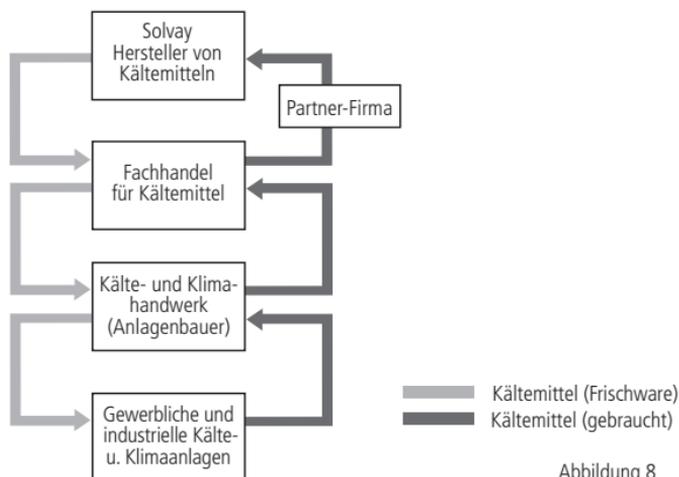


Abbildung 8

Im Bereich der Gewerbe- und Industriekälte umfaßt das Solvay-Recycling-System im einzelnen die folgenden Teilschritte:

- Entnahme des Kältemittels aus der Anlage
- Transport zum Fachhandel von Solvay-Kältemitteln
- Eingangsanalysen
- Umfüllen in Großbehälter (900 l) beim Kältemittel-Fachhandel
- Transport der Großbehälter zum Recycling-Partner
- Analyse der Behälterinhalte und Entscheidung über weiteres Vorgehen:
 - a) Recycling
 - b) Abfallentsorgung durch Beseitigung bei Partner-Firma

Für den Fall a) Recycling:

- Umweltgerechte Abtrennung von Öl und sonstigen betriebsbedingten Verunreinigungen bei Partner-Firma
- Transport im Container bzw. Tankzug zu Solvay, Werk Frankfurt
- Primär-Recycling bei Solvay (nur für Kältemittel, die in Produktion sind) oder
- Sekundär-Recycling der gebrauchten FCKW-Kältemittel (siehe die entsprechenden Kapitel)

Für den Fall b) Abfallentsorgung durch Beseitigung bei Partner-Firma:

- Beseitigung von nichtaufarbeitungsfähigen und nichtverwertbaren Kältemitteln bzw. Kältemittel-Gemischen

Im Recycling-System für Kältemittel bietet Solvay also den Kunden die Möglichkeit, eine **Abfallentsorgung** entweder durch **Verwertung** oder durch **Beseitigung** durchführen zu lassen.

6.6.2 Aufgaben des Kälte- und Klima-Handwerks

Der Kälteanlagenbauer erfüllt eine der wichtigsten Aufgaben im Recycling-System:

Er ist für die fachgerechte, emissionsfreie und typenreine Entnahme der Kältemittel aus den von ihm gewarteten Anlagen zuständig.

Der technische Entnahmevergang ist für alle Kältemittel grundsätzlich gleich. Betroffen sind auch die neuen, chlorfreien Kältemittel Solkane. Diese sind zwar

ozonneutral, aber um den direkten Treibhausbeitrag zu vermindern, ist auch hier Recycling selbstverständlich.

Die Kältemittelentnahme:

Wird eine Kälte- bzw. Klimaanlage stillgelegt oder umgerüstet, ist die fachgerechte Kältemittelentnahme prinzipiell wie folgt vorzunehmen: Zur Entnahme des Kältemittels aus der Anlage dienen spezielle, vom TÜV geprüfte Geräte, die im wesentlichen aus einem Verflüssigersatz mit luftgekühltem Verflüssiger und einer Flüssigkeitspumpe bestehen.

Die Flüssigphase des Kältemittels kann mit der Flüssigkeitspumpe direkt in die Recycling-Flasche gefüllt werden. Dampfförmige Reste müssen zunächst über den Verdichter im Entnahmeggerät abgesaugt und im nachgeschalteten Verflüssiger kondensiert werden. Dann lassen auch sie sich in die Recycling-Flasche füllen.

Durch geeignete Füllstandskontrollen (z.B. zweifache Verwiegung) muß sichergestellt sein, daß ein Füllfaktor von 0.75 kg je Liter Behältervolumen nicht überschritten wird. Zur Vermeidung von Vermischungen ist für jeden Kältemitteltyp eine eigene, entsprechend gekennzeichnete Recycling-Flasche zu verwenden.

Bei der neuen Kältemittel-Generation Solkane gilt die Forderung nach typenreiner Erfassung verstärkt.

Diese Produkte stellen nämlich höhere Anforderungen an das Recycling als vergleichbare FCKW. Die vom Fachhandel für Solvay-Kältemittel bereitgestellten Recycling-Flaschen sind immer nur mit dem Kältemittel zu füllen, für das sie bestimmt sind. Eine einzige falsch deklarierte Recycling-Flasche kann den Inhalt eines ganzen Großbehälters für die Aufbereitung zu Originalqualität (Primär-Recycling) unbrauchbar machen. Ein Zusammenschluß verschiedener Verbände und Institutionen, der Verein „Qualitäts-Siegel Kältemittelentsorgung“ (QSK), bildet die Kälteanlagenbauer in Seminaren für ihre verantwortungsvolle Aufgabe aus.

Neben der fachgerechten Entnahme von Kältemitteln aus Kälteanlagen gibt es weitere wichtige Aufgaben für das Kälte- und Klima-Handwerk. So müssen Anlagen in Zukunft recyclinggerecht konzipiert bzw. nachträglich entsprechend verändert werden – zum Beispiel durch Anbringen von Entnahmeventilen auch bei Kleinanlagen.

Selbstverständlich zählt es außerdem zu den Aufgaben des Handwerks, regelmäßig die Dichtheit der gewarteten Anlagen zu kontrollieren. Deshalb muß der Kälteanlagenbauer bereits bei der Installation einer Anlage den Betreiber auf die Notwendigkeit regelmäßiger Dichtheitskontrollen hinweisen.

6.6.3 Aufgaben des Fachhandels

Nicht nur beim Verkauf von Frischware übernimmt der Fachhandel für Kältemittel und Kältezubehör eine wichtige Verteilerfunktion. Auch innerhalb des Recycling-Systems trägt der Handel wesentlich zu einer funktionierenden Logistik bei.

- Er stellt den Kälteanlagenbauern und der Entsorgungswirtschaft die Recycling-Flaschen zur Verfügung.
- Er bietet die Entnahmegерäte und das Zubehör an, mit denen erst das emissionsfreie und typenreine Sammeln der Kältemittel möglich wird.
- Außerdem erfüllen unsere Fachhandelspartner im Recycling-System die Funktion von Sammel-, Kontroll- und Verteilerstellen.

Die Kältemittel, die über die Handwerksbetriebe und Kühlschranks-Recycler zurückfließen, müssen in Großbehälter umgefüllt werden. Dabei achten die Kältemittel-Fachhändler darauf, daß nicht unterschiedliche Kältemitteltypen im Großbehälter zusammenkommen.

6.6.4 Recycling-Verfahren

Für das Recycling gebrauchter Kältemittel wurden zwei verschiedene Verfahren entwickelt.

6.6.4.1 Das Primär-Recycling

Unter dem sogenannten „Primär-Recycling“ für typenreine Stoffe im großtechnischen Maßstab versteht man die Aufarbeitung gebrauchter Kältemittel zu Originalqualität. Primär-Recycling ist in den Produktionsprozeß für Frischware integriert.

Seit der endgültigen Einstellung der FCKW-Produktion wird die Aufarbeitung der alten FCKW-Kältemittel-Typen (z.B. R11, R12, R502) zu Originalqualität

nicht mehr durchgeführt. Primär-Recycling wird weiterhin betrieben für Solkane 22 und für alle chlorfreien Kältemittel der neuen Solkane-Generation.

Typenreinheit

Eine wesentliche Voraussetzung für das Primär-Recycling ist, daß es sich um typenreines Kältemittel handeln muß. Ein Primär-Recycling von Kältemittel-Gemischen ist in den meisten Fällen nicht möglich. Jede zusätzliche, nicht für den Einsatz als Kältemittel typische Verunreinigung erschwert die Aufarbeitung und bedeutet einen erheblichen Mehraufwand.

Die Qualität der aufgearbeiteten Ware wird durch Analysen überwacht. In allen Kriterien muß sie den Anforderungen von Solvay an neu produzierte Kältemittel entsprechen:

- Einhaltung des Siedebereiches
- Gehalt an nichtverdampfbarem Rückstand
- Inertgasgehalt
- Feuchtigkeitsgehalt
- Säureanteil
- Verunreinigung mit anderen Kältemitteltypen

Die DIN-Norm 8960 muß eingehalten werden. Mit unserem Verfahren stellen wir sicher, daß aufgearbeitete Kältemittel nur in der Qualität von Frischware in den Handel gelangen.

Von dem beschriebenen, großtechnischen Primär-Recycling zu unterscheiden ist das, was sich als „internes Recycling“ im Handwerksbereich etabliert hat: die Reinigung von Kältemitteln am Ort der Entnahme mittels einstufiger, mobiler Recycling-Anlagen. Die so zurückgewonnenen Kältemittel entsprechen in der Regel nicht den strengen Qualitätsanforderungen der DIN-Norm 8960 bzw. der Kältemittel-Hersteller.

6.6.4.2 Das Sekundär-Recycling

Nach Einstellung der FCKW-Produktion gilt nach wie vor das Angebot von Solvay, diese Kältemittel zurückzunehmen. Für die Zukunft ist auch ein Rücklauf von Gemischen aus Kältemitteln der neuen Solkane-Generation mit alten Kältemitteln nicht zu vermeiden. Diese Gemische werden sich kaum aufarbeiten lassen. Auf diese Herausforderung ist unser Recycling-System vorbereitet.

Solvay gibt ihren Partnern die Garantie, jetzt und in Zukunft gebrauchte typenreine Kältemittel und Stoffgemische zurückzunehmen und zu verwerten. Für diese Verwertung nutzt Solvay ein spezielles Spalt-Verfahren, das weltweit patentiert ist.

Wir nennen es Sekundär-Recycling. Darunter verstehen wir die Rückgewinnung der Wertstoffe Flußsäure und Salzsäure aus Kältemitteln, indem diese in einer Anlage thermisch aufgespalten werden. Dies entspricht den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, da diese Wertstoffe als Rohstoffe der chemischen Produktion wieder zugeführt werden.

Die Spaltprodukte werden in den Stoffkreislauf der Produktion zurückgeführt, feste, deponiepflichtige Abfälle und giftige Abgase werden vermieden, wertvolle Industriechemikalien entstehen.

Unseren Kunden bietet das Sekundär-Recycling zwei entscheidende Vorteile: Zum einen haben sie die Gewißheit, daß auch seit dem Ausstieg aus Produktion und Aufarbeitung von FCKW diese Stoffe umweltschonend an Solvay zurückgegeben werden können. Die gesetzlichen Pflichten lassen sich also jederzeit erfüllen. Zweitens lassen sich per Sekundär-Recycling auch Kältemittel-Gemische verwerten, d.h. jene Problemfälle also, die für ein Primär-Recycling nicht mehr in Frage kommen.

6.6.5 FCKW-freie Zukunft

Das Recycling-System und die neue FCKW-freie Kältemittel-Generation Solkane von Solvay sind wichtige Schritte für den Schutz der Umwelt.

Nur ein geschlossener Produktionskreislauf aus umweltschonender Herstellung, aus Vertrieb, Rücknahme und Recycling schützt unsere Umwelt umfassend.

7 Retrofit/Drop-In: Umrüstung von FCKW- Kälteanlagen auf Ersatzstoffe

Mit den Begriffen Retrofit und Drop-In werden zwei Verfahren zur Umrüstung von bestehenden FCKW-Kälteanlagen auf Ersatzkältemittel bezeichnet. Im folgenden werden diese beiden Begriffe definiert.

Retrofit:

Bei einem Retrofit wird neben dem Kältemittel auch das Kältemaschinenöl ausgetauscht. Ferner ist die Anpassung bzw. der Wechsel von kältetechnischen Anlagenkomponenten, wie z.B. Expansionsventil, Filtertrockner oder Dichtungsmaterialien, notwendig. Beim Retrofit kommen langfristige Ersatzstoffe auf Basis von HFKW zum Einsatz. Diese Kältemittel haben kein Ozonabbaupotential.

Drop-In:

Bei einem Drop-In wird nur das Kältemittel ausgetauscht. Der Ersatzstoff muß in seinen Eigenschaften, insbesondere hinsichtlich der Mischbarkeit mit Mineral- bzw. Alkylbenzolölen, dem zu ersetzenden Kältemittel so nahe kommen, daß keine weiteren Änderungen der Anlagenkomponenten erforderlich sind. Die Überprüfung der Überhitzung und ggf. die Einstellung des Expansionsventils wird empfohlen. Bei den Ersatzstoffen handelt es sich um zeotrope Kältemittel-Gemische auf Basis von HFCKW (z.B. R22).

Solvay hat als erster Hersteller die Produktion von FCKW bereits im Jahr 1994 eingestellt.

Seit dem 1. Januar 1995 ist die Produktion von FCKW in der Europäischen Union verboten. Weltweit wurde die Produktion der FCKW gemäß dem Montreal Protokoll zum 1. Januar 1996 in den entwickelten Ländern eingestellt. Ausgenommen hiervon sind Entwicklungsländer gemäß Artikel 5, §1.

In Deutschland, einem der weltweit ersten Länder in denen FCKW verboten wurden, gilt die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung, nach der seit dem 1. Januar 1995 keine FCKW-Kältemittel mehr in neuen Kälteanlagen verwendet werden dürfen. Ferner muß R12 bis spätestens zum 30. Juni 1998 in Altanlagen ersetzt werden oder die R12-Kälteanlage muß außer Betrieb genommen werden. Als

Ersatzstoffe für R12 wurden die Ersatzkältemittel R134a und R22 vom deutschen Umweltbundesamt benannt.

In anderen Ländern innerhalb der EU und weltweit gelten zum Teil deutlich längere Ausstiegsfristen. Es wird auf das Kapitel 9 „Vorschriften“ verwiesen, in dem eine Übersicht zu den weltweit geltenden Ausstiegsfristen bez. der FCKW-Anwendung in der Kältetechnik gegeben wird.

7.1 Das Retrofit-Verfahren

Wie oben definiert, erfordert die Umrüstung bestehender FCKW-Kälteanlagen auf langfristige Ersatzstoffe gewisse Änderungen an kältetechnischen Anlagen. Solvay favorisiert für das Retrofit von bestehenden Kälteanlagen den Einsatz von langfristigen Kältemitteln, wie z.B. Solkane 134a oder Solkane 507, die kein Ozonabbaupotential aufweisen.

Der Grundgedanke des Retrofit ist, Kältemittel und Kältemaschinenöl auszutauschen [1]. Aufgrund der Polarität alternativer Kältemittel auf Basis von Fluorkohlenwasserstoffen, wie z.B. R134a, R507 usw., ist die Verwendung von Esterölen notwendig. Mit herkömmlichen Schmiermitteln auf Mineralölbasis oder mit Alkylbenzolen, die z.B. für R12 verwendet werden, sind HFKW-Kältemittel nicht mischbar.

Im folgenden werden Retrofit-Verfahren kurz vorgestellt und einige beachtenswerte Punkte angeführt. Es wird darauf hingewiesen, daß Hersteller von Kältemaschinenölen Retrofit-Verfahren entwickelt haben. Entsprechende Erfahrungen werden in Form von Informationsschriften von Ölherstellern [1,2] und Verdichterherstellern [3] zur Verfügung gestellt.

Ein Retrofit sollte grundsätzlich nur an Kälteanlagen durchgeführt werden, die – unabhängig vom Alter – in einem guten Zustand sind.

Wie zuvor erwähnt, muß bei einer Retrofitmaßnahme das in der Altanlage befindliche Schmiermittel gegen ein Polyolesteröl ausgetauscht werden. Dabei sollte das Mineralöl bzw. Alkylbenzolöl so vollständig wie möglich aus der Anlage entfernt werden, um Ablagerungen des nicht löslichen Öls im Verdampfer und damit verbundene Leistungsminderungen durch verminderten Wärmeübergang zu vermeiden. Nach Abschluß des Retrofits sollte der Gehalt an Fremdstoffen (Ablagerungen und Altöl) im Polyolesteröl 5% nicht überschreiten. Um dies zu erreichen, sind mehrere Esterölwechsel notwendig. Abhängig von der

Größe der Kälteanlage und der Verdampfungstemperatur werden in der Regel zwei bis drei Ölwechsel benötigt.

Insbesondere halbhermetische und offene Verdichter sind für eine Umrüstung geeignet. Unter Umständen kann ein Austausch des Verdichters erforderlich sein. Dies ist abhängig vom Einsatzbereich der Anlage und muß mit dem Verdichter-Hersteller geklärt werden.

Kälteanlagen mit hermetischen Verdichtern sind für ein Retrofit im allgemeinen nicht geeignet, da in der Regel keine Möglichkeit besteht, das Mineralöl oder das Alkylbenzolöl aus dem Verdichter zu entfernen. Für hermetische Kälteanlagen, die auf HFKW-Kältemittel umgerüstet werden, wird der Einsatz von HFKW-Verdichtern mit Esterölfüllung empfohlen.

Im folgenden werden die einzelnen Schritte einer Retrofitmaßnahme beschrieben [1,2,3].

Im ersten Schritt des Retrofit werden das FCKW-Kältemittel und das Altöl aus der Anlage entfernt. Falls erforderlich, müssen Dichtungen und O-Ringe des Verdichtergehäuses und der Wellendurchführung gegen solche aus speziellen, esterölbeständigen Elastomeren ausgetauscht werden. Der Verdichterhersteller kann zu den eingesetzten Materialien Informationen geben. Unproblematische Dichtungsmaterialien für die Kombination Esteröl/R134a sind z.B. die Elastomere HNBR (hydrierter Nitrilkautschuk) und NBR (Nitrilkautschuk). Informationen zur Materialverträglichkeit von Elastomeren und Kältemitteln sind bei Solvay vorhanden. Ferner wird auf eine Veröffentlichung bezüglich der Verträglichkeit von O-Ring-Materialien mit neuen Kältemitteln verwiesen [4].

Filtertrockner, Filter und Feuchtigkeitsanzeiger sind gegen neue, mit Esteröl und R134a-kompatible Komponenten auszutauschen. Entsprechende Komponenten sind im Großhandel für Kälteanlagenbedarf verfügbar.

Beim Expansionsventil ist zu prüfen, ob durch Veränderung der Überhitzungseinstellung eine Anpassung an den etwas veränderten Dampfdruckverlauf des Ersatzkältemittels gegenüber dem FCKW möglich ist, ansonsten muß das Expansionsventil ausgewechselt werden.

Nach Änderung der Anlagenkomponenten und Wiedereinbau des Verdichters muß die Kälteanlage gründlich evakuiert werden. Es ist sehr wichtig, daß Luft und Feuchtigkeit sorgfältig vor einer Wiedereinbetriebnahme entfernt werden. Es wird auf das Kapitel 5.5 „Verhalten gegen Schmiermittel“ verwiesen, worin der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Stabilität des Esteröls diskutiert wird.

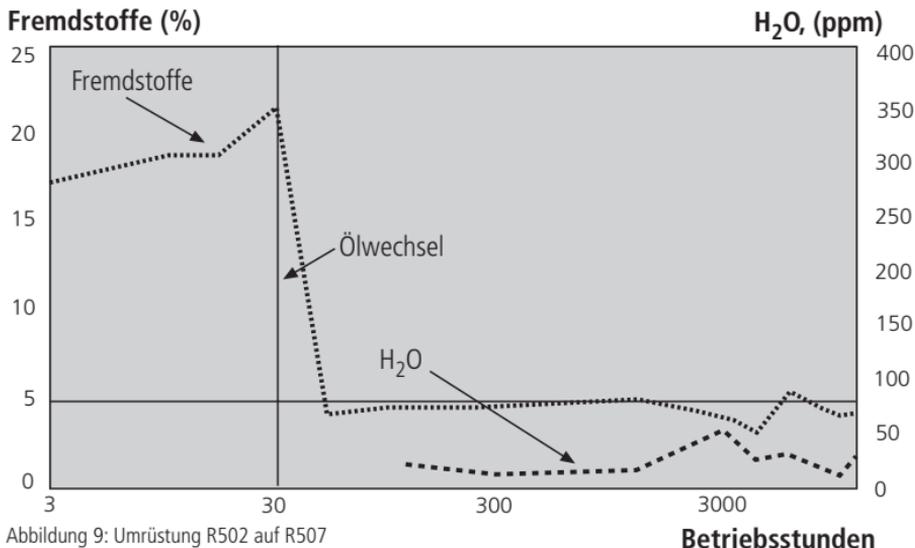


Abbildung 9: Umrüstung R502 auf R507

Zur Entfernung von Altölresten bieten sich drei Verfahren an.

1. Verfahren: Spülen der Anlage mit Esteröl und Ersatzkältemittel

Wird eine zügige Umstellung der Kälteanlage gewünscht, so ist dieses Verfahren anzuwenden.

Hierbei wird nach Anpassung bzw. Wechsel der Anlagenkomponenten das HFKW-Kältemittel und Esteröl in die Anlage eingefüllt. Die Kombination von Esteröl und polarem HFKW-Kältemittel ist ein gutes „Lösungsmittel“ für Ablagerungen innerhalb der Kälteanlage, die in der Regel nach mehrjährigem Betrieb anfallen. Im Betrieb mit den neuen Kältemitteln und dem Esteröl lösen sich diese Ablagerungen und zirkulieren im Kältemittelkreislauf. Um eine Schädigung der Regelorgane oder des Verdichters durch die gelösten Ablagerungen zu vermeiden, wird der Einbau eines Sauggasfilters dringend empfohlen [3]. Ist der Gehalt an Fremdstoffen (= gelöste Ablagerungen und Altöl) im Esteröl < 5%, kann das Sauggasfilter entfernt werden.

Nach kurzem Betrieb der Anlage wird das Esteröl erneut gewechselt. Erfahrungen haben gezeigt, daß je länger die Laufzeit der Kälteanlage zwischen den Esterölwechseln ist, desto besser ist der „Lösungseffekt“ der Kombination HFKW/Esteröl [5]. Anschließend wird die Anlage in Betrieb genommen. Werden Unregelmäßigkeiten im Betrieb der Anlage festgestellt, z.B. Leistungsverluste, wird

das Esteröl nochmals gewechselt. Beispielhaft ist in Abbildung 9 der Verlauf der Gehalte an Fremdstoffen (Altöl, Metalle) und Wasser über die Zeit dargestellt.

Der Gehalt an Altöl im Esteröl kann vor Ort mit Testkits bestimmt werden. Allerdings sind diese Testverfahren nicht sehr genau, aber ausreichend zur Feststellung der 5%-Grenze. Entsprechende Testkits werden vom Großhandel angeboten. Die Kältemaschinenöhersteller bieten außerdem einen Analysenservice an, bei dem u.a. der Fremdstoffgehalt im Esteröl sicher bestimmt wird. Es wird empfohlen, nach ca. $\frac{1}{3}$ der normalen Wartungsfrist das Öl vom Kältemaschinenöhersteller analysieren zu lassen. Anhand des Ergebnisses kann entschieden werden, ob ein weiterer Ölwechsel erforderlich ist.

2. Verfahren: Spülen der Anlage mit Esteröl und FCKW-Kältemittel

Eine zweite Möglichkeit ist, die Anlage in einer Übergangsphase zuerst mit FCKW/Esteröl zu betreiben. Hierbei wird das Esteröl so lange gewechselt, bis der Gehalt an Fremdstoffen $< 5\%$ beträgt. Nachdem die erforderlichen Anpassungen bzw. Wechsel der Anlagenkomponenten durchgeführt wurden, wird die Anlage nach sorgfältigem Trocknen und Evakuieren mit dem HFKW befüllt. Diese Verfahrensweise kann u.U. kostengünstiger sein, da das Retrofit über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird. Z.B. können bei den Wartungsterminen erforderliche Esterölwechsel durchgeführt werden. Nachteilig ist, daß der „Lösungseffekt“ der Kombination HFKW/Esteröl nicht ausgenutzt wird. Unter Umständen ist ein zusätzlicher Ölwechsel im Vergleich zum ersten Verfahren notwendig.

3. Verfahren: Spülen der Anlage mit einem Lösungsmittel

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens bezüglich Umrüstungsmaßnahmen wurde ein drittes Verfahren vorgeschlagen [6]. In diesem Verfahren wird die Anlage mehrfach mit einem Lösungsmittel gespült, um die Altölreste zu entfernen. Vorteilhaft ist, daß nur ein Esterölwechsel notwendig ist. Als Lösemittel wurden Petrolether oder sonstige Kohlenwasserstoffe vorgeschlagen. Es wird darauf hingewiesen, daß diese Stoffe brennbar sind und entsprechende Sicherheitsmaßnahmen beim Arbeiten mit diesen Lösungsmitteln zu beachten sind. Obwohl dieses Verfahren zeit- und kostengünstig ist, wird es praktisch nicht angewandt. Ein Hindernis ist hier der zusätzliche apparative Aufwand, da eine entsprechende Spülapparatur vorhanden sein bzw. mitgeführt werden muß.

Das Retrofit nach den beiden erstgenannten Verfahren wird seit Jahren erfolgreich in der Praxis umgesetzt. Eine bestehende Kälteanlage kann somit dauerhaft auf ein langfristiges Ersatzkältemittel umgestellt werden.

7.2 Das Drop-In-Verfahren

Bei Kälteanlagen mit hermetischen Verdichtern, bei Anlagen in schlechtem Allgemeinzustand bzw. bei Anlagen, wo der Kosten- Nutzeneffekt nicht gegeben ist, ist ein Retrofit nicht zu empfehlen. Für derartige Fälle bietet Solvay ein Drop-In-Kältemittel an. Bei der Anwendung eines Drop-In-Kältemittels sind keine wesentlichen Modifikationen an der Anlage erforderlich. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, daß nur das Kältemittel ausgetauscht werden muß. Ölwechsel sind nicht erforderlich. Dadurch werden die Kosten der Umstellung im Vergleich zum Retrofit-Verfahren gesenkt.

Drop-In-Kältemittel basieren in der Regel auf Mischungen von R22 mit HFKW-Kältemitteln. Das Kältemittel R22 besitzt ein Ozon-Abbaupotential und ist daher keine langfristige Alternative. Zum Beispiel ist in Deutschland gemäß der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung der Einsatz von R22 in Neuanlagen nur noch bis zum Jahr 2000 zulässig. Aus diesem Grund empfiehlt Solvay den Einsatz von Drop-In-Kältemitteln nur für Anlagen mit einer geringen noch verbleibenden Lebenszeit bzw. für Anlagen, bei denen das Öl nicht gewechselt werden kann. Für diese Fälle bietet Solvay das Drop-In-Kältemittel R409A als Ersatz für R12 an.

Bei Drop-In-Kältemitteln handelt es sich um zeotrope Gemische, die einige Nachteile bei der Anwendung mit sich bringen (siehe auch Kapitel 6.3 „Handhabung von Kältemittel-Gemischen“). Zeotrope Kältemittel-Gemische dürfen nur flüssig in die Anlagen gefüllt werden, um Verschiebungen in der Gemischzusammensetzung zu vermeiden. Darüber hinaus sind weitere Nachteile bei der Anwendung von zeotropen Gemischen gegeben: schlechter Wärmeübergang, Entmischung bei Leckagen und im Servicefall, Separation im Kältekreislauf.

Literatur

- [1] Synek, V.; Fahl, J.: „Ein Retrofit-Verfahren für Kälte- und Klimaanlage“, Firmenschrift der DEA Mineraloel AG, Produktentwicklung und Anwendungstechnik, Alte Schleuse 23, 21107 Hamburg
- [2] Umrüstung bestehender FCKW 12-Kälteanlagen auf RENISO E-Kältemaschinenöl und R134a, Fuchs Mineraloelwerke GmbH, Postfach 10 11 62, 68145 Mannheim
- [3] Technische Information KT-650-1 der Fa. Bitzer, Eschenbrunnlestr. 15, 71065 Sindelfingen
- [4] Richter, B.: O-Ringe für neue Kältemittel: „Sorgfältige Werkstoffauswahl erforderlich“, KEM (1995), Ausgabe Mai, S.44-46
- [5] Fahl, J.; Hellmann, J.: „Umstellung einer R502-Kälteanlage auf das Ersatzkältemittel R507“, DIE KÄLTE und Klimatechnik, 48. Jahrgang (1995) Heft 6, S.418-428
- [6] Beermann, K.; Kruse, H.: „Umstellungsprozeduren von bestehenden R12-Kälteanlagen auf das Kältemittel R134a („Retrofit“)\", DIE KÄLTE und Klimatechnik, 46. Jahrgang (1993) Heft 10, S.674-680

8 Verunreinigungen und ihre Folgen

Die Kältemittel-Ersatzstoffe (HFKW und HFCKW) haben sich in der Praxis bereits hervorragend bewährt. Dennoch kommt es gelegentlich zu Störungen an Kältemaschinen, wobei auch die Ursache auf Verunreinigungen im Kältemittelkreislauf zurückgeführt werden kann.

Zu den Hauptstörungsursachen zählen Feuchtigkeit, Fluor- und Chlorwasserstoffsäure, organische Säuren, Ölschlamm, metallische Verunreinigungen, nichtkondensierbare Gase und Ausbrennungen. Diese Verunreinigungen können z.B. bei der Installation oder bei der Durchführung von Überwachungsarbeiten eingeschleppt werden und so die Ursache für chemische Reaktionen im Kreislauf sein, die ihrerseits ebenfalls zur Bildung von Verunreinigungen führen können.

8.1 Wasser

Wasser ist vielfach die Ursache von Störungen, seien es Verstopfungen von Filtern und Regelventilen, Kupferplattierungen, Korrosionen, Lagerschäden oder Kurzschlüsse in den Ständerwicklungen gekapselter Aggregate. Das Wasser kann auf verschiedene Weise in den Kältemittelkreislauf gelangen. Schon beim Zusammenbau einer Kälteanlage müssen alle Teile zuvor sorgfältig getrocknet werden. Das System kann vor dem Einfüllen des Kältemaschinenöls sowie des Kältemittels längere Zeit evakuiert werden, um letzte Spuren Feuchtigkeit zu entfernen. Ein sehr gut geeignetes Verfahren ist das Spülen der Anlagen mit trockenem Stickstoff. Trotzdem läßt es sich in der Praxis nie ganz vermeiden, daß beim Einfüllen des Öls und des Kältemittels geringe Mengen Feuchtigkeit in den Kältemittelkreislauf eingebracht werden. Bei in Betrieb befindlichen Maschinen kann außerdem Feuchtigkeit durch undichte Stellen oder durch Lecks in wassergekühlten Verflüssigern in den Kreislauf eindringen. Wasser kann auch im System durch den Ablauf chemischer Reaktionen gebildet werden, z.B. durch Reaktion von Luftsauerstoff mit aus dem Kältemaschinenöl stammendem Wasserstoff oder durch Umsetzung des Kältemittels mit dem Öl.

Die gleichzeitig gebildeten Säuren greifen die Isolierstoffe in Hermetik-Verdichtern an, die verkohlen und so ebenfalls Wasser frei machen.

Die durch Anwesenheit von Wasser im Kältemittelkreislauf verursachten Störungen und Schäden sind entsprechend der unterschiedlichen Löslichkeit des Wassers in den einzelnen Kältemitteln sehr verschieden. Sie reichen von der Blockierung des Expansionsventils durch Ausfrieren des Wassers über Korrosionen in Maschinen aller Bauarten bis zur Ausbrennung gekapselter Verdichter.

Weitere Einzelheiten über die Verunreinigung „Wasser“ siehe Kapitel 5.6, Kältemittel und Wasser.

8.2 Weitere Verunreinigungen

8.2.1 Fluor- und Chlorwasserstoffsäure

Die Bildung dieser Säuren ist in den meisten Fällen auf die Reaktion von Kältemitteln mit Wasser zurückzuführen.

Zersetzung der Kältemaschinenöle, evtl. verbunden mit Schlammbildung, Zerstörung der Isolierung gekapselter Verdichter, Korrosionen und Kupferplattierung können die Folge sein.

Solkane-Kältemittel sind aufgrund modernster Reinigungsverfahren mineral-säurefrei. Die Bildung von Fluor- und Chlorwasserstoffsäure kann nur vermieden werden, wenn der Kältemittelkreislauf weitgehend wasserfrei gehalten wird (siehe auch Kapitel 5.6, Kältemittel und Wasser).

8.2.2 Organische Säuren

Bei der Zerstörung von auf Cellulosebasis hergestellter Isolierungen in Hermetik-Verdichtern, verursacht durch zu hohe Überhitzungstemperaturen, kommt es zur Bildung organischer Säuren. Hierdurch wird die Bildung von Verharzungsprodukten, Ölschlamm und dergleichen gefördert. Die Folgen sind Lagerschäden und Anfressen. Die Verdichterventile werden undicht und bewirken Rückexpansion und ein Absinken der Fördermenge.

Auch können sich die Schmutzteilchen in Querschnittsverengungen festsetzen und zu Verstopfungen führen.

Einwirkung von Sauerstoff (z.B. aus der Luft) auf Kältemaschinenöl bei erhöhter Temperatur kann ebenfalls zur Bildung organischer Säuren führen. Um die Bildung von organischen Säuren auszuschließen, müssen hohe Überhitzungstemperaturen und Sauerstoff im Kältemittelkreislauf vermieden werden.

8.2.3 Ölschlamm

Bei der Auswahl der Kältemaschinenöle ist besonderer Wert auf deren Qualität und ihre physikalischen Eigenschaften zu legen. Nicht jedes Kältemaschinenöl ist zudem für jede Kältemittel-Type gleich gut geeignet. Auch sind Verdichterbauart, Arbeitstemperatur und Arbeitsdruck zu berücksichtigen. Für HFKW-Kältemittel haben sich Polyolesteröle bewährt.

Hitze, Wasser, Säuren und Kältemittel tragen wesentlich zur Zersetzung des Öls bei nicht ordnungsgemäßem Betrieb und damit zur Bildung von Ölschlamm bei. Die Folgen der Ölschlambildung wurden bereits im Abschnitt „Organische Säuren“ kurz umrissen.

8.2.4 Metallische Verunreinigungen

Es ist bekannt, daß sich Halogen-Kältemittel bei erhöhten Temperaturen in Gegenwart von metallischen Verunreinigungen wie Eisenpulver, Eisenoxid und Kupferoxiden in stärkerem Umfang zersetzen.

Abgesehen davon, daß diese Verunreinigungen allein schon genügen, Kolben, Zylinder und Lager zu beschädigen, Filter und Ventile zu verstopfen, verschlimmern sie noch den Einfluß höherer Temperaturen auf das Kältemittel.

Andererseits führen Metallteilchen zu Ausschleifungen und Korrosionen und damit letztendlich zum Absinken der Kälteleistung.

Metallische Verunreinigungen können von unsauberen Transportgefäßen bzw. aus Maschinenteilen oder Apparaten der Kälteanlage stammen. Viele Kältemittel haben eine stark lösende Wirkung auf Öle und Fette, die zur Vorbehandlung von Metallteilen dienen. Es ist also darauf zu achten, daß Transportgefäße sowie die Maschinen und ihre Teile vor dem Befüllen mit Kältemittel unbedingt sauber und trocken sein müssen.

8.2.5 Nichtkondensierbare Gase

Ein anderer Typ von Verunreinigungen sind nichtkondensierbare Gase, die häufig in Kältekreisläufen vorliegen. Ihre Anwesenheit kann verschiedene Ursachen haben:

- unvollständiges Evakuieren des Systems
- undichte Stellen im System
- chemische Reaktionen im System während des Betriebes
- Abgabe von im Kältemittelkreislauf adsorbierten Gasen.

Ob sich diese Gase schädigend auf die Funktion des Systems auswirken oder nicht, hängt von der Art und Konzentration des Gases ab.

Chemisch reaktionsfähige Gase, wie z.B. Chlorwasserstoff bei FCKW- und HFCKW-Kältemitteln, können die übrigen Komponenten des Systems angreifen und so den Ausfall der Anlage verursachen. Inerte, nichtkondensierbare Gase reduzieren die Kälteleistung. Ihre Anwesenheit hat höhere Drücke und Temperaturen zur Folge, wodurch ebenfalls chemische Reaktionen ausgelöst werden können. Die als gefährlich zu bezeichnende Menge Inertgas hängt von der Art und Größe des Aggregates sowie des verwendeten Kältemittels ab.

Zu den in gekapselten Systemen festgestellten Gasen gehören u.a. Stickstoff und Sauerstoff, u.U. auch Kohlendioxid aus Luft, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan.

Hierbei sollte jedoch bemerkt werden, daß diese Gase normalerweise lediglich in Spuren vorliegen. Abgesehen vom schädigenden Einfluß der nichtkondensierbaren Gase auf den Kältemittelkreislauf kann ihre Anwesenheit auch in Spuren, als ein Maßstab für die chemische Stabilität angesehen werden.

Aus Kältemitteln läßt sich Fremdgas nur durch Entlüften, d.h. Entspannen in eine Kältemittel-Recyclingflasche, beseitigen, indem man aus der Dampfphase absaugt. Gleichzeitig wird ein Teil des unter Druck im Kältemittel gelösten Fremdgases durch die Entspannung frei und kann mit dem verdampfenden Kältemittel entweichen.

8.3 Ausbrennungen

In Kälte- und Klimaanlageanlagen können hermetisch gekapselte Aggregate durch Überhitzung ausbrennen. Die Gründe hierfür sind u.a. Ausbleiben der Stromzufuhr oder Ausfall von Schutzschaltern, Kältemittelverluste, schlechte Ölversorgung, Luft oder Feuchtigkeit und zu hohe Austrittstemperaturen, die chemische Reaktionen zur Folge haben.

Die Zersetzungsprodukte, die sich während einer Ausbrennung bilden, sind Säure, Wasser und Schlamm, die häufig das ganze System verunreinigen. Um weitere Ausbrennungen zu vermeiden, muß die Anlage vor Wiederinbetriebnahme gründlich gereinigt werden. Diese Reinigung kann vorteilhaft durch Spülen mit organischen Lösungsmitteln durchgeführt werden, wobei zweckmäßigerweise ein spezielles Reinigungsgerät des Kältezubehör-Handels eingesetzt werden kann (nationale Gesetzgebung ist zu beachten).

In einigen Fällen sind die Teile des Systems nur einem geringen und kurzen Temperaturanstieg ausgesetzt, und die Menge der gebildeten Zersetzungsprodukte ist somit unwesentlich.

Dieser als „schnelle Ausbrennung“ bekannte Vorgang kann durch einen plötzlichen Kurzschluß in den Motorwicklungen oder durch mechanische Fehler verursacht werden.

Ein durch „schnelle Ausbrennung“ ausgefallenes System braucht nicht in dem Umfang verunreinigt zu sein, daß ein vollständiges Reinigungsverfahren erforderlich wäre. Hier genügt es, den Verdichter auszutauschen und einen neuen Filtertrockner in die Saugleitung zu montieren. Liegen Verunreinigungen vor, so wird man im Expansionsventil, im Verflüssiger oder im Flüssigkeitssammler Anzeichen dafür finden. Befinden sich im Verflüssiger weder Schlamm noch Säure, so kann angenommen werden, daß die Niederdruckseite frei von Zersetzungsprodukten ist. Eine Ausnahme ist die Möglichkeit einer Rückströmung der Verunreinigungen in die Saugleitung. Dies kann jedoch in den meisten Fällen durch Untersuchung der Saugleitung festgestellt werden. Bei einer „schnellen Ausbrennung“ sind keine Kohlenstoff-Ablagerungen, kaum Ölverfärbung und praktisch keine Säurebildung (Säurezahl nicht größer als 0.05 mg KOH/g) festzustellen, d.h. eine Öluntersuchung ist erforderlich.

Bei „langsamen Ausbrennungen“ muß das gesamte System gereinigt werden, wenn feste Teilchen in der Saugleitung gefunden werden.

In den selteneren Fällen einer starken Ausbrennung können die Zersetzungsprodukte, die sich während längerer Zeit angesammelt haben, nicht an Ort und Stelle entfernt werden.

9 Vorschriften und Kältetechnik-Verbände

In diesem Kapitel sind für die Kältetechnik im Hinblick auf Kältemittel entscheidende Verordnungen, Normen, Regeln und Richtlinien angeführt. Die für Kältemittel und Kälteanlagen am wichtigsten sind:

- FCKW-Halon-Verbots-Verordnung
- EG-Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen
- Montreal Protokoll über Stoffe, die die Ozonschicht zerstören
- DIN EN 378 – Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
- DIN 8960 – Kältemittel; Anforderungen
- DIN 8962 – Kältemittel – Kurzzeichen
- DIN 8975 – Kälteanlagen, Sicherheitstechnische Grundsätze für Gestaltung, Ausrüstung und Aufstellung
- E DIN 7003 – Kälteanlagen und Wärmepumpen mit brennbaren Kältemitteln
- VDE 0165 – DIN 57165 – Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- Explosionsschutz-Richtlinien (EX-RL) – Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre
- Druckbehälterverordnung – DruckbehV-Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen
- Unfallverhütungsvorschriften
 - VBG 1 – Allgemeine Vorschriften
 - VBG 20 – Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen
 - VBG 61 – Gase
- Gerätesicherheitsgesetz – GSG – Gesetz über technische Arbeitsmittel

Auf einige Protokolle und Verordnungen wird an dieser Stelle eingegangen:

a) Deutsche FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 06.05.1991 (auf Kältemittel bezogen)

Es ist verboten, die FCKW-Kältemittel R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, die Halon-Typen 1211, 1301, 2402 oder das HFCKW-Kältemittel R22

in den Verkehr zu bringen oder zu verwenden sowie Erzeugnisse, welche die genannten Kältemittel enthalten, herzustellen oder in den Verkehr zu bringen. Für Neuanlagen sind diese Verbote für alle erfaßten Kältemittel bereits wirksam, und zwar für FCKW je nach Füllmenge seit 01.01.1992 bei Mengen ab 5 kg, seit 01.01.1994 bei mobilen Anlagen ab 5 kg und seit 01.01.1995 bei Kleinanlagen mit einer Füllmenge unter 5 kg. Für R22-Neuanlagen wurde dieses Verbot am 01.01.2000 wirksam. Für Altanlagen (hergestellt vor den jeweiligen Verbotsterminen) ist keine Beschränkung vorgeschrieben, es sei denn, daß Kältemittel mit geringerem Ozonabbau-potential nach dem Stand der Technik eingesetzt werden können. Derartige Kältemittel sind vom Umweltbundesamt bekanntzugeben (§ 10, Abs. 2). Eine solche Bekanntmachung von Ersatzkältemitteln ist bisher nur für R12-haltige (am 21.12.1995) und R502-haltige (am 19.05.1999) Erzeugnisse erfolgt. Ausgenommen von der Umrüstungsverpflichtung sind im Falle von R12 steckerfertige Geräte, falls das Kältemittel in diesen in einem dauerhaft geschlossenen Kreislauf geführt wird und die Kältemittelmenge unter 1 kg liegt, und im Falle von R502 nur kompakte, werksgefertigte Heizwärmepumpen mit einer Heizleistung < 25 kW.

Seit Inkrafttreten der Verwendungsverbote ist auch das Inverkehrbringen dieser beiden FCKW-Kältemittel verboten.

b) EG-Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, vom 01.10.2000

Seit 01.10.2000 ist eine neue EU-Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, in Kraft. Diese Verordnung findet Anwendung auf die Produktion, die Einfuhr, die Ausfuhr, das Angebot, die Verwendung und die Rückgewinnung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), anderen vollhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen, Halonen, Tetrachlorkohlenstoff, 1,1,1-Trichlorethan, Methylbromid, teilhalogenierten Fluorbromkohlenwasserstoffen und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (HFCKW). Diese neue Verordnung löst die bisher gültige EG-Verordnung 3093/94, nach der Produktion und Inverkehrbringen von FCKW bereits seit 01.01.1995 verboten waren, ab und verkürzt die bisher gültigen Ausstiegsfristen aus der HFCKW-Anwendung deutlich. Die neue EU-Verordnung besteht aus 3 wesentlichen Teilen:

1. Einer HFCKW-Produktionsbeschränkung für Hersteller in der EU.
In einer 1. Phase bis Ende 2007 darf die Produktionsmenge des Jahres 1997 nicht mehr überschritten werden.
2. Einer HFCKW-Vermarktungsbeschränkung in der EU.
In der Verordnung werden die HFCKW-Mengen geregelt, die durch Hersteller und Importeure in der EU angeboten werden. Diese Menge berechnet sich als Summe aus
 - 2,6 % des (als ODP-t) berechneten Umfangs an FCKW, den Hersteller und Importeure 1989 in Verkehr gebracht oder für eigene Zwecke verwendet haben, und
 - dem (als ODP-t) berechneten Umfang an HFCKW, den Hersteller und Importeure 1989 in Verkehr gebracht oder für eigene Zwecke verwendet haben.

Ab 01.01.2001 wird diese sog. „Cap“-Obergrenze von 2,6 % auf 2 % reduziert. Zusätzlich sind weitere Reduktionsschritte in den Folgejahren vorgesehen bis zu einem vollständigen Verbot des Inverkehrbringens in der EU ab 01.01.2010.

3. Einer HFCKW-Verwendungsbeschränkung in der EU.

Für Kältemittel sind folgende Verwendungsverbotstermine zu beachten:

Verbotstermin	Einsatzbereich
Ab Inkrafttreten :	Haushaltskühl- und -gefriergeräte, Fahrzeugklimaanlagen, Anlagen mit einer Wellenleistung > 150 kW
Ab 01.01.2001 :	stationäre Kälte- und Klimaanlagen (mit Ausnahmen)
Ab 01.01.2002 :	stationäre Klimaanlagen mit < 100 kW Kälteleistung
Ab 01.01.2003 :	umschaltbare Wärmepumpen-Klimageräte
Ab 01.01.2009 :	bisher ausgenommene militärische Anwendungen.

Diese Verbotstermine gelten für den Einsatz in Neuanlagen. Für den Service an Altanlagen wurden folgende Verwendungsverbote festgelegt:

Ab 01.01.2010:	Einsatz von HFCKW-Frischware für die Wartung
Ab 01.01.2015:	Einsatz von Recyclingware für die Wartung (= Verbot der Wartung von HFCKW-Altanlagen)

Zur Beachtung: Das Inverkehrbringen vollhalogenierter FCKW-Kältemittel zur Wartung von Altanlagen ist seit Inkrafttreten der neuen EU-Verordnung verboten. Das Verwenden von FCKW-Kältemitteln (also auch von Recyclingware) ist ab 01.01.2001 verboten. Ein Service an FCKW-Altanlagen ist demnach ab 01.01.2001 nicht mehr zulässig!

c) Montreal-Protokoll über Stoffe, die die Ozonschicht zerstören (weltweit gültig für Unterzeichnerstaaten)

Das Montreal-Protokoll bildet die internationale Rahmenvereinbarung zur Regelung ozonabbauender Substanzen. Die Umsetzung erfolgt über nationale Verordnungen (z.B. EU-Verordnung).

Produktion und Verbrauch der vollhalogenierten FCKW (z.B. R11, R12, R113, R114, R115) sind in Industrienationen bereits seit 01.01.1996 verboten, der Halon-Typen 1211, 1301, 2402 seit 01.01.1994.

Der Verbrauch an HFCKW wurde ab 01.01.1996 auf eine Maximalmenge (in ODP-Tonnen) pro Jahr begrenzt („Cap-Lösung“). Diese Menge berechnet sich als Summe aus

- 2,8 % (im Gegensatz zu 2,6 % in der EU) des als ODP-t berechneten Umfangs an FCKW-Verbrauch in 1989 und
- dem als ODP-t berechneten Umfang an HFCKW-Verbrauch in 1989.

Der Verbrauch an HFCKW muß nach folgendem Zeitplan reduziert werden:

Beginn		Menge (bezogen auf Maximalmenge)
01.01.1996	≤	Maximalmenge
01.01.2004	≤	65 %
01.01.2010	≤	35 %
01.01.2015	≤	10 %
01.01.2020	≤	0,5 %
01.01.2030	≤	0 %

Die HFCKW-Produktion darf ab 01.01.2004 nicht mehr erhöht werden. Zusätzlich wird ab 01.01.2004 ein Verbot des Handels mit Nichtvertragsstaaten wirksam.

Außerdem schreibt das Montreal-Protokoll seit 2000 ein Lizenzierungssystem zur Kontrolle des internationalen Handels mit ozonabbauenden Substanzen vor.

Für Entwicklungs (Artikel 5)-Länder gilt eine Sonderregelung. Solange der jährliche berechnete Umfang des Verbrauchs der geregelten Stoffe unter 0,3 kg pro Kopf liegt, können FCKW noch bis 2010 produziert und eingesetzt werden. HFCKW sind in Entwicklungsländern noch bis 2040 erlaubt.

d) Kyoto-Protokoll

Im Gegensatz zum Montreal-Protokoll, das auf internationaler Ebene die Rahmenbedingungen für den Ausstieg aus ozonabbauenden Substanzen vorgibt, ist das Kyoto-Protokoll das international rechtlich verbindliche Instrument zur Emissionsbegrenzung von Treibhausgasen. Die Basis hierfür ist die Klimarahmenvereinbarung von Rio de Janeiro aus dem Jahr 1992 (Rio-Konvention).

■ Ziel des Kyoto-Protokolls:

Emissionsreduzierung der Treibhausgase bzw. –gasegruppen Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), teilfluorierte FKW (HFKW), perfluorierte FKW (PFKW), Schwefelhexafluorid (SF₆)

■ Größenordnung und Zeitraum:

Die Reduktionsverpflichtungen für die wichtigsten Industrienationen stellen sich wie folgt dar :

EU	– 8 %
USA	– 7 %
Japan	– 6 %.

Zusammen mit den Einsparungsverpflichtungen weiterer Länder (auch Emissionszunahmen wurden bestimmten Ländern zugestanden) ergibt sich ein globaler Mittelwert von – 5,2 %.

Diese Emissionseinsparungen sind innerhalb des sogenannten Verpflichtungszeitraumes 2008 – 2012 zu realisieren. Bezugsbasis für die Einsparungen sind die Emission der Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O in 1990 und der Treibhausgase HFKW, perfluorierte FKW (PFKW) und SF₆ in 1995 (optional 1990), ausgedrückt in CO₂-Äquivalenztonnen.

■ Inkrafttreten:

Das Kyoto-Protokoll tritt in Kraft 90 Tage nach Unterzeichnung und Ratifizierung durch 55 Staaten, die zusammen mindestens 55 % der CO₂-Emission in 1990 repräsentieren.

Wichtig:

- Der „Korb“ aus den 6 im Kyoto-Protokoll genannten Gasen ist bei Maßnahmen zur Emissionsverringerung als Einheit zu betrachten – kein isolierter Ansatz bei einzelnen Gasen!
- Ziel des Kyoto-Protokolls ist eine Emissionsreduzierung, kein Ausstieg über Produktions-, Anwendungs- oder Vermarktungsverbote.

Die EU ist zurzeit dabei, Maßnahmen für die Umsetzung des Kyoto-Protokolls vorzubereiten. Die für die EU geltende Einsparverpflichtung von – 8 % stellt einen Mittelwert aus den nationalen, innerhalb der EU abgestimmten Einsparverpflichtungen der einzelnen EU-Mitgliedstaaten dar. Für Deutschland liegt die Einsparverpflichtung bei – 21 %!

e) DIN-Normen und DIN-Norm-Entwürfe des Normenausschusses Kältetechnik (Stand August 1996)

DIN-Nr.:	Datum	Titel
AA 1 – Sicherheit		
DIN 2405	7.67	Rohrleitungen in Kälteanlagen; Kennzeichnung
DIN 8972-1 bis 2	6.80	Fließbilder kältetechnischer Anlagen
DIN 8975-1 bis 9+	5.78 – 2.89	Kälteanlagen; Sicherheitstechnische Grundsätze für Gestaltung, Ausrüstung, Aufstellung und Betreiben
E DIN 8975-10	10.89	
DIN 16112	2.87	Zifferblätter für Überdruckmeßgeräte in der Kältetechnik
DIN 16125	2.87	Anzeigebereiche, Folge der Teilstriche und Teilpunkte und Bezifferung für Überdruckmeßgeräte in der Kältetechnik
DIN EN 378-1	9.94	Kälteanlagen und Wärmepumpen -
E DIN EN 378-2 bis 13	9.92 – 1.94	Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
E DIN EN 1736	3.95	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Flexible Rohrleitungsteile
E DIN EN 1861	6.95	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Symbole für Systemfließbilder und Rohrleitungs- und Instrumentenfließbilder
E DIN EN 12178	1.96	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Flüssigkeitsstandanzeiger
E DIN EN 12284	5.96	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Ventile

AA 1.1 – Druckschalter

DIN 32733	1.89	Sicherheitsschalteinrichtungen zur Druckbegrenzung in Kälteanlagen und Wärmepumpen
E DIN EN 12263	4.96	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitsschalteinrichtungen zur Druckbegrenzung

AA 1.4 – Anwendung von Kältemitteln der Gruppe 3

E DIN 7003	12.95	Kälteanlagen und Wärmepumpen mit brennbaren Kältemitteln der Gruppe L3
------------	-------	--

AA 2 – Terminologie

DIN 8941	1.82	Formelzeichen, Einheiten und Indizes für die Kältetechnik
----------	------	---

DIN-Nr.:	Datum	Titel
AA 3.1 – Kältemittelventile, Flansche		
DIN 3158	12.87	Kältemittelarmaturen
DIN 3159	5.65	Flanschanschlüsse für Kältemittelarmaturen
DIN 3160	8.74	Durchgang-Absperrventile für Kältemittelkreisläufe
DIN 3161	8.74	Eck-Absperrventile für Kältemittelkreisläufe
DIN 3162	8.74	Schutzkappen für Ventile in Kältemittelkreisläufen
DIN 3163	8.74	Durchgang-Regelventile für Kältemittelkreisläufe
DIN 3164	8.74	Stellungsanzeiger für Ventile in Kältemittelkreisläufen

AA 3.2 – Kreislaufteile

DIN 8905-1 und 3	10.83	Rohre für Kälteanlagen mit hermetischen und halbhermetischen Verdichtern
DIN 8964-1 und 2	9.86 – 3.96	Kreislaufteile für Kälteanlagen
E DIN 8964-2	12.95	Kreislaufteile für Kälteanlagen

AA 3.3 – Rohrverschraubungen

DIN 3866	6.90	Kältetechnik; Gewindezapfen, Rohrbörde
DIN 8906	6.90	Kältetechnik; Lötlose Rohrverschraubungen mit gebördeltem Rohr
DIN 8912	6.90	Kältetechnik; Überwurfmutter, Stopfen für lötlose Rohrverschraubungen mit gebördeltem Rohr
DIN 8914	6.90	Kältetechnik; Dichtringe, Dichtkappen für lötlose Rohrverschraubungen mit gebördeltem Rohr
E DIN 8919	10.93	Kältetechnik; Kältemittel-Kontroll- und Füllventile

AA 4 – Fabrikmäßig hergestellte Kältemaschinen

DIN 8976	2.72	Leistungsprüfung von Verdichter-Kältemaschinen
DIN 27175	1.95	Elektro- und Klimatechnische Einrichtungen von Schienenfahrzeugen
-		
E DIN EN 12055	10.95	Flüssigkeitskühlaggregate und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern

AA 4.2 – Kälte-Drucklufttrockner

DIN ISO 7183	6.90	Drucklufttrockner
--------------	------	-------------------

DIN-Nr.:	Datum	Titel
AA 5 – Haushalt-Kühlgeräte		
DIN 3370	4.80	Gasverbrauchseinrichtungen; Kühl- und Gefriergeräte
DIN 8965	4.92	Camping-Kühlgeräte
DIN 8985	5.83	Oberflächenprüfungen an anschlussfertigen Kühl- und Gefriergeräten
DIN EN 153	11.95	Verfahren zur Messung der Aufnahme elektrischer Energie und damit zusammenhängender Eigenschaften für netzbetriebene Haushalt-Kühlgeräte, Tiefkühlgeräte, Gefriergeräte und deren Kombinationen
DIN EN 28187	1.92	Haushalt-Kühlgeräte; Kühl-Gefriergeräte; Eigenschaften und Prüfverfahren
DIN EN 28960	10.93	Kühlgeräte, Tiefkühlgeräte und Gefriergeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke; Prüfung der Luftschallemission
DIN EN ISO 5155	3.96	Haushalt-Kühlgeräte – Tiefkühl- und Gefriergeräte; Eigenschaften und Prüfverfahren
DIN EN ISO 7371	3.96	Haushalt-Kühlgeräte – Kühlgeräte mit oder ohne Nieder-temperaturfächern; Eigenschaften und Prüfverfahren
DIN EN ISO 8561	3.96	Haushalts-Frost-Free-Kühlgeräte – Kühlschränke, Kühl-Gefriergeräte, Gefriergeräte und Tiefkühlgeräte, gekühlt durch Zwangsumluft; Eigenschaften und Prüfverfahren

AA 6 – Elektromotorisch angetriebene Wärmepumpen und Luftkonditionierungsgeräte

DIN 3167	4.89	Raumluft-Entfeuchter
DIN 3168	4.89	Schaltschrankkühlgeräte
DIN V 4759-2	5.86	Wärmeerzeugungsanlagen für mehrere Energiearten
DIN 8900-2 bis 4	10.80 – 9.82	Wärmepumpen; Anschlussfertige Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern
DIN 8900-6	12.87	
DIN 8901	12.95	Kälteanlagen und Wärmepumpen – Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser
DIN 8947	1.86	Wärmepumpen; Anschlussfertige Wärmepumpen-Wasssererwärmer mit elektrisch angetriebenen Verdichtern
DIN 8957-1 bis 4	9.73 – 10.75	Raumklimageräte
DIN 45635-35	4.86	Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren

DIN-Nr.:	Datum	Titel
DIN EN 255-1	5.89	Wärmepumpen; Anschlußfertige Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern
E DIN EN 255-2 bis 4	5.88 – 1.89	
E DIN EN 255-6 bis 8	10.92	
E DIN EN 810	10.92	Entfeuchter; Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern
E DIN EN 814-1 bis 5	10.92	Luftkonditionierer
DIN V ENV 12102	5.96	Luftkonditionierer, Wärmepumpen und Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Messung der Luftschallemissionen

AA 7 – Gewerbe- und Verkaufskühlmöbel

DIN 8942	1.95	Einbaukältesatz
DIN 8956	8.85	Gewerbliche Geräte zum Tiefgefrieren von Lebensmitteln
DIN 8966	1.93	Bestimmung der Lufttemperatur in Verkaufskühlmöbeln und gewerblichen Lagerkühlmöbeln
DIN 8967	1.68	Backbleche, Backöfen, Kühl- und Gefriereinrichtungen für Bäckereien
DIN 10501 Bbl 1	6.93	Lebensmittelhygiene; Verkaufsmöbel
DIN 10501-1 und 2	12.90	Lebensmittelhygiene; Verkaufsmöbel
E DIN 10501-5	3.96	Lebensmittelhygiene; Verkaufsmöbel
DIN 58371-1 und 2	11.89	Blutkonserven-Kühlschränke
DIN EN 441-1 bis 11	1.95 – 3.96	Verkaufskühlmöbel
E DIN EN 441-12	7.95	Verkaufskühlmöbel

AA 8 – Kältemittel

DIN 8960	7.77	Kältemittel; Anforderungen
DIN 8962	10.87	Kältemittel-Kurzzeichen

DIN-Nr.:	Datum	Titel
AA 9 – Kältemaschinen-Öle		
DIN 51351	8.82	Prüfung von Schmierstoffen; Bestimmung des Flockpunktes von Kältemaschinenölen
DIN 51503-1 und 2	12.85 – 11.88	Schmierstoffe; Kältemaschinenöle
E DIN 51503-1	3.95	Schmierstoffe; Kältemaschinenöle
E DIN 51514	3.95	Prüfung von Schmierstoffen – Bestimmung der Mischungslücke von Kältemaschinenöl in Kältemitteln mit dem Druckrohr-Verfahren
DIN 51590-2	6.76	Prüfung von Schmierstoffen; Bestimmung des Gehaltes an R12-Unlöslichem in Kältemaschinenölen
DIN 51593	5.89	Prüfung von Schmierstoffen; Prüfung von Kältemaschinenölen auf Kältemittel-Beständigkeit; Philipp-Verfahren

AA 10 – Fahrzeugkühlung

DIN 8958-1 bis 5	9.73	Prüfung von Kühleinrichtungen für isolierte Fahrzeuge und Behälter
E DIN 8958-1 und 2	10.95	Prüfung von Kühleinrichtungen für wärmegeämmte Beförderungsmittel
DIN 8959	12.95	Prüfung von wärmegeämmten Beförderungsmitteln für Lebensmittel

DIN-Nr.:	Datum	Titel
AA 11 – Kälte-Apparate		
DIN 8955	4.76	Ventilator-Luftkühler
DIN 8970	3.81	Ventilatorbelüftete Verflüssiger und Trockenkühltürme
DIN V ENV 327	6.91	Wärmeaustauscher; Prüfbedingungen für die Leistungskriterien von ventilatorbelüfteten Verflüssigern
DIN V ENV 328	4.94	Wärmeaustauscher; Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Ventilatorluftkühlern
DIN V ENV 1048	2.94	Wärmeaustauscher; Luftgekühlte Flüssigkeitskühler „Trockenkühltürme“; Prüfverfahren zur Leistungsfeststellung
DIN V ENV 1117	6.95	Wärmeaustauscher – Flüssigkeitsgekühlte Kältemittelverflüssiger – Prüfverfahren zur Leistungsfeststellung
DIN V ENV 1118	6.95	Wärmeaustauscher – Kältemittelgekühlte, Flüssigkeitskühler – Prüfverfahren zur Leistungsfeststellung
DIN V ENV 1216	6.95	Wärmeaustauscher – Luftkühler und Lufterhitzer für erzwungene Konvektion – Prüfverfahren zur Leistungsfeststellung
DIN V ENV 1397	5.95	Wärmeaustauscher – Wasser-Luft-Ventilatorkonvektoren – Prüfverfahren zur Leistungsfeststellung

AA 12 – Trockner und Trockenmittel

DIN 8948	3.80	Trockenmittel für das Trocknen von Kältemitteln; Prüfung
DIN 8949	6.85	Trockner für Kältemittel; Prüfung

AA 13 – Milchkühlanlagen

DIN 8968	3.86	Behälter-Kühlanlagen für frisch ermolzene Milch
DIN 8980	8.86	Wärmerückgewinnung aus frisch ermolzener Milch mittels Behälter-Kühlanlagen

DIN-Nr.:	Datum	Titel
AA 14 – Kältemittel-Verdichter		
DIN 8927	3.88	Offene Verdichter für Kältemaschinen; Normbedingungen für Leistungsangaben, Prüfung, Angaben in Kenndatenblättern und auf Typschildern
DIN 8928	9.86	Kältemittelverdichter; Angaben der Leistungsdaten
DIN 8929	10.87	Anschlüsse hermetischer Motorverdichter für Haushalt-Kühl- und Gefriergeräte
DIN 8971	5.87	Einstufige Verflüssigungssätze für Kältemaschinen; Normbedingungen für Leistungsangaben
DIN 8973	6.87	Motorverdichter für Kältemaschinen; Normbedingungen für Leistungsangaben
DIN 8974	8.75	Dauerschaltprüfung für hermetische Motorverdichter in Kälteanlagen
DIN 8977	1.73	Leistungsprüfung von Kältemittel-Verdichtern
E DIN 8977	7.92	Leistungsprüfung von Kältemittel-Verdichtern
DIN 8978	9.73	Verschleißprüfung von Kältemittel-Verdichtern
DIN 8979	10.73	Hochtemperaturprüfung von Motorverdichtern in Kälteanlagen

AA 16 – Thermisch betriebene Wärmepumpen

DIN 33830-1	6.88	Wärmepumpen; Anschlußfertige Heiz-Absorptions-wärmepumpen
DIN 33830-3 und 4	6.88	
DIN 33831-1 bis 4	5.89	Wärmepumpen; Anschlußfertige Heiz-Wärmepumpen mit verbrennungsmotorisch angetriebenen Verdichtern

f) Europäische und internationale Normungsarbeit, zuständige Gremien (Stand Dezember 1995)

Europäische Normungsarbeit

Sekretariat des

CEN/TC 113/WG 2	Messung des Schalleistungspegels
CEN/TC 182	Kälteanlagen, sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
CEN/TC 182/WG 1	Grundlegende Anforderungen
CEN/TC 44	Haushalt-Kühlgeräte und Verkaufskühlmöbel
CEN/TC 44/WG 1	Energiemessung für Haushalt-Kühl- und Gefriergeräte
CEN/TC 110/WG 1	Wärmeaustauscher, Kältetechnik
CEN/TC 113	Wärmepumpen und Luftkonditionierungsgeräte
CEN/TC 113/WG 1	Wärmepumpen für Brauchwassererwärmung
CEN/TC 113/WG 3	Anforderungen
CEN/TC 113/WG 4	Luftkonditionierungsgeräte
CEN/TC 113/WG 5	Flüssigkeitskühlaggregat
CEN/TC 113/WG 6	Kältemittel-Verdichter – Darstellung von Leistungsdaten
CEN/TC 141/WG 12	Vorrichtungen zum Messen und Aufzeichnen der Temperaturen in der Kühlkette
CEN/TC 153/WG 8	Milchkühler
CEN/TC 181/WG 5	Flüssiggasgeräte, Kühlgeräte
CEN/TC 182/WG 2	Konstruktion und Prüfung
CEN/TC 182/WG 3	Aufstellung und Betrieb
CEN/TC 182/WG 4	Entsorgung und Umweltaspekte
JWG/CEN/TC 182/TC 54	Druckbehälter in Kälteanlagen
CEN/TC 232	Kompressoren, Sicherheit

Internationale Normungsarbeit

Sekretariat des

ISO/TC 86	Kältetechnik
ISO/TC 86/WG 4	Thermodynamische und thermophysikalische Eigenschaften von Kältemitteln
ISO/TC 86/SC 1	Sicherheit
ISO/TC 86/SC 2	Terminologie
ISO/TC 86/SC 3	Fabrikmäßig hergestellte Kälteanlagen für allgemeine Verwendungszwecke
ISO/TC 86/SC 4	Prüfung von Kältemittelverdichtern
ISO/TC 86/SC 5	Bau und Prüfung von Haushaltskühlgeräten
ISO/TC 86/SC 5/WG 1	Kühl- und Gefriergeräte
ISO/TC 86/SC 5/WG 2	Geräuschmessung von Kühl- und Gefriergeräten
ISO/TC 86/SC 6	Prüfung von fabrikmäßig hergestellten Luftkonditionierungsgeräten und Wärmepumpen
ISO/TC 86/SC 6/WG 1	Luftkonditionierungsgeräte und Wärmepumpen
ISO/TC 86/SC 6/WG 2	Geräuschmessung an Ausrüstungen
ISO/TC 86/SC 6/WG 3	Wasserwärmepumpen
ISO/TC 86/SC 6/WG 5	„Multiple split“ Luftkonditionierungsgeräte und Wärmepumpen ohne Kanalanschluß
ISO/TC 86/SC 7	Bau und Prüfung von gewerblichen Verkaufskühlmöbeln
ISO/TC 86/SC 8	Kältemittel und Kältemaschinenöle für die Kälteindustrie
ISO/TC 86/SC 8/WG 1	Technische Eigenschaften und Prüfverfahren für Kältemittel
ISO/TC 86/SC 8/WG 2	Geräte für Kältemittel – Rückgewinnung, Recycling und Wiederaufbereitung
ISO/TC 86/SC 8/WG 3	Festlegung von Verunreinigungsgraden für Fluorkohlenwasserstoffe
ISO/TC 86/SC 8/WG 4	Kältemittel-Kurzzeichen
ISO/TC 86/SC 8/WG 5	Sicherheitsklassifizierung und Anforderungen an Kältemittel
ISO/TC 118/WG 5	Lufttrockner

g) Unfallverhütungsvorschrift VBG 20 – Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen (in der Fassung vom 1.1.1997)

Kältemittelleinteilung

§ 3.

(1) Kältemittel werden ihren Eigenschaften entsprechend in folgende Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1: Nicht brennbare Kältemittel ohne erhebliche gesundheitsschädigende Wirkung auf den Menschen,

Gruppe 2: Giftige oder ätzende Kältemittel oder solche, deren Gemisch mit Luft eine untere Explosionsgrenze von mindestens 3.5 Vol.-% hat,

Gruppe 3: Kältemittel, deren Gemisch mit Luft eine untere Explosionsgrenze von weniger als 3.5 Vol.-% hat.

(2) Werden in einer Kälteanlage Kältemittel verschiedener Gruppen verwendet, sind entsprechend den Füllgewichten die Bestimmungen für den höheren Gefährdungsgrad maßgebend.

Zu § 3 Abs. 1:

Die Gruppeneinteilung der Kältemittel (siehe Anhang 1: „Einteilung und Eigenschaften der Kältemittel“) ist international anerkannt. Die chemischen Eigenschaften und die gesundheitsschädigenden Einwirkungen auf Menschen wurden dabei berücksichtigt. Neuentwickelte, nicht aufgeführte Kältemittel und Kältemittelmischungen werden in die für diese in Frage kommenden Gruppen sinngemäß eingereiht; Benennung der Kältemittel siehe DIN 8962 „Kältemittel-Kurzzeichen“.

Anhang 1: Einteilung und Eigenschaften der Kältemittel (Auszug aus VBG 20)

Gruppe	Kurzz. nach DIN 8962	Chemische Bezeichnung	Chemische Formel	Molare Masse kg/kmol	Siedepunkt bei 101,3 kPa ²⁾ °C	Dichteverhältnis (gasf.) (Luft = 1) ³⁾
	R11	Trichlorfluormethan	CCl ₃ F	137.4	24	4.73
	R12	Dichlordifluormethan	CCl ₂ F ₂	120.9	-30	4.17
	R12B1	Bromchlordifluormethan	CBrClF ₂	165.4	-4	5.70
	R13	Chlortrifluormethan	CClF ₃	104.5	-81	3.60
	R13B1	Bromtrifluormethan	CBrF ₃	148.9	-58	5.13
	R22	Chlordifluormethan	CHClF ₂	86.5	-41	2.98
	R23	Trifluormethan	CHF ₃	70.0	-82	2.41
	R113	1.1.2-Trichlor-1.2.2-trifluorethan	CCl ₂ FCClF ₂	187.4	48	6.46
1	R114	1.2-Dichlor-1.1.2.2-tetrafluorethan	CClF ₂ CClF ₂	170.9	4	5.89
	R123 ¹⁾	2.2-Dichlor-1.1.1.1-trifluorethan	CF ₃ CHCl ₂	152.9	27	5.27
	R134a ¹⁾	1.1.1.2-Tetrafluorethan	CH ₂ F-CF ₃	102.0	-26	3.52
	R500	R12 73.8% ⁵⁾ R152a 26.2%		99.3	-33	3.42
	R502	R22 48.8% ⁵⁾ R115 51.2%		111.6	-45	3.85
	R503	R23 40.1% ⁵⁾ R13 59.9%		87.5	-88	3.02
	R744	Kohlenstoffdioxid (Kohlendioxid)	CO ₂	44.0	-78 ¹⁾	1.52

Einstufung nach Anhang VI GefStoffV ⁴⁾	Einstufung in Wassergefährdungsklasse (WGK) nach „Katalog wassergefährdender Stoffe“ ⁴⁾	Berechnungsgröße „c“ für Kältemittel der Gruppe 1 lt. Anlage zur UVV kg/m ³	
–	2	R11	0.3
–	–	R12	0.5
–	–	R12B1	0.2
–	–	R13	0.5
–	–	R13B1	0.6
–	–	R22	0.3
–	–	R23	0.3
–	–	R113	0.4
–	–	R114	0.7
–	–	R123	
–	–	R134a	
–	–	R500	0.4
–	–	R502	0.4
–	–	R503	0.4
–	–	(erstick. Wirkung)	0.1

Anhang 1: Einteilung und Eigenschaften der Kältemittel (Fortsetzung)

Gruppe	Kurz- nach DIN 8962	Chemische Bezeichnung	Chemische Formel	Molare Masse kg/kmol	Siedepunkt bei 101.3 kPa ²⁾ °C	Dichteverhältnis (gasf.) (Luft = 1) ³⁾
2	R30	Dichlormethan (Methylenchlorid)	CH ₂ Cl ₂	84.9	40	2.93
	R40	Chlormethan (Methylchlorid)	CH ₃ Cl	50.5	-24	1.74
	R160	Chlorethan (Ethylchlorid)	CH ₂ ClCH ₃	64.5	13	2.22
	R611	Methylformiat	HCOOCH ₃	60.0	32	2.07
	R717	Ammoniak	NH ₃	17.0	-33	0.59
	R764	Schwefeldioxid	SO ₂	64.1	-10	2.21
	R1130	1.2-Dichlorethen	CHCl=CHCl	96.9	48	3.34
3	R170	Ethan	CH ₃ CH ₃	30.1	-89	1.04
	R290	Propan	CH ₃ CH ₂ CH ₃	44.1	-42	1.52
	R600	Butan	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	58.1	0	2.00
	R600a	2-Methylpropan (Isobutan)	CH(CH ₃) ₃	58.1	-12	2.00
	R1150	Ethen (Ethylen)	CH ₂ =CH ₂	28.1	-104	0.97
	R1270	1-Propen (Propylen)	CH ₃ CH=CH ₂	42.1	-48	1.45

* Stoff zum Zeitpunkt der Drucklegung noch nicht abschließend bewertet;
Zuordnung zur Kältemittelgruppe kann sich noch ändern

- 1) Sublimationstemperatur
- 2) Umgebungsdruck der Atmosphäre
- 3) über die molare Masse berechnet (Luft 29 kg/kmol)
- 4) „-“ bedeutet: „zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht in der jeweiligen Auflistung aufgeführt“. Daraus kann nicht zwangsläufig geschlossen werden, daß der Stoff unbedenklich ist; möglicherweise ist er noch nicht offiziell eingestuft worden. Sicherheitsdatenblatt oder Angaben des Herstellers beachten.
- 5) Azeotropes Gemisch

Einstufung nach Anhang VI GefStoffV ⁴⁾	Einstufung in Wassergefährdungsklasse (WGK) nach „Katalog wassergefährdender Stoffe“ ⁴⁾	Zündtemperatur °C	Explosionsgrenzen Vol.% (g/m ³)	
			obere	untere
Xn	2	605	22.0 (780)	13 (450)
Xn	2	625	19.0 (410)	7.6 (160)
F	–	510	14.8 (400)	3.6 (95)
F	–	450	23.0 (570)	5.0 (120)
Lösung: C wasserfrei: T	2	630	33.6 (240)	15.4 (108)
T	1	nicht brennbar		
F, Xn	–	460	12.8 (520)	9.7 (390)
F	–	515	14.7 (185)	2.7 (33)
F	0	470	10.9 (200)	1.7 (31)
F	0	365	9.3 (225)	1.4 (33)
–	0	460	8.5 (210)	1.8 (44)
F	–	425	32.4 (380)	2.3 (26)
F	–	455	11.1 (200)	2.0 (35)

Die Kältemittel der Gruppe 2 weisen ein Risiko in Richtung „Gesundheitsschädigung“ bzw. „Brennbarkeit“ auf, die der Gruppe 3 ein erhöhtes Risiko wegen ihrer „Brennbarkeit“.

Auf eine detaillierte Darstellung der Vorschriften wird hier verzichtet. Die Liste der zu beachtenden Normen und Richtlinien kann noch vergrößert werden, da praktisch in allen Richtlinien normative Verweise zu finden sind.

h) Kältetechnik-Verbände

Verbände und Organisationen, die die Kältetechnik in Deutschland vertreten, sind die folgenden:

- AREA – Air conditioning and Refrigeration European Association.
Beau Site Première avenue, 88 • B - 1330 Rixensart • Belgium
- BIV – Bundesinnungsverband des Deutschen Kälteanlagenbauer Handwerks, 63477 Maintal
- DKV – Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.,
70569 Stuttgart
- Fachverband der Kühlhäuser und Eisfabriken e.V., 53113 Bonn
- FGK – Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., 74321 Bietigheim-Bissingen
- Forschungsrat Kältetechnik e.V., 60528 Frankfurt
- Normenausschuß Kältetechnik (FNKä) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 50672 Köln
- VCI – Verband der Chemischen Industrie e.V., 60329 Frankfurt
- VDKF – Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V.,
53721 Siegburg
- VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.,
Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik, 60528 Frankfurt

10 Wörterbuch

A

Abblasen – Abblasen von Dampf aus einem Kältemittel enthaltenden Behälter, früher gewöhnlich angewendet, um den Gehalt an nichtkondensierbaren Gasen herabzusetzen. Heute nur noch Entspannen in eine Kältemittel-Recycling-Flasche zulässig.

Abscheider – eine Vorrichtung zur Entfernung von Teilchen aus einer strömenden Flüssigkeit bzw. einem strömenden Gas.

Absoluter Nullpunkt – Nullpunkt der absoluten Temperaturskala, entsprechend -273.15°C bzw. -459.67°F ; die absolute Temperatur wird in K angegeben.

Absorber – Apparat in der Niederdruckseite von Absorptionskältemaschinen, in dem der Kältemitteldampf von der armen Lösung unter Wärmeentzug absorbiert wird.

Absorptionskältemaschine – Dampfkältemaschine, in der der Kältemitteldampf von einem festen oder flüssigen Stoff absorbiert und aus diesem durch Wärmezufuhr bei höherem Partialdruck wieder ausgetrieben wird.

Absorptionsmittel – Substanz, die unter chemischer oder physikalischer Veränderung in der Lage ist, eine oder mehrere Komponenten aus Mischungen von Gasen und/oder Flüssigkeiten zu absorbieren.

Abtauen – Entfernung von Eis an Kühlelementen; Auftauen gefrorener Lebensmittel.

ACGIH – Abkürzung für American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Adiabatischer Prozeß – thermodynamischer Prozeß, bei dem Wärme weder zu – noch abgeführt wird.

Adsorptionsmittel – Stoff mit großer innerer Oberfläche; ist in der Lage, ein oder mehrere Bestandteile aus Mischungen von Gasen und/oder Flüssigkeiten zu adsorbieren, ohne sich dabei chemisch oder physikalisch zu verändern.

AEL – Abkürzung für Acceptable Exposure Limit = empfohlene Durchschnittskonzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird (Basis 8 Stunden pro Tag und 5 Tage pro Woche).

AFEAS – Abkürzung für Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study. In der AFEAS-Studie wurden und werden die FCKW-Ersatzstoffe (HFKW und HFCKW) hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt (ODP und GWP) untersucht, außerdem auch die Zersetzungsprodukte der Ersatzstoffe.

Aktivierte Tonerde – besteht im wesentlichen aus Aluminiumoxid; wird als Trockenmittel verwendet.

Ausfrieren – die normale Funktion des Kälteaggregates wird durch Ausfrieren von Wasser am Expansionsventil gestört; das Ventil kann durch Eisbildung entweder offen oder geschlossen sein.

Austreiber – Apparat in der Hochdruckseite von Absorptionskältemaschinen, in dem das Kältemittel aus der reichen Lösung durch Wärmezufuhr dampfförmig ausgetrieben wird.

Austrittsdruck – Arbeitsdruck, gemessen in der Austrittsleitung des Verdichters.

Austrittsventil – das Ventil am Verdichter, durch welches das verdichtete Kältemittel vom Verdichterszylinder in die Austrittsleitung strömt.

Azeotropes Gemisch (kurz Azeotrop) – Mischung aus zwei oder mehreren Flüssigkeiten, bei der im Gleichgewichtszustand die Flüssigkeit und der Dampf die gleiche Zusammensetzung aufweisen.

B

Bimetall-Element – besteht aus 2 Metallen mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten; wird zur Temperaturkontrolle eingesetzt.

British Thermal Unit (BTU) – Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 lb. Wasser um 1°F zu erwärmen.

Bypass – durch Ventil o.ä. kontrollierte Leitung zum Umgehen bestimmter Bestandteile eines Systems.

C

Carnotscher Kreisprozeß – besteht aus zwei Isothermen und zwei Adiabaten. Der Carnot-Prozeß hat sich bei der Behandlung vieler Vorgänge als sehr gut geeignet erwiesen. Man erhält hiermit den höchstmöglichen Wert für das Verhältnis der erzeugten Kälteleistung zur aufgewandten Arbeit. Ein Vergleich mit diesem Prozeß kennzeichnet die Wirtschaftlichkeit einer Kältemaschine. Der Idealprozeß ist unabhängig von der Natur des Kältemittels.

D

Dampf – ein Gas im Gleichgewicht mit der flüssigen Phase; gewöhnlich spricht man bei gasförmigen Kältemitteln von Kältemitteldampf; gilt im allgemeinen für Gase unterhalb der kritischen Temperatur.

Dampfdruck – die Umwandlung eines festen oder flüssigen Stoffes in seinen Dampf findet bei gegebener Temperatur unter einem ganz bestimmten Druck, dem Dampfdruck, statt. Bei einer chemisch einheitlichen Substanz ist dieser Druck nur von der Temperatur, jedoch nicht von der Menge des Stoffes abhängig.

Dampfkältemaschine – Kältemaschine, in der das Kältemittel bei der Wärmeaufnahme verdampft und sich bei der Wärmeabgabe verflüssigt.

DIN – Abkürzung für Deutsche Industrie Norm.

DIN – Abkürzung für Deutsches Institut für Normung e.V.

Druck – unter Druck versteht man die auf eine Fläche senkrecht wirkende Kraft (Normalkraft), bezogen auf die Flächeneinheit.

Druckabfall – Druckverlust, z.B. von einem Ende der Kältemittelleitung zum anderen durch Reibung u.ä.

Druckminderer – Ventil, das einen gleichmäßigen Druck auf der Niederdruckseite gewährleistet, unabhängig davon, wie stark der Druck auf der Hochdruckseite über dem einzustellenden schwankt.

E

Emulsion – feine, jedoch nicht molekulare Verteilung eines Stoffes in einer Flüssigkeit, z.B. Öltröpfchen in Wasser oder Wassertröpfchen in Öl. Die E. neigt häufig zum „Absetzen“ des schwereren Bestandteils und zur Trennung.

Enthalpie – Wärmehalt bei konstantem Druck. Eine vor allem bei strömenden Arbeitsstoffen viel benutzte energetische Zustandsgröße. Die E. ist definiert als Summe von innerer Energie und Verdrängungsarbeit.

Entropie – Zustandsgröße der Wärmelehre; sie ist das Verhältnis der einer Substanz zugeführten Wärme zur absoluten Temperatur, bei der sie für einen reversiblen Prozeß zugeführt wird. Die Einheit der Entropie ist kJ/kg K.

Eutektische Mischung oder Lösung – Mischung oder Lösung, die bei konstanter Temperatur schmilzt oder erstarrt, ohne ihre Zusammensetzung zu verändern. Ihr Schmelzpunkt ist stets niedriger als der Schmelzpunkt der Komponenten.

Exergie – der unumschränkt umwandelbare Anteil einer beliebigen Energie. Der nicht umwandelbare Anteil einer Energie wird als Anergie bezeichnet. Mechanische und elektrische Energien sind theoretisch verlustlos in andere Energieformen umwandelbar und bestehen daher aus reiner Exergie. Dagegen läßt sich Wärme nur zum Teil in andere Energieformen umwandeln; sie enthält immer einen Anteil an Anergie, der um so größer ist, je weniger sich die Temperatur der Wärmequelle von der Umgebungstemperatur unterscheidet. Der Anteil an Exergie ist somit der wirkliche Maßstab für den Wert einer gegebenen Wärmemenge.

Expansionsventil – ein Ventil zur Regelung des Kältemittelflusses zum Verdampfer.

Expansionsventil, automatisches – spricht auf Druckveränderung im Verdampfer an und gewährleistet somit einen konstanten Druck im Verdampfer.

Expansionsventil, handbetätigt – handbetätigtes Nadelventil, das als Expansionsventil gebraucht wird.

Expansionsventil, thermostatisches – s. thermostatisches Expansionsventil.

F

Fahrenheit – Temperatur-Meßsystem, bei dem der Gefrierpunkt des Wassers bei 32°F und der Siedepunkt bei 212°F unter Normaldruck liegt.

FCKW – Abkürzung für Fluorchlorkohlenwasserstoffe, z.B. R12 (CCl₂F₂).

FCKW-Halon-Verbots-Verordnung – Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (Deutsche Verordnung).

Feuchtigkeit – Ausdruck, um den Gehalt der Luft (oder von Gasen und Dämpfen) an Wasserdampf zu kennzeichnen. Man unterscheidet zwischen absoluter F., relativer F. und spezifischer F.

- a) absolute F.: Anzahl der Gramm Wasserdampf in 1 m³ (feuchter) Luft;
- b) relative F.: Jener Bruchteil des Sättigungsdruckes über Wasser, der als (ungesättigter) Dampfdruck vorhanden ist;
- c) spezifische F.: Anzahl der Gramm Wasserdampf in 1 kg (feuchter) Luft.

Filter – Vorrichtung zum Entfernen von Feststoffen aus Flüssigkeiten oder Gasen.

Flüssigkeit, leichtflüchtige – Flüssigkeit, die bereits bei Zimmertemperatur unter Normaldruck verdampft.

Flüssigkeitsabscheider – Behälter, eingebaut in die Saugleitung von Dampfkältemaschinen, um das Ansaugen von flüssigem Kältemittel durch den Verdichter zu vermeiden.

Flüssigkeitsleitung – Rohr zwischen Flüssigkeitssammler oder Verflüssiger und Expansionsventil.

Flüssigkeitssammler – ein mit dem System verbundenes Gefäß zur Aufnahme von flüssigem Kältemittel.

Flüssigkeitsstandanzeiger – ein Glasrohr, das zur Anzeige des Flüssigkeitsniveaus in Behältern dient.

Füll-Ventil – ein Ventil, das zum Einfüllen von Kältemittel in das System oder zur Zugabe von Öl in den Verdichter bzw. das Kurbelgehäuse dient.

G

Gefrierpunkt – ist die Gleichgewichtstemperatur zwischen einem festen Stoff und seiner Schmelze. Bei den meisten Stoffen steigt er mit zunehmendem Druck an.

Gemisch – Mischung von zwei oder mehr Kältemitteln.

Gesamtkälteleistung – der Wärmestrom, welcher der Umgebung durch das Kältemittel entzogen wird.

Gesamtwärmeleistung der Absorptions-Kältemaschine – der Wärmestrom, welcher der Umgebung durch das Kältemittel und durch die Lösung zugeführt wird.

Gesamtwärmeleistung der Verdichter-Kältemaschine – der Wärmestrom, welcher der Umgebung durch das Kältemittel zugeführt wird.

Glide-Kältemittel – Kältemittel, das einen deutlichen Temperatur-Glide aufweist.

GWP – Abkürzung für Global Warming Potential; drückt den Beitrag zum Treibhauseffekt aus, bezogen auf $\text{CO}_2=1$. Die Angabe des Zeithorizontes ist erforderlich.

H

Halogenierter Kohlenwasserstoff – Kohlenwasserstoffverbindung, die ein oder mehrere Halogene enthält (z.B. Fluor oder Chlor).

Hermetik-Verdichter – Motorverdichter mit einem kältemitteldichten, nicht demontierbaren, Rotor und Wicklungen des Elektromotors einschließenden Gehäuse ohne Durchführung beweglicher Teile.

HFCKW – Abkürzung für Hydrogenfluorchlorkohlenwasserstoffe, z.B. R22 (CHClF_2).

HFKW – Abkürzung für Hydrogenfluorkohlenwasserstoffe, z.B. R134a (CH_2FCF_3).

HGWP – Abkürzung für Halocarbon Global Warming Potential; drückt den Beitrag zum Treibhauseffekt aus, bezogen auf $\text{R11} = 1.0$. Die HGWP-Werte beziehen sich auf einen unbegrenzten Zeithorizont.

Hochdruck-Leitung – für Kältemitteldämpfe vom Verdichter zum Verflüssiger.

Hochdruckseite – Teile eines Kältesystems, die unter Verflüssiger- oder einem höheren Druck stehen.

Hub – der in einem Kolbenverdichter vom Kolben zurückgelegte Weg.

Hubvolumen – Volumen, das durch den Kolben pro Hub verdrängt bzw. verdichtet wird.

Hydrolyse – Reaktion von Stoffen wie z.B. Methylchlorid mit Wasser; im allgemeinen unter Bildung von Säuren.

Hydrophil – Stoffe, die von Wasser leicht benetzt werden.

Hydrophob – Stoffe, die von Wasser nicht oder nur wenig benetzt werden.

Hydrostat – automatische Feuchtigkeitskontrolle.

Hygrometer – Feuchtemesser, vor allem für die Luftfeuchtigkeit.

Hygroskopisch – ist der Dampfdruck eines Hydrates kleiner als der Wasserdampfdruck der Umgebung, so zieht der wasserfreie Stoff Wasser aus der Umgebung an und geht in das Hydrat über; solche Stoffe heißen hygroskopisch.

I

Indirekte Kühlmethode – System, in dem eine Flüssigkeit wie Sole oder Wasser durch ein Kältemittel gekühlt wird; die so gekühlte Flüssigkeit dient zur Kühlung des Materials oder von Luft etc.

Isentrope – im Zustandsdiagramm eine Linie konstanter Entropie; im h,s -Diagramm sind die l.n. Parallelen zur Ordinate.

Isobare – in der Thermodynamik Linie konstanten Druckes; in der Meteorologie eine Linie gleichen Luftdruckes auf der Erdoberfläche.

Isomere – Verbindungen mit gleicher Summenformel, jedoch unterschiedlichen Eigenschaften, da sie verschiedene Struktur oder verschiedene Anordnung der Atome haben.

Isotherme – Linie konstanter Temperatur.

K

Kälteanlage – Anlage, bestehend aus einer oder mehreren Kältemaschinen und allen zu deren Betrieb, zur Kälteverteilung und Kälteanwendung notwendigen Maschinen, Apparaten, Geräten, Stoffen und Leitungen.

Kälteleistungszahl – das Verhältnis der Kälteleistung zur zugeführten Leistung. Die zugrundegelegten Kälte- und Antriebsleistungen sind jeweils anzugeben.

Kältemaschine – Gattungsbegriff für thermische Maschinen, die bei niedriger Temperatur einen Wärmestrom aufnehmen und mittels eines zugeführten Energiestroms bei höherer Temperatur wieder abgeben.

Kältemaschine für Kühl- und Heizbetrieb – Kältemaschine, die entweder zur Nutzung des bei niedriger Temperatur aufgenommenen Wärmestromes oder, nach Umschaltung des Kreislaufs, zur Nutzung des bei höherer Temperatur abgegebenen Wärmestromes betrieben wird.

Kältemaschinenöl – zur Schmierung des Verdichters der Verdichterkältemaschine notwendiger Schmierstoff.

Kältemittel – Arbeitsmittel, das in einer Kältemaschine umläuft, um den Wärmestrom bei niedriger Temperatur aufzunehmen und bei höherer Temperatur wieder abzugeben.

Kältemittelverdichter – Maschine zur mechanischen Verdichtung und Förderung von dampf- oder gasförmigem Kältemittel.

Kältesatz – Kältemaschine mit Antrieb oder Heizung und Zubehör, mit eingebautem oder getrennt aufgestelltem Verflüssiger, fabrikmäßig zusammengebaut, transportfähig und anschlussfertig.

Kälteträger – Fluid, das zum Wärmetransport zwischen den zu kühlenden Gegenständen oder Stellen und der Kältemaschine benutzt wird.

Kalorimeter – Gerät zur Messung von Wärmemengen.

Kapillarrohr – in der Kältetechnik ein Rohr mit kleinem Innendurchmesser; wird als Regelorgan oder als Druckreduzierstück zwischen Hoch- und Niederdruckseite eingesetzt.

Kaskadenschaltung – System mit 2 oder mehreren Kältekreisläufen, wobei der Verflüssiger des einen Systems mit Hilfe des Verdampfers des anderen Systems gekühlt wird.

Kochpunkt (Siedepunkt) – diejenige Temperatur bei einem bestimmten Druck, bei der ein Stoff vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht. Bei der gleichen Temperatur und dem gleichen Druck wird auch der entsprechende gasförmige Körper wieder flüssig, wenn man ihm Wärme entzieht.

Kohlenwasserstoff – Verbindung, die nur die Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff enthält.

Kondensat – die durch Kondensation von Dämpfen gebildete Flüssigkeit.

Kondensation – Überführung von Dämpfen in Flüssigkeiten unter Entzug von Wärme.

Kondensationswärme – latente Wärme, die beim Wechsel von der Gasphase in die flüssige Phase abgegeben wird.

Kreisprozesse – läßt man ein System eine Folge von Zustandsänderungen durchlaufen derart, daß diese Zustände in einem Zustandsdiagramm eine geschlossene Kurve beschreiben, so nennt man dies in der Thermodynamik einen Kreisprozeß. Kreisprozesse finden zahlreiche Anwendungen in der Thermodynamik.

Kritische Temperatur – die Temperatur, oberhalb der es unmöglich ist, ein Gas unter Anwendung noch so hoher Drücke zu verflüssigen.

Kritischer Druck – der am kritischen Punkt herrschende Druck eines Stoffes.

Kritischer Punkt – Punkt, an dem die Gasphase und flüssige Phase einer Substanz die gleichen Eigenschaften haben; krit. Temperatur, Druck und Volumen fallen im kritischen Punkt zusammen. Oberhalb der krit. Temp. oder des krit. Druckes existiert keine Trennung mehr zwischen Flüssigkeit und Gasphase.

Kritisches Volumen – das am kritischen Punkt herrschende spez. Volumen heißt das kritische Volumen.

Kryohydrate – Gemische von Eis und Salz, die sich beim Gefrieren wäßriger Salzlösungen ausscheiden.

Kühlmaschine – Kältemaschine, die zur Nutzung des bei niedriger Temperatur aufgenommenen Wärmestromes betrieben wird.

Kühlschlange – wird zur Abgabe der vom Kühlgut aufgenommenen Wärme an das Kältemittel oder die Kühlsole verwendet.

Kühlsole – erhält man durch Lösen von Salzen mit großer Gefrierpunktserniedrigung in Wasser; wird durch Kältesystem gekühlt und dient zur Übertragung von Wärme.

Kühlturm – turmartige, geschlossene Konstruktion aus Holz oder Eisen mit Holzverschalung. Das warme Kühlwasser wird durch Rinnen, Spritzteller etc. in vielen Lagen immer wieder möglichst fein verteilt. Im Gegenstrom dazu strömt die am Turmfuß seitlich eintretende Außenluft infolge des starken Kaminzugs kräftig nach oben. Die Kühlung wird vor allem durch Verdunstung bewirkt, nur zu einem kleinen Teil durch Erwärmung der Luft und durch das zum Ausgleich der Verluste nötige kalte Zusatzwasser.

Kühlung mit direkter Verdampfung – System, in dem der Verdampfer in direktem Kontakt mit dem zu kühlenden Material oder Raum oder in einem Luftkreislauf angebracht ist, der in direktem Kontakt mit dem zu kühlenden Raum ist.

Kühlwasserregler – automatisches Ventil zur Kontrolle der Kühlwasserdurchflußmenge im Verflüssiger.

Kupferplattierung – Übertragung von Kupfer, vornehmlich auf gegeneinander bewegte Eisenflächen in Lagern, Kolben und Ventilen; die Folgen sind ungenügende Schmierung, Fressen der Gleitflächen und undichte Ventile.

L

Latente Wärme – Wärmemenge, die einem Stoff bei einer Umwandlung zu- oder abgeführt wird, ohne daß sich die Temperatur ändert. Je nach Art der Umwandlung erhält die Umwandlungswärme eine entsprechende Bezeichnung, z.B. Verdampfungs- bzw. Verflüssigungsenthalpie etc.

Lecksuchgerät – Gerät zum Auffinden von Undichtigkeiten in Kältemittelkreisläufen.

Liefergrad – das Verhältnis des tatsächlichen Volumenstromes zum geometrischen Volumenstrom des Verdichters.

Lösungsmittel – festes oder flüssiges Arbeitsmittel im Lösungsteil der Absorptionskältemaschine, das im Absorber den vom Verdampfer kommenden Kältemitteldampf absorbiert und im Austreiber bei höherem Partialdruck wieder abgibt.

Luft, gesättigt – Luft, in der der Partialdruck des Wasserdampfes gleich dem Dampfdruck des Wassers bei einer bestimmten Temperatur ist.

Luft, trocken – Luft, die keinen Wasserdampf enthält.

Lufttrockner – Luftkühler oder Wäscher zur Senkung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft; Adsorptions- oder Absorptionssystem zum Entfernen von Feuchtigkeit aus Luft.

M

MAK – Abkürzung für Maximale Arbeitsplatz-Konzentration. MAK ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird (bei täglich achtstündiger Exposition und einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden).

Manometer – Instrument zur Messung des Druckes von Flüssigkeiten oder Gasen.

Mitteldruckbehälter – Behälter, eingebaut zwischen den einzelnen Stufen mehrstufiger Kälteanlagen, zur Rückkühlung des überhitzten Druckgases auf gesättigten Zustand durch Einleiten in flüssiges Kältemittel.

Molekulargewicht – als M. wird die Summe der Atomgewichte aller ein Molekül bildenden Atome bezeichnet.

Molekularsiebe – kristallisierte Aluminiumsilicate mit von der Zusammensetzung abhängiger definierter Porenweite, die sich bei Verwendung als Trocknungsmittel durch eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit auszeichnen.

Motorverdichter – Kältemittelverdichter mit einem in einem gemeinsamen Gehäuse eingebauten oder am Verdichtergehäuse angeflanschten Elektromotor.

Motorverdichter, druckgasegekühlt – hermetischer oder halbhermetischer Motorverdichter, dessen Antriebsmotor vom verdichteten Kältemitteldampf durchströmt wird.

Motorverdichter, halbhermetischer – Motorverdichter mit einem kältemitteldichten, mit verschraubten Montageöffnungen ausgestatteten, Motorwicklung und Rotor einschließenden Gehäuse ohne Durchführung bewegbarer Teile.

Motorverdichter, hermetischer – Motorverdichter mit einem kältemitteldichten, nicht demontierbaren, Rotor und Wicklungen des Elektromotors einschließenden Gehäuse ohne Durchführung beweglicher Teile.

Motorverdichter, offener – Motorverdichter, dessen Antriebsmotor nicht vom Kältemittel berührt wird.

Motorverdichter, sauggasgekühlter – hermetischer oder halbhermetischer Motorverdichter, dessen Antriebsmotor vom angesaugten Kältemitteldampf durchströmt wird.

„Multiple“-System – Kältemittel wird in zwei oder mehreren Verdampfern verdampft.

N

Nahe-azeotropes Gemisch – Nichtazeotrop mit einem so geringen Temperatur-Glide, daß er praktisch ohne Folgen für eine spezifische Anwendung vernachlässigt werden kann.

Nasser Verdichtergang – Kältesystem, bei dem vom Verdichter neben Kältemitteldampf auch flüssiges Kältemittel angesaugt wird.

Nettokälteleistung – der Wärmestrom, der dem Kälteträger im Verdampfer vom Kältemittel entzogen wird.

Nettowärmeleistung der Absorptions-Kältemaschine – der Wärmestrom, der dem Wärmeträger im Verflüssiger durch das Kältemittel und im Absorber durch die Lösung zugeführt wird.

Nettowärmeleistung der Verdichter-Kältemaschine – der Wärmestrom, der dem Wärmeträger im Verflüssiger durch das Kältemittel zugeführt wird.

Nichtazeotropes Gemisch (kurz Nichtazeotrop bzw. Zeotrop) – Gemisch von Kältemitteln, dessen Dampf und Flüssigkeit im gesamten Konzentrationsbereich unterschiedliche Zusammensetzung aufweisen. Nichtazeotrope Kältemittel haben einen Temperatur-Glide.

Nichtkondensierbare Gase – Gase, die unter den im Kältemittelkreislauf vorliegenden Bedingungen nicht verflüssigt werden können.

Niederdruck-Schwimmerventil – tritt bei Niveauänderung der Flüssigkeit in Tätigkeit; öffnet bei niedrigem Niveau und schließt bei hohem.

Niederdruckseite – Teile des Kühlsystems, die unter Verdampfdruck stehen.

Nutzkälteleistung – der Wärmestrom, den das Kältemittel oder der Kälte­träger nutzbringend abführt.

O

ODP – Abkürzung für Ozone Depletion Potential (Ozonabbaupotential); drückt den Beitrag zum Ozonabbau aus, bezogen auf R11 = 1,0.

Öl-Abscheider – Vorrichtung, um das Eindringen von Öl in den Verdampfer zu verhindern.

OCR-Prozeß – (Organic Rankine Cycle): Prozeß zur Umwandlung niedergrädi­ger Industrieabwärme in mechanische oder elektrische Energie durch Einsatz organischer Arbeitsmedien in Expansionsmaschinen. Im Gegensatz zum Kälte­prozeß handelt es sich um einen rechtsläufigen Kreisprozeß.

P

PAFT – Abkürzung für Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Tes­ting. Im PAFT wurden verschiedene FCKW-Ersatzstoffe (HFKW und HFCKW) hinsichtlich ihrer Toxizität untersucht, um eine Risikoabschätzung für den Ein­satz dieser Ersatzstoffe zu ermöglichen.

Phase – physikalischer Zustand von Stoffen; z.B. feste, flüssige oder gasförmige Phase.

Phosphorpentoxid – äußerst wirksames Trockenmittel; wird nach Aufnahme von Feuchtigkeit gummiartig. Im Kältekreislauf nicht als Trockenmittel verwen­det.

POCP – Abkürzung für Photochemical Ozone Creation Potential; beziffert das Potential eines Stoffes zur Bildung von Ozon in Bodennähe (Sommersmog), bezogen auf Methan = 1.

Pressostat – Pressostate sind druckgesteuerte elektrische Schaltgeräte für die Einhaltung eines konstanten Druckes. Sie schließen den Stromkreis bei Anstei­gen des Saugdruckes auf einen oberen einstellbaren Wert und unterbrechen ihn bei Unterschreiten des eingestellten unteren Druckes.

Psychrometer – Gerät zum Messen der relativen Luftfeuchtigkeit; vergl. auch Hygrometer.

R

Raum, schädlicher – Raum zwischen Zylinder und Kolben am Ende des Verdichtungshubes.

Rektifikator – Apparat in einer Absorptionskältemaschine, in dem der vom Austreiber kommende Kältemitteldampf von mitgeführtem Lösungsmittel gereinigt wird.

Rückschlagventil – erlaubt Durchfluß nur in einer Richtung.

S

Saugdruckregler (auch Konstant-Druckventile) – haben die Aufgabe, den Saugdruck eines Verdampfers oder einer Verdampfergruppe konstant zu halten, d.h. das Absinken des Verdampferdruckes unter einen bestimmten Einstellwert zu verhindern.

Saugleitung – die Leitung, in der Kältemitteldampf vom Verdampfer zum Verdichter gelangt.

Saugleitungsdruck – Arbeitsdruck, der in der Saugleitung am Verdichtereingang gemessen wird.

Schäumen – Bildung von Schaum auf Öl-Kältemittel-Mischungen. Tritt auf, wenn in Öl gelöstes Kältemittel infolge plötzlichen Druckabfalls verdampft. Dies ist bei Anlaufen des Verdichters und wenn größere Mengen Kältemittel im Öl gelöst sind, der Fall. Hierbei können erhebliche Mengen Öl „auskochen“ und so im Kältemittelkreislauf verteilt werden.

Schauglas – wird in die Flüssigkeitsleitung installiert und ermöglicht Kontrolle des blasenfreien Fließens des Kältemittels.

Schlamm – ein Zersetzungsprodukt, das sich in einem Kältesystem bildet, verursacht durch Verunreinigungen im Öl oder durch Feuchtigkeit.

Schmelzen – Wechsel vom festen in den flüssigen Zustand.

Schmelzenthalpie – latente Wärme, die beim Wechsel von der festen in die flüssige Phase aufgenommen wird.

Schmelzpunkt – die Temperatur, bei der eine feste Substanz bei einem gegebenen Druck in die flüssige Phase übergeht.

Schwimmerventil – Ventil, das durch ein Flüssigkeitsniveau reguliert wird.

Schwitzwasser – Kondensation von Feuchtigkeit aus der Luft auf einer Oberfläche, deren Temperatur unterhalb des Taupunktes liegt.

Sicherheitsventil – siehe Überdruckventil.

Silicagel – eine Modifikation von Siliciumdioxid, die Feuchtigkeit schnell adsorbiert und als Trockenmittel gebraucht wird.

Solenoidventil – wird durch Druck, Schwer- oder Federkraft geschlossen und durch die Bewegung eines Ankers bei Stromfluß durch eine Spule geöffnet.

Solvay-AEL – Abkürzung für Solvay Acceptable Exposure Limit = von Solvay empfohlene Durchschnittskonzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird (Basis 8 Stunden pro Tag und 5 Tage pro Woche).

Sorptionsmittel – Bezeichnung für Ab- bzw. Adsorptionsmittel.

Spezifische Wärmekapazität – diejenige Wärmemenge, die nötig ist, um die Mengeneinheit eines Stoffes um 1° zu erwärmen; sie wird mit c bezeichnet und in kJ/kg K angegeben.

Spezifisches Volumen – Volumen der Masseneinheit eines Stoffes; der reziproke Wert der Dichte.

T

Taupunkt – die Temperatur, bei der unter konstantem Druck und ohne Zu- oder Abfuhr von Feuchtigkeit die Kondensation von Wasser aus feuchter Luft beginnt.

Temperatur-Glide – Differenz zwischen Siede- und Taupunkttemperatur bei konstantem Druck.

Temperaturwechsler – Wärmeaustauscher im Lösungskreislauf, in dem ein Wärmeaustausch zwischen der vom Austreiber kommenden armen Lösung und der vom Absorber kommenden reichen Lösung erfolgt.

TEWI – Abkürzung für Total Equivalent Warming Impact; berücksichtigt die Summe der **direkten** (GWP-Beitrag des Kältemittels) und **indirekten** (Beitrag der CO₂-Emissionen, die sich aus dem Energieverbrauch zum Betrieb der Kälteanlage ergeben) **Emissionen** der Treibhausgase. TEWI ist keine produktspezifische Angabe sondern bezieht sich auf ein System (Anlage).

Thermodynamische Begriffe – grundlegende Begriffe, die zur Kennzeichnung des Zustandes einer Substanz benutzt werden, wie Temperatur, Druck, Volumen, Enthalpie, Entropie.

Thermoelement – besteht aus 2 Leitern verschiedener Werkstoffe – einem Thermopaar – deren eine Enden zu einer Hauptlötstelle vereinigt sind und deren andere zu einem vom T. getrennten Meßgerät führen. Das T. eignet sich zur elektrischen Temperatur-Messung.

Thermostat – automatische Temperatur-Regelanlage.

Thermostatisches Expansionsventil – spricht auf Veränderung der Überhitzung des aus dem Verdampfer austretenden Kältemittels an.

TLV - TWA – Abkürzung für Threshold Limit Value – Time-Weighted Average der ACGIH = zeitgewichtete Durchschnittskonzentration (Basis normaler achtstündiger Arbeitstag und 40 Stunden-Arbeitswoche), bei der keine Beeinträchtigung der Gesundheit der Arbeitnehmer auftritt (vergleichbar mit MAK).

Ton of Refrigeration (amerk.) – eine Leistung von 12.000 BTU/h, entsprechend 12.660 kJ/h.

Trockeneis – CO₂, festes Kohlendioxid.

Trockenmittel – Adsorptions- oder Absorptionsmittel, fest oder flüssig, das in der Lage ist, Wasser oder Wasserdampf aufzunehmen; im Kältemittelkreislauf muß das Trockenmittel im Kältemittel unlöslich sein.

Trockenverdampfer – das flüssige Kältemittel wird über ein Regelorgan in den Verdampfer eingeführt und am Verdampferausgang gasförmig vom Verdichter angesaugt.

Trockenverdampfung – Wärmeabfuhr durch ein Kältemittel in einem Verdampfer; wird durch ein von Druck oder Temperatur oder beiden abhängiges Regelorgan am Verdampfer oder den Druckunterschied zwischen Hoch- und Niederdruckseite, jedoch nicht durch den Flüssigkeitsstand im Verdampfer, reguliert. Das eintretende Kältemittel wird verdampft, bevor es rezirkuliert.

Turboverdichter – Verdichter, in dem das Kältemittel durch strömungsmechanische Energieumwandlung in sich drehenden Laufrädern und feststehenden Leitapparaten stetig gefördert und verdichtet wird.

U

Überdruckschalter – druckabhängiger Mechanismus, der das Kältesystem bei Erreichen eines zuvor eingestellten Druckes abschaltet.

Überdrucksicherung – Ventil oder Bruchsicherung, um unzulässigen Druckanstieg zu verhindern.

Überdruckventil – Ventil, das bei unerwünschtem Überdruck automatisch öffnet.

Überfluteter Verdampfer – System, in dem nur ein Teil des flüssigen Kältemittels verdampft; der nicht verdampfte Anteil wird vom Dampf getrennt und im Kreislauf zurückgeführt.

Überhitzer – ein Wärmeaustauscher, der bei Anlagen mit überfluteten Verdampfern benutzt wird, wobei Kältemittel auf dem Wege zum Verdampfer Wärme zur Trocknung und Überhitzung von feuchtem, den Verdampfer verlassenden Dampf abgibt.

Überhitzter Dampf – Dampf bei einer Temperatur, die höher ist als der Siedepunkt bei dem betreffenden Druck.

Unterkühlung – der Abkühlprozeß eines Kältemittels unter die Verflüssigungstemperatur bei einem gegebenen Druck; auch die Abkühlung einer Flüssigkeit unter den Gefrierpunkt, wo sie nur in einem instabilen Gleichgewichtszustand existieren kann.

V

Ventilsitz – der stationäre Teil eines Ventils, der beim Anliegen der Ventilmadel den Durchfluß unterbricht.

Verbindung – Substanz, die durch die Vereinigung von zwei oder mehr Elementen in bestimmtem Massenverhältnis gebildet wird.

Verbundverdichter – Verdichtung findet in mehreren Stufen, z.B. in 2 oder mehr Zylindern, statt; wird bei sehr großen Temperaturgefällen, also sehr tiefer

Verdampfungs- oder sehr hoher Verflüssigungstemperatur unter Zwischenkühlung der Dämpfe eingesetzt.

Verdampfer – Wärmeaustauscher, in dem das flüssige Kältemittel durch Wärmezufuhr aus dem zu kühlenden Stoff verdampft.

Verdampferleistung – der Wärmestrom, der dem Kältemittel im Verdampfer zugeführt wird.

Verdampfung – Wechsel von der flüssigen in die dampfförmige Phase.

Verdampfungsenthalpie – diejenige Wärmemenge, die verbraucht wird, um 1 kg einer Flüssigkeit entgegen dem äußeren, gleichbleibenden Druck in Dampf von gleicher Temperatur zu verwandeln. Dieselbe Wärmemenge wird frei, wenn der Dampf sich verflüssigt.

Verdichter, offener – Kältemittelverdichter, dessen kältemitteldichtes Gehäuse eine Durchführung für bewegliche Antriebsteile aufweist.

Verdichter-Kälteleistung – die Kälteleistung eines Kältemittel-Verdichters ist das Produkt aus dem Kältemittelmassenstrom durch den Verdichter und der Differenz zwischen der spezifischen Enthalpie am Eintritt des Verdichters und der spezifischen Enthalpie der gesättigten Flüssigkeit des Kältemittels bei dem Druck am Austritt des Verdichters.

Verdichter-Kältemaschine – Dampfkältemaschine, in der der Kältemitteldampf durch Verdrängungs- oder Turboverdichter auf den Verflüssigungsdruck gebracht wird.

Verdichtersatz – Kältemittelverdichter mit Antriebsmotor und Zubehör, fabrikmäßig auf gemeinsamem Grundgestell zusammengesetzt.

Verdichter-Wärmeleistung – die Verdichter-Wärmeleistung eines Kältemittel-Verdichters ist das Produkt aus dem Kältemittelmassenstrom durch den Verdichter und der Differenz zwischen der spezifischen Enthalpie am Austritt des Verdichters und der spezifischen Enthalpie der gesättigten Flüssigkeit des Kältemittels bei dem Druck am Austritt des Verdichters.

Verdichtungsverhältnis – Verhältnis der Drücke nach und vor der Verdichtung.

Verdrängungsverdichter – Verdichter, in dem das Kältemittel durch Vergrößerung des Verdichtungsraumes angesaugt und durch Verkleinerung dieses Raumes verdichtet und in die Druckleitung gefördert wird.

Verflüssiger – Wärmeaustauscher, in dem der Kältemitteldampf durch Wärmeabfuhr an ein Kühlmittel verflüssigt wird.

Verflüssigerleistung – der Wärmestrom, der dem Kältemittel im Verflüssiger entzogen wird.

Verflüssigung – Wechsel vom festen bzw. gasförmigen in den flüssigen Zustand.

Verflüssigungssatz – Maschinensatz zur Umwandlung von Kältemittel-Niederdruckdampf in Kältemittelflüssigkeit, bestehend aus Kältemittelverdichter, Antriebsmotor, Verflüssiger und Zubehör, fabrikmäßig zusammengesetzt.

Verkohlung – Kohlebildung durch Zersetzung des Kältemaschinenöls.

Viskosität – die zwischen den einzelnen Molekülen auftretende innere Reibung.

Volumetrische Kälteleistung – Kälteleistung bezogen auf $1 \text{ m}^3/\text{s}$ Kältemitteldampf im Ansaugzustand des Verdichters. Die zugrundegelegte Kälteleistung ist anzugeben.

W

Wachs – Substanz, die sich bei der Abkühlung von Öl-Kältemittel-Mischungen abscheiden kann. Wachsabscheidung verstopft evtl. Regelventile und reduziert die Wärmeübertragung.

Wärmeaustauscher, innerer (Kältetauscher) – Wärmeaustauscher im Kältemittelkreislauf, in dem ein Wärmeaustausch zwischen dem vom Verdampfer kommenden Kältemitteldampf und der vom Verflüssiger kommenden Kältemittelflüssigkeit erfolgt.

Wärmeleistung – der (Gesamt-, Netto-, Nutz-) Wärmestrom, der dem Wärmeträger zugeführt wird.

Wärmeleistungszahl – das Verhältnis der Wärmeleistung zur zugeführten

Leistung. Die zugrundegelegte Wärmeleistung und Antriebsleistung sind jeweils anzugeben.

Wärmeleitkoeffizient – wird mit λ bezeichnet und in W/mK ausgedrückt. Er hängt von den Eigenschaften des Materials ab und gibt an, welche Wärmemenge in der Zeiteinheit durch zwei gegenüberliegende Flächen eines Würfels aus dem betreffenden Stoff von 1 m Kantenlänge bei einem Temperaturunterschied zwischen beiden Flächen von 1°C fließt, wobei die übrigen Seitenflächen des Würfels gegen Wärmeabgabe geschützt sind.

Der W. der Materialien spielt in der Isoliertechnik eine große Rolle.

Wärmepumpe – Kältemaschine, die zur Nutzung des bei höherer Temperatur abgegebenen Wärmestromes betrieben wird.

Wärmestrahlung – bei der W. wird die Wärme von dem Körper höherer Temperatur in Form von Wellenenergie abgegeben.

Wärmeträger – Fluid, das zum Wärmetransport zwischen den wärmeaufnehmenden Gegenständen oder Stellen und der Kältemaschine benutzt wird.

Wärmeübertragung – durch Wärmeleitung – Wärmeaustausch zwischen unmittelbar benachbarten Teilchen in festen oder in unbewegten flüssigen oder gasförmigen Stoffen.

Wärmeübertragung – durch Konvektion – durch Platzveränderung der Teilchen flüssiger oder gasförmiger Stoffe.

Wärmeübertragung – durch Strahlung – ohne Vermittlung eines materiellen Wärmeträgers. Sie kann daher auch im Vakuum wirksam sein.

Die Wärmeübertragung durch Konvektion läßt sich von der Wärmeleitung nicht scharf trennen, da der Wärmetransport von den strömenden Teilchen, z.B. an eine feste Wand, durch Wärmeleitung erfolgt. In flüssigen und gasförmigen Stoffen kann man andererseits nur unter ganz bestimmten Vorsichtsmaßnahmen, wenn überhaupt, den Fall der Wärmeleitung ohne gleichzeitige Konvektion herstellen.

Wärmeübertragungsmittel – es kommen hierfür feste, flüssige und gasförmige Stoffe in Frage, soweit sie bei dem Prozeß nicht angegriffen werden.

Wasserdampf-Diffusionssperre – wird auf Oberflächen aufgetragen; verhindert das Eindringen von Wasserdampf in Bereiche niedrigerer Temperatur, wo dann Kondensation erfolgen könnte.

Wasser- bzw. Sole-Kühler – Vorrichtung, in der zwischen Wasser bzw. Sole und Kältemittel ein Wärmeaustausch erfolgt, wobei das flüssige Kältemittel verdampft und dabei dem Wasser bzw. der Sole Wärme entzieht.

Wirkungsgrad – Verhältnis zweier meßbarer mechanischer oder elektrischer Leistungen.

Z

Zeotrop – siehe nichtazeotropes Gemisch.

Zustandsänderung – Kennzeichnend für den Zustand eines Gases sind sein Volumen, der auf ihm lastende Druck und seine Temperatur.

Folgende Zustandsänderungen der Gase sind zu unterscheiden:

1. Änderung bei konst. Volumen (Isochore). Erwärmen oder Abkühlen eines Gases in einem geschlossenen Behälter; eine äußere Arbeit wird nicht geleistet.
2. Änderung bei konst. Druck (Isobare).
3. Änderung bei konst. Temperatur (Isotherme).
Alle zugeführte Wärme wird in Arbeit verwandelt; sie dient nicht der Temp.-Erhöhung. Wird ein Gas isotherm verdichtet, so ist Q zu entziehen und Arbeit aufzuwenden.
4. Änderung bei konst. Entropie (Isentrope) $S = \text{konst.}$, keine Zu- oder Abfuhr von Wärme, keine Reibung der Teilchen des Mediums.
5. Polytrope Zustandsänderung; es wird bei Änderung der Temp. Wärme zu- oder abgeführt und äußere Arbeit geleistet.

Zustandsdiagramme – für die zeichnerische Darstellung thermodynamischer Vorgänge eignen sich besonders folgende Diagramme:

1. p,v -Diagramm, Indikatorgramm aus Druck und Volumen; die Fläche stellt die geleistete Arbeit dar.
2. T,s -Diagramm, Wärmediagramm aus abs. Temp. und Entropie; die Fläche stellt die Wärmemenge dar.
3. h,s -Diagramm, aus Wärmeinhalt und Entropie von Mollier. Alle wichtigen Arbeits- und Wärmegrößen erscheinen als Strecken.
4. h,p -Diagramm von Mollier, aus Wärmeinhalt und Druck mit rechtwinkligen Koordinaten; stellt ebenfalls alle Arbeits- und Wärmegrößen als Strecken dar. Es eignet sich am besten für die Darstellung der Kältemaschinenprozesse.

11 Umrechnungstabellen*)

Längenmaße

	Meter	inch	foot	yard
1 m	1	39.37	3.2808	1.0936
1 in	0.0254	1	0.0833	0.0278
1 ft	0.3048	12	1	0.333
1 yd	0.9144	36	3	1

$$1 \text{ m} = 10^3 \text{ km} = 10 \text{ dm} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m} = 10^{12} \text{ nm}$$

Flächenmaße

	cm ²	m ²	square inch	square foot	square yard
1 cm ²	1	$1 \cdot 10^{-4}$	0.155	$1.0764 \cdot 10^{-3}$	$1.196 \cdot 10^{-4}$
1 m ²	$1 \cdot 10^4$	1	1550	10.764	1.196
1 sq in	6.4516	$0.64516 \cdot 10^{-3}$	1	0.00694	$0.772 \cdot 10^{-3}$
1 sq ft	929.0	0.0929	144	1	0.1111
1 sq yd	8360	0.8360	1296	9	1

$$1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ km}^2 = 10^4 \text{ ha} = 10^2 \text{ dm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$$

Raummaße (Volume)

	Liter (dm ³)	m ³	cubic inch	cubic foot	Gallons	
					US	Imperial
1 l	1	$1 \cdot 10^{-3}$	61.024	0.03531	0.2642	0.220
1 m ³	1000	1	61024	35.31	264.2	220
1 cu in	$16.387 \cdot 10^{-3}$	$16.387 \cdot 10^{-6}$	1	$0.5787 \cdot 10^{-3}$	$4.329 \cdot 10^{-3}$	$3.606 \cdot 10^{-3}$
1 cu ft	28.320	$28.320 \cdot 10^{-3}$	1728	1	7.481	6.229
1 US-gal	3.785	$3.785 \cdot 10^{-3}$	231	0.1337	1	0.8327
1 Imp-gal	4.546	$4.546 \cdot 10^{-3}$	277.3	0.1605	1.201	1

Imperial = British

* Nach Jahrbuch 1978 „Kälte-Wärme-Klima“, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe

Masse

	Kilogramm	pound	Tons	
			short (US)	long (Imp)
1 kg	1	2.205	$1.102 \cdot 10^{-3}$	$0.9843 \cdot 10^{-3}$
1 lb	0.4536	1	$0.500 \cdot 10^{-3}$	$0.4464 \cdot 10^{-3}$
1 short ton (US)	907.2	2000	1	0.8929
1 long ton (Imp)	1016	2240	1.12	1

$$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g} = 10^2 \text{ dkg}$$

Dichte

Dichte	kg/ltr	kg/m ³	$\frac{\text{pound}}{\text{cubic foot}}$	$\frac{\text{pound}}{\text{gallon}}$	
				Imperial	US
1 kg/ltr	1	1000	62.43	10.022	8.345
1 kg/m ³	0.001	1	0.06243	0.010022	0.008345
1 lb/cu ft	0.01602	16.02	1	0.16054	0.1337
1 lb/gal (Imp)	0.0998	99.78	6.229	1	0.8327
1 lb/gal (US)	0.1198	119.8	7.481	1.201	1

Spezifisches Volumen

	ltr/kg	m ³ /kg	$\frac{\text{cubic foot}}{\text{pound}}$
1 ltr/kg	1	0.001	0.01602
1 m ³ /kg	1000	1	16.02
1 cu ft/lb	62.43	0.06243	1

Kraft

	Newton	kilopond	poundal
1 N	1	0.1020	7.2333
1 kp	9.80665	1	70.9344
1 pdl	0.13825	0.00141	1

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}; 1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \times 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}; 1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \times \text{g}$$

$$1 \text{ Poundal} = 1 \text{ Pound} \times \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$$

Druck

	1 bar = $10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	1 at = $1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$	poundal sq ft	poundal² sq in = Psi
1 Pa = 1 N/m ²	$1 \cdot 10^{-5}$	$1.02 \cdot 10^{-5}$	0.0209	$1.45 \cdot 10^{-4}$
1 bar	1	1.0197	2089	14.504
1 at	0.980665	1	2048	14.22
1 pdl/sq ft	$0.4790 \cdot 10^{-3}$	$0.4882 \cdot 10^{-3}$	1	$6.944 \cdot 10^{-3}$
1 pdl/sq in = Psi	0.06895	0.07031	144	1
1 atm	1.013	1.033	2120	14.70
1 mm Hg	$1.330 \cdot 10^{-3}$	$1.360 \cdot 10^{-3}$	2.78	0.0193
1 in Hg	0.0339	0.0345	70.7	0.4910
1 m H ₂ O	0.0981	0.1000	205	1.4220
1 ft H ₂ O	0.0299	0.0305	62.4	0.4340

$$1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)} = 10 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} = 10^{-4} \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ mm WS (bei } 4^\circ\text{C)}$$

Arbeit, Energie, Wärmemenge

	1 kcal	1 kp m	Btu = British thermal unit	1 kWh
1 kcal	1	427.0	3.968	$1.163 \cdot 10^{-3}$
1 kpm	$2.342 \cdot 10^{-3}$	1	$9.294 \cdot 10^{-3}$	$2.723 \cdot 10^{-6}$
1 Btu	0.252	107.59	1	$0.293 \cdot 10^{-3}$
1 kWh	860	$367.1 \cdot 10^3$	3412.8	1
1 PSh	632.3	$270 \cdot 10^3$	2509.3	0.7353
1 hph	641.1	$273.7 \cdot 10^3$	2545	0.7457
1 ton-day	$72.57 \cdot 10^3$	$30.99 \cdot 10^6$	$288 \cdot 10^3$	84.39
1 J	$0.239 \cdot 10^{-3}$	0.102	$0.948 \cdot 10^{-3}$	$0.278 \cdot 10^{-6}$

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn cm} = 10^{-7} \text{ Nm}; 1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

1 atm = 760 Torr = 760 mm Hg (0°C)	Hg-Säule (0°C)		H ₂ O-Säule (WS) (4°C)	
	mm Hg = Torr	in Hg	m H ₂ O	ft H ₂ O
$9.87 \cdot 10^{-6}$	0.0075	$2.95 \cdot 10^{-4}$	$1.02 \cdot 10^{-4}$	$3.35 \cdot 10^{-4}$
0.9869	750	29.5	10.20	33.5
0.96784	735.56	29.0	10.00	32.8
$0.4725 \cdot 10^{-3}$	0.359	0.0141	$4.88 \cdot 10^{-3}$	0.0160
0.06805	51.7	2.04	0.703	2.31
1	760	29.9	10.33	33.9
$1.316 \cdot 10^{-3}$	1	0.0394	0.0136	0.0446
0.0334	25.4	1	0.3450	1.133
0.0968	73.6	2.90	1	3.28
0.0295	22.4	0.883	0.3050	1

Pferdestärkenstunde		ton-day of refrigeration	1 Joule = N m = W s
Metrische 75 $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$ h	Imperial 550 $\frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{s}}$ h		
$1.581 \cdot 10^{-3}$	$1.560 \cdot 10^{-3}$	$13.779 \cdot 10^{-6}$	4186.8
$3.704 \cdot 10^{-6}$	$3.653 \cdot 10^{-6}$	$32.270 \cdot 10^{-6}$	9.807
$0.398 \cdot 10^{-3}$	$0.3931 \cdot 10^{-3}$	$3.472 \cdot 10^{-6}$	1055
1.360	1.341	$11.850 \cdot 10^{-3}$	$3.6 \cdot 10^6$
1	0.9863	$8.713 \cdot 10^{-3}$	$2.65 \cdot 10^6$
1.014	1	$8.834 \cdot 10^{-3}$	$2.68 \cdot 10^6$
114.78	113.2	1	$304 \cdot 10^6$
$0.378 \cdot 10^{-6}$	$0.372 \cdot 10^{-6}$	$3.280 \cdot 10^{-9}$	1

Leistung, Energiestrom, Wärmestrom

	$1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$	$1^2 \frac{\text{kp m}}{\text{s}}$	British thermal unit per hour	1 kcal/s = British theor. unit of refrigeration
1 kcal/h	1	0.1186	3.968	$0.278 \cdot 10^{-3}$
1 kp m/s	8.4312	1	33.455	$2.342 \cdot 10^{-3}$
1 Btu/h	0.252	$29.89 \cdot 10^{-3}$	1	$0.07 \cdot 10^{-3}$
1 kcal/s = Br u r	3600	427.0	$14.285 \cdot 10^3$	1
1 kW	860.0	102.0	3414	0.2389
1 PS	632.3	75	2509.3	0.1756
1 hp	641.1	76.04	2545	0.1781
1 ton	3024	358.2	$12.0 \cdot 10^3$	0.831
1 Br ton	3340	396.9	$13.26 \cdot 10^3$	0.9277

Enthalpie-Differenz, Latente Wärme

Δh	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{pound}}$
1 kJ/kg	1	0.239	0.43
1 kcal/kg	4.1868	1	1.80
1 Btu/lb	2.33	0.556	1

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Entropie-Differenz, Spez. Wärmekapazität

Δs	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{pound } ^\circ\text{F}}$
1 kJ/kg K	1	0.239	0.239
1 kcal/kg °C	4.1868	1	1
1 Btu/lb °F	4.1868	1	1

1 kW = 1 kJ/s	Pferdestärke (PS)		Standard commercial ton of refrigeration US	British commercial ton of refrigeration
	Metrische 75 $\frac{\text{kpm}}{\text{s}}$	Imperial 550 $\frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{s}}$		
$1.163 \cdot 10^{-3}$	$1.581 \cdot 10^{-3}$	$1.560 \cdot 10^{-3}$	$0.331 \cdot 10^{-3}$	$0.299 \cdot 10^{-3}$
$9.804 \cdot 10^{-3}$	$13.333 \cdot 10^{-3}$	$13.150 \cdot 10^{-3}$	$2.792 \cdot 10^{-3}$	$2.520 \cdot 10^{-3}$
$0.293 \cdot 10^{-3}$	$0.398 \cdot 10^{-3}$	$0.393 \cdot 10^{-3}$	$0.083 \cdot 10^{-3}$	$75.310 \cdot 10^{-3}$
4.186	5.693	5.615	1.190	1.078
1	1.360	1.341	0.2846	0.2572
0.736	1	0.9863	0.2094	0.1891
0.7455	1.014	1	0.2123	0.21227
3.513	4.776	4.711	1	0.9037
3.888	5.287	5.214	1.1045	1

Volumetrischer Kältegewinn (Volumetrische Kälteleistung)

q_{vol}	$\frac{\text{KJ}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{cubic foot}}$	$\frac{\text{ton-day}}{\text{cubic foot}}$
1 kJ/m ³	1	0.239	0.02685	$0.0929 \cdot 10^{-6}$
1 kcal/m ³	4.1868	1	0.1123	$0.3901 \cdot 10^{-6}$
1 Btu/ft ³	37.253	8.90	1	$3.473 \cdot 10^{-6}$
1 ton-day/ft ³	$10.734 \cdot 10^6$	$2.563 \cdot 10^6$	$0.288 \cdot 10^6$	1

Wärmeleitkoeffizient

λ	$\frac{\text{J}^2}{\text{ms K}} = \frac{\text{W}}{\text{m K}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{m h K}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m h }^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{Btu}}{\text{ft h }^\circ\text{F}}$	$\frac{\text{Btu in}}{\text{sq ft h }^\circ\text{F}}$
1 J/m s K = $\frac{\text{W}}{\text{mK}}$	1	3.60	0.860	0.578	6.94
1 kJ/m h K	0.278	1	0.239	0.1605	1.926
1 kcal/m h °C	1.163	4.1868	1	0.6719	8.064
1 Btu/ft h °F	1.730	6.23	1.488	1	12
1 Btu in/ft ² h °F	0.144	0.519	0.124	0.0833	1

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm s }^\circ\text{C}} = 418.68 \frac{\text{J}}{\text{m s K}} = 1507 \frac{\text{kJ}}{\text{m h K}} = 360 \frac{\text{kcal}}{\text{m h }^\circ\text{C}} = 242 \frac{\text{Btu}}{\text{ft h }^\circ\text{F}} = 2900 \frac{\text{Btu in}}{\text{sq ft h }^\circ\text{F}}$$

Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmeübergangskoeffizient

k, α	$\frac{J^2}{m^2 s K} = \frac{W}{m^2 K}$	$\frac{kJ}{m^2 h K}$	$\frac{kcal}{m^2 h ^\circ C}$	$\frac{Btu}{sq ft h ^\circ F}$
$1 J/m^2 s K = \frac{W}{m^2 K}$	1	3.60	0.860	0.1761
$1 kJ/m^2 h K$	0.278	1	0.239	0.0489
$1 kcal/m^2 h ^\circ C$	1.163	4.1868	1	0.2050
$1 Btu/ft^2 h ^\circ F$	5.680	20.40	4.880	1

$$1 \frac{cal}{cm^2 s ^\circ C} = 41868 \frac{J}{m^2 s K} = 150725 \frac{kJ}{m^2 h K} = 36000 \frac{kcal}{m^2 h ^\circ C} = 7380 \frac{Btu}{sq ft h ^\circ F}$$

Temperaturen

Temperaturpunkte (auch bei Minustemperaturen)

a) Gegeben t_f [deg F], gesucht t_c [°C]:

$$t_c = \frac{5}{9}(t_f - 32) \text{ oder } t_c = \frac{5}{9}(t_f + 40) - 40$$

b) Gegeben t_c [°C], gesucht t_f [deg F]:

$$t_f = \frac{9}{5}t_c + 32 \text{ oder } t_f = \frac{9}{5}(t_c + 40) - 40$$

12 Dampftafeln

t = Temperatur
 p' = Druck
 p'' = Druck
 v' = Spezifisches Volumen der Flüssigkeit
 v'' = Spezifisches Volumen des Dampfes
 ρ' = Dichte der Flüssigkeit
 ρ'' = Dichte des Dampfes
 h' = Enthalpie der Flüssigkeit
 h'' = Enthalpie des Dampfes
 r = Enthalpie der Verdampfung
 s' = Entropie der Flüssigkeit

12.1.1 Solkane® 22

Release 1.09

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-80	0.10	0.659	1757.18	1.518	0.57	108.71	368.96	260.24	0.6030	1.9503
-79	0.11	0.660	1644.62	1.515	0.61	110.09	369.45	259.36	0.6102	1.9461
-78	0.12	0.661	1540.48	1.513	0.65	111.44	369.94	258.50	0.6173	1.9419
-77	0.13	0.662	1444.05	1.510	0.69	112.77	370.43	257.66	0.6243	1.9378
-76	0.14	0.663	1354.68	1.507	0.74	114.09	370.92	256.83	0.6311	1.9338
-75	0.15	0.665	1271.87	1.505	0.79	115.39	371.41	256.03	0.6378	1.9298
-74	0.16	0.666	1194.93	1.502	0.84	116.67	371.90	255.24	0.6443	1.9259
-73	0.17	0.667	1123.45	1.499	0.89	117.93	372.39	254.46	0.6507	1.9221
-72	0.18	0.668	1057.00	1.497	0.95	119.18	372.88	253.70	0.6570	1.9183
-71	0.19	0.669	995.17	1.494	1.00	120.41	373.37	252.96	0.6632	1.9146
-70	0.21	0.671	937.59	1.491	1.07	121.63	373.86	252.23	0.6693	1.9109
-69	0.22	0.672	883.94	1.488	1.13	122.84	374.35	251.51	0.6753	1.9073
-68	0.23	0.673	833.91	1.486	1.20	124.04	374.84	250.80	0.6812	1.9038
-67	0.25	0.674	787.23	1.483	1.27	125.22	375.33	250.11	0.6870	1.9003
-66	0.26	0.676	743.63	1.480	1.34	126.39	375.81	249.42	0.6928	1.8968
-65	0.28	0.677	702.89	1.478	1.42	127.56	376.30	248.74	0.6984	1.8934
-64	0.30	0.678	664.79	1.475	1.50	128.71	376.79	248.08	0.7040	1.8901
-63	0.32	0.679	629.13	1.472	1.59	129.86	377.27	247.42	0.7095	1.8868
-62	0.33	0.681	595.75	1.469	1.68	130.99	377.76	246.76	0.7149	1.8836
-61	0.35	0.682	564.46	1.466	1.77	132.12	378.24	246.12	0.7203	1.8804
-60	0.38	0.683	535.13	1.464	1.87	133.24	378.72	245.48	0.7256	1.8772
-59	0.40	0.684	507.61	1.461	1.97	134.36	379.21	244.85	0.7308	1.8742
-58	0.42	0.686	481.78	1.458	2.08	135.47	379.69	244.22	0.7360	1.8711
-57	0.44	0.687	457.51	1.455	2.19	136.58	380.17	243.59	0.7411	1.8681
-56	0.47	0.688	434.70	1.453	2.30	137.68	380.65	242.97	0.7462	1.8652
-55	0.50	0.690	413.24	1.450	2.42	138.77	381.13	242.36	0.7513	1.8622
-54	0.52	0.691	393.05	1.447	2.54	139.86	381.60	241.74	0.7563	1.8594
-53	0.55	0.692	374.04	1.444	2.67	140.95	382.08	241.13	0.7613	1.8565
-52	0.58	0.694	356.12	1.441	2.81	142.04	382.56	240.52	0.7662	1.8538
-51	0.61	0.695	339.24	1.438	2.95	143.12	383.03	239.91	0.7711	1.8510
-50	0.65	0.697	323.31	1.436	3.09	144.20	383.50	239.30	0.7759	1.8483
-49	0.68	0.698	308.28	1.433	3.24	145.28	383.98	238.70	0.7808	1.8457
-48	0.71	0.699	294.09	1.430	3.40	146.36	384.45	238.09	0.7855	1.8430
-47	0.75	0.701	280.68	1.427	3.56	147.43	384.92	237.49	0.7903	1.8404
-46	0.79	0.702	268.00	1.424	3.73	148.51	385.39	236.88	0.7951	1.8379
-45	0.83	0.704	256.01	1.421	3.91	149.58	385.85	236.27	0.7998	1.8354
-44	0.87	0.705	244.67	1.418	4.09	150.65	386.32	235.66	0.8045	1.8329
-43	0.91	0.706	233.93	1.416	4.27	151.73	386.78	235.05	0.8091	1.8305
-42	0.96	0.708	223.76	1.413	4.47	152.80	387.25	234.44	0.8138	1.8280
-41	1.00	0.709	214.12	1.410	4.67	153.88	387.71	233.83	0.8184	1.8257
-40	1.05	0.711	204.98	1.407	4.88	154.95	388.17	233.21	0.8230	1.8233
-39	1.10	0.712	196.31	1.404	5.09	156.03	388.63	232.60	0.8277	1.8210
-38	1.15	0.714	188.08	1.401	5.32	157.11	389.08	231.97	0.8322	1.8187
-37	1.21	0.715	180.27	1.398	5.55	158.19	389.54	231.35	0.8368	1.8165
-36	1.26	0.717	172.85	1.395	5.79	159.27	389.99	230.72	0.8414	1.8143
-35	1.32	0.718	165.80	1.392	6.03	160.35	390.44	230.09	0.8459	1.8121
-34	1.38	0.720	159.09	1.389	6.29	161.44	390.89	229.46	0.8504	1.8099
-33	1.44	0.721	152.72	1.386	6.55	162.52	391.34	228.82	0.8550	1.8078
-32	1.50	0.723	146.65	1.383	6.82	163.61	391.79	228.18	0.8595	1.8057
-31	1.57	0.725	140.88	1.380	7.10	164.70	392.23	227.53	0.8640	1.8036

Solkan® 22

Release 1.09

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-30	1.64	0.726	135.37	1.377	7.39	165.80	392.68	226.88	0.8685	1.8016
-29	1.71	0.728	130.13	1.374	7.68	166.89	393.12	226.22	0.8730	1.7995
-28	1.78	0.729	125.14	1.371	7.99	167.99	393.56	225.56	0.8774	1.7975
-27	1.86	0.731	120.38	1.368	8.31	169.09	393.99	224.90	0.8819	1.7956
-26	1.93	0.733	115.83	1.365	8.63	170.20	394.43	224.23	0.8864	1.7936
-25	2.01	0.734	111.50	1.362	8.97	171.31	394.86	223.56	0.8908	1.7917
-24	2.10	0.736	107.36	1.359	9.31	172.42	395.29	222.88	0.8953	1.7898
-23	2.18	0.738	103.40	1.356	9.67	173.53	395.72	222.19	0.8997	1.7879
-22	2.27	0.739	99.62	1.353	10.04	174.65	396.15	221.50	0.9041	1.7861
-21	2.36	0.741	96.01	1.350	10.42	175.76	396.57	220.81	0.9086	1.7843
-20	2.45	0.743	92.56	1.346	10.80	176.89	397.00	220.11	0.9130	1.7825
-19	2.55	0.744	89.26	1.343	11.20	178.01	397.42	219.40	0.9174	1.7807
-18	2.65	0.746	86.10	1.340	11.61	179.14	397.83	218.69	0.9218	1.7789
-17	2.75	0.748	83.08	1.337	12.04	180.27	398.25	217.97	0.9262	1.7772
-16	2.85	0.750	80.18	1.334	12.47	181.41	398.66	217.25	0.9306	1.7755
-15	2.96	0.751	77.41	1.331	12.92	182.55	399.07	216.52	0.9350	1.7738
-14	3.07	0.753	74.75	1.327	13.38	183.69	399.48	215.79	0.9394	1.7721
-13	3.19	0.755	72.21	1.324	13.85	184.83	399.89	215.05	0.9438	1.7704
-12	3.30	0.757	69.77	1.321	14.33	185.98	400.29	214.31	0.9482	1.7688
-11	3.42	0.759	67.42	1.318	14.83	187.13	400.69	213.56	0.9525	1.7672
-10	3.55	0.761	65.18	1.315	15.34	188.29	401.09	212.80	0.9569	1.7655
-9	3.67	0.763	63.02	1.311	15.87	189.45	401.48	212.04	0.9612	1.7640
-8	3.81	0.764	60.95	1.308	16.41	190.61	401.88	211.27	0.9656	1.7624
-7	3.94	0.766	58.96	1.305	16.96	191.77	402.26	210.50	0.9699	1.7608
-6	4.08	0.768	57.05	1.302	17.53	192.94	402.65	209.72	0.9743	1.7593
-5	4.22	0.770	55.22	1.298	18.11	194.11	403.04	208.93	0.9786	1.7578
-4	4.36	0.772	53.45	1.295	18.71	195.28	403.42	208.14	0.9829	1.7563
-3	4.51	0.774	51.75	1.292	19.32	196.45	403.80	207.34	0.9873	1.7548
-2	4.66	0.776	50.12	1.288	19.95	197.63	404.17	206.54	0.9916	1.7533
-1	4.82	0.778	48.55	1.285	20.60	198.81	404.54	205.73	0.9959	1.7518
0	4.98	0.780	47.04	1.281	21.26	200.00	404.91	204.91	1.0000	1.7504
1	5.14	0.782	45.59	1.278	21.94	201.19	405.28	204.09	1.0045	1.7489
2	5.31	0.785	44.19	1.275	22.63	202.38	405.64	203.26	1.0087	1.7475
3	5.48	0.787	42.84	1.271	23.34	203.57	406.00	202.43	1.0130	1.7461
4	5.66	0.789	41.54	1.268	24.07	204.76	406.36	201.59	1.0173	1.7447
5	5.84	0.791	40.29	1.264	24.82	205.96	406.71	200.75	1.0216	1.7433
6	6.03	0.793	39.08	1.261	25.59	207.16	407.06	199.89	1.0258	1.7419
7	6.22	0.795	37.91	1.257	26.38	208.37	407.40	199.04	1.0301	1.7405
8	6.41	0.798	36.79	1.254	27.18	209.57	407.74	198.17	1.0343	1.7392
9	6.61	0.800	35.71	1.250	28.01	210.78	408.08	197.30	1.0385	1.7378
10	6.81	0.802	34.66	1.247	28.85	211.99	408.42	196.43	1.0428	1.7365
11	7.02	0.804	33.65	1.243	29.72	213.20	408.75	195.54	1.0470	1.7352
12	7.23	0.807	32.68	1.240	30.60	214.42	409.07	194.66	1.0512	1.7338
13	7.45	0.809	31.74	1.236	31.51	215.64	409.40	193.76	1.0554	1.7325
14	7.67	0.812	30.83	1.232	32.44	216.86	409.72	192.86	1.0596	1.7312
15	7.89	0.814	29.95	1.229	33.39	218.08	410.03	191.95	1.0638	1.7299
16	8.12	0.816	29.10	1.225	34.37	219.31	410.34	191.03	1.0680	1.7286
17	8.36	0.819	28.28	1.221	35.36	220.54	410.65	190.11	1.0721	1.7274
18	8.60	0.821	27.48	1.217	36.39	221.77	410.95	189.18	1.0763	1.7261
19	8.85	0.824	26.71	1.214	37.43	223.00	411.25	188.25	1.0805	1.7248

Sol Kane® 22

Release 1.09

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
20	9.10	0.826	25.97	1.210	38.50	224.24	411.54	187.30	1.0846	1.7235
21	9.36	0.829	25.25	1.206	39.60	225.48	411.83	186.35	1.0888	1.7223
22	9.62	0.832	24.56	1.202	40.72	226.72	412.11	185.39	1.0929	1.7210
23	9.89	0.834	23.88	1.199	41.87	227.96	412.39	184.43	1.0970	1.7198
24	10.16	0.837	23.23	1.195	43.05	229.21	412.66	183.46	1.1011	1.7185
25	10.44	0.840	22.60	1.191	44.25	230.46	412.93	182.47	1.1053	1.7173
26	10.72	0.843	21.99	1.187	45.48	231.71	413.20	181.48	1.1094	1.7160
27	11.01	0.845	21.39	1.183	46.75	232.97	413.45	180.49	1.1135	1.7148
28	11.31	0.848	20.82	1.179	48.04	234.23	413.71	179.48	1.1176	1.7136
29	11.61	0.851	20.26	1.175	49.36	235.49	413.95	178.46	1.1217	1.7123
30	11.92	0.854	19.72	1.171	50.71	236.75	414.19	177.44	1.1258	1.7111
31	12.23	0.857	19.19	1.167	52.10	238.02	414.43	176.41	1.1299	1.7099
32	12.55	0.860	18.69	1.163	53.52	239.30	414.66	175.36	1.1340	1.7086
33	12.88	0.863	18.19	1.159	54.97	240.57	414.88	174.31	1.1380	1.7074
34	13.21	0.866	17.71	1.154	56.46	241.85	415.10	173.25	1.1421	1.7062
35	13.55	0.869	17.25	1.150	57.98	243.14	415.31	172.17	1.1462	1.7049
36	13.89	0.873	16.80	1.146	59.54	244.43	415.51	171.09	1.1503	1.7037
37	14.24	0.876	16.36	1.142	61.14	245.72	415.71	169.99	1.1544	1.7024
38	14.60	0.879	15.93	1.137	62.77	247.02	415.90	168.88	1.1584	1.7012
39	14.96	0.883	15.52	1.133	64.45	248.32	416.08	167.76	1.1625	1.6999
40	15.34	0.886	15.11	1.129	66.17	249.63	416.26	166.63	1.1666	1.6987
41	15.71	0.890	14.72	1.124	67.92	250.94	416.42	165.48	1.1707	1.6974
42	16.10	0.893	14.34	1.120	69.73	252.26	416.58	164.32	1.1748	1.6962
43	16.49	0.897	13.97	1.115	71.57	253.59	416.74	163.15	1.1788	1.6949
44	16.89	0.900	13.61	1.111	73.47	254.92	416.88	161.96	1.1829	1.6936
45	17.29	0.904	13.26	1.106	75.41	256.26	417.01	160.76	1.1870	1.6923
46	17.70	0.908	12.92	1.101	77.40	257.60	417.14	159.54	1.1911	1.6910
47	18.12	0.912	12.59	1.097	79.44	258.95	417.25	158.30	1.1952	1.6897
48	18.55	0.916	12.27	1.092	81.53	260.31	417.36	157.05	1.1994	1.6884
49	18.98	0.920	11.95	1.087	83.67	261.68	417.46	155.78	1.2035	1.6870
50	19.43	0.924	11.64	1.082	85.88	263.05	417.54	154.49	1.2076	1.6857
51	19.88	0.928	11.35	1.077	88.14	264.44	417.62	153.18	1.2118	1.6843
52	20.33	0.932	11.06	1.072	90.45	265.83	417.69	151.86	1.2159	1.6830
53	20.80	0.937	10.77	1.067	92.84	267.23	417.74	150.51	1.2201	1.6816
54	21.27	0.941	10.50	1.062	95.28	268.65	417.78	149.14	1.2243	1.6802
55	21.75	0.946	10.23	1.057	97.79	270.07	417.81	147.74	1.2285	1.6787
56	22.24	0.951	9.96	1.052	100.38	271.50	417.83	146.33	1.2327	1.6773
57	22.74	0.955	9.71	1.047	103.03	272.95	417.84	144.89	1.2370	1.6758
58	23.24	0.960	9.46	1.041	105.76	274.41	417.83	143.42	1.2412	1.6743
59	23.75	0.965	9.21	1.036	108.57	275.88	417.80	141.93	1.2455	1.6728
60	24.27	0.971	8.97	1.030	111.46	277.36	417.77	140.41	1.2498	1.6713
61	24.80	0.976	8.74	1.025	114.43	278.86	417.71	138.86	1.2542	1.6697
62	25.34	0.981	8.51	1.019	117.50	280.37	417.64	137.28	1.2585	1.6681
63	25.89	0.987	8.29	1.013	120.66	281.90	417.56	135.66	1.2629	1.6665
64	26.45	0.993	8.07	1.007	123.91	283.44	417.45	134.02	1.2673	1.6648
65	27.01	0.999	7.86	1.001	127.27	285.00	417.33	132.34	1.2718	1.6632
66	27.59	1.005	7.65	0.995	130.74	286.57	417.19	130.62	1.2763	1.6614
67	28.17	1.011	7.45	0.989	134.32	288.16	417.03	128.87	1.2808	1.6597
68	28.76	1.018	7.25	0.983	138.02	289.78	416.85	127.07	1.2854	1.6578
69	29.36	1.024	7.05	0.976	141.84	291.41	416.65	125.24	1.2900	1.6560

Solkane® 22

Release 1.09

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
70	29.97	1.031	6.86	0.970	145.80	293.06	416.42	123.36	1.2946	1.6541
71	30.60	1.039	6.67	0.963	149.90	294.73	416.17	121.44	1.2993	1.6521
72	31.23	1.046	6.49	0.956	154.16	296.42	415.89	119.46	1.3040	1.6501
73	31.87	1.054	6.31	0.949	158.57	298.14	415.58	117.44	1.3088	1.6480
74	32.52	1.062	6.13	0.942	163.15	299.88	415.24	115.36	1.3136	1.6459
75	33.18	1.070	5.96	0.934	167.92	301.64	414.88	113.23	1.3185	1.6437
76	33.85	1.079	5.78	0.927	172.88	303.43	414.47	111.04	1.3234	1.6414
77	34.53	1.088	5.62	0.919	178.06	305.25	414.04	108.79	1.3284	1.6391
78	35.22	1.098	5.45	0.911	183.46	307.09	413.56	106.47	1.3334	1.6366
79	35.92	1.108	5.29	0.902	189.11	308.96	413.04	104.08	1.3385	1.6341
80	36.64	1.119	5.13	0.894	195.03	310.86	412.48	101.62	1.3437	1.6314
81	37.36	1.130	4.97	0.885	201.24	312.79	411.87	99.08	1.3489	1.6286
82	38.10	1.142	4.81	0.875	207.78	314.75	411.20	96.45	1.3542	1.6258
83	38.85	1.155	4.66	0.866	214.67	316.75	410.48	93.73	1.3595	1.6227
84	39.61	1.169	4.51	0.855	221.96	318.78	409.69	90.92	1.3650	1.6195
85	40.38	1.184	4.35	0.845	229.71	320.84	408.83	87.99	1.3705	1.6162
86	41.16	1.200	4.20	0.834	237.97	322.94	407.88	84.94	1.3761	1.6126
87	41.96	1.217	4.05	0.822	246.83	325.08	406.84	81.76	1.3818	1.6088
88	42.77	1.236	3.90	0.809	256.40	327.25	405.68	78.43	1.3875	1.6047
89	43.59	1.257	3.75	0.795	266.85	329.47	404.38	74.91	1.3934	1.6002
90	44.42	1.281	3.59	0.780	278.46	331.73	402.89	71.16	0.0000	0.0000
91	45.27	1.309	3.43	0.764	291.70	334.03	401.13	67.10	0.0000	0.0000
92	46.14	1.342	3.25	0.745	307.72	336.37	398.88	62.51	0.0000	0.0000

12.1.2 Solkane® 23

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-100	0.31	0.653	647.87	1.531	1.54	60.91	318.49	257.57	0.3774	1.8650
-99	0.33	0.655	604.80	1.527	1.65	62.21	318.93	256.72	0.3849	1.8590
-98	0.36	0.657	565.13	1.523	1.77	63.51	319.37	255.86	0.3923	1.8531
-97	0.39	0.658	528.54	1.519	1.89	64.81	319.81	255.00	0.3997	1.8473
-96	0.41	0.660	494.77	1.515	2.02	66.12	320.25	254.13	0.4071	1.8417
-95	0.44	0.662	463.57	1.511	2.16	67.42	320.68	253.26	0.4144	1.8361
-94	0.48	0.663	434.71	1.507	2.30	68.73	321.12	252.39	0.4217	1.8305
-93	0.51	0.665	408.00	1.504	2.45	70.03	321.54	251.51	0.4290	1.8251
-92	0.54	0.667	383.24	1.500	2.61	71.34	321.97	250.63	0.4362	1.8198
-91	0.58	0.669	359.62	1.496	2.78	73.06	322.35	249.29	0.4457	1.8143
-90	0.62	0.670	338.34	1.492	2.96	74.37	322.77	248.40	0.4528	1.8091
-89	0.66	0.672	318.57	1.488	3.14	75.68	323.19	247.51	0.4599	1.8040
-88	0.70	0.674	300.19	1.484	3.33	76.99	323.60	246.62	0.4670	1.7990
-87	0.75	0.676	283.08	1.480	3.53	78.30	324.02	245.72	0.4740	1.7940
-86	0.80	0.678	267.14	1.476	3.74	79.61	324.43	244.82	0.4810	1.7892
-85	0.85	0.679	252.05	1.472	3.97	81.12	324.81	243.69	0.4891	1.7843
-84	0.90	0.681	238.19	1.468	4.20	82.43	325.21	242.78	0.4960	1.7795
-83	0.96	0.683	225.26	1.464	4.44	83.74	325.61	241.87	0.5029	1.7749
-82	1.01	0.685	213.17	1.460	4.69	85.05	326.01	240.96	0.5097	1.7703
-81	1.08	0.687	201.86	1.456	4.95	86.36	326.40	240.04	0.5165	1.7658
-80	1.14	0.689	191.10	1.452	5.23	87.86	326.77	238.90	0.5243	1.7612
-79	1.21	0.691	181.20	1.448	5.52	89.17	327.15	237.98	0.5311	1.7568
-78	1.27	0.693	171.91	1.444	5.82	90.48	327.53	237.05	0.5378	1.7525
-77	1.35	0.695	163.15	1.439	6.13	91.85	327.91	236.05	0.5448	1.7482
-76	1.42	0.697	154.89	1.435	6.46	93.29	328.27	234.97	0.5521	1.7439
-75	1.50	0.699	147.22	1.431	6.79	94.60	328.64	234.04	0.5586	1.7398
-74	1.58	0.701	140.00	1.427	7.14	95.91	329.01	233.10	0.5652	1.7357
-73	1.67	0.703	133.18	1.423	7.51	97.28	329.36	232.09	0.5720	1.7316
-72	1.76	0.705	126.72	1.419	7.89	98.71	329.71	231.00	0.5791	1.7275
-71	1.85	0.707	120.71	1.414	8.28	100.01	330.07	230.05	0.5856	1.7236
-70	1.95	0.709	115.01	1.410	8.69	101.38	330.41	229.03	0.5923	1.7197
-69	2.05	0.711	109.61	1.406	9.12	102.81	330.74	227.93	0.5993	1.7158
-68	2.15	0.713	104.57	1.402	9.56	104.11	331.09	226.98	0.6056	1.7120
-67	2.26	0.716	99.79	1.397	10.02	105.48	331.42	225.95	0.6122	1.7082
-66	2.38	0.718	95.24	1.393	10.50	106.90	331.74	224.85	0.6190	1.7045
-65	2.49	0.720	91.00	1.389	10.99	108.20	332.08	223.88	0.6253	1.7008
-64	2.61	0.722	86.96	1.384	11.50	109.56	332.40	222.84	0.6317	1.6972
-63	2.74	0.725	83.14	1.380	12.03	110.92	332.72	221.80	0.6382	1.6936
-62	2.87	0.727	79.52	1.376	12.58	112.27	333.03	220.75	0.6446	1.6901
-61	3.00	0.729	76.09	1.371	13.14	113.63	333.34	219.71	0.6509	1.6866
-60	3.14	0.732	72.84	1.367	13.73	114.99	333.64	218.66	0.6573	1.6831
-59	3.29	0.734	69.76	1.362	14.33	116.34	333.94	217.60	0.6636	1.6797
-58	3.44	0.736	66.82	1.358	14.97	117.75	334.23	216.48	0.6701	1.6762
-57	3.59	0.739	64.04	1.353	15.61	119.10	334.52	215.42	0.6763	1.6729
-56	3.75	0.741	61.41	1.349	16.28	120.45	334.81	214.35	0.6825	1.6696
-55	3.92	0.744	58.90	1.344	16.98	121.80	335.09	213.28	0.6886	1.6663
-54	4.09	0.746	56.52	1.340	17.69	123.15	335.36	212.21	0.6947	1.6631
-53	4.27	0.749	54.26	1.335	18.43	124.50	335.64	211.14	0.7008	1.6599
-52	4.45	0.751	52.10	1.331	19.19	125.85	335.90	210.06	0.7068	1.6567
-51	4.64	0.754	50.05	1.326	19.98	127.19	336.16	208.97	0.7129	1.6535

Solkane® 23

Release 1.02

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
-50	4.83	0.757	48.08	1.321	20.80	128.58	336.42	207.84	0.7190	1.6504
-49	5.03	0.759	46.22	1.317	21.64	129.94	336.66	206.73	0.7250	1.6473
-48	5.24	0.762	44.44	1.312	22.50	131.28	336.91	205.63	0.7309	1.6442
-47	5.45	0.765	42.74	1.307	23.39	132.63	337.15	204.52	0.7368	1.6412
-46	5.67	0.768	41.13	1.303	24.31	133.97	337.39	203.41	0.7427	1.6382
-45	5.89	0.771	39.58	1.298	25.26	135.32	337.62	202.30	0.7485	1.6352
-44	6.12	0.773	38.10	1.293	26.25	136.70	337.83	201.14	0.7545	1.6322
-43	6.36	0.776	36.69	1.288	27.26	138.04	338.05	200.01	0.7602	1.6293
-42	6.61	0.779	35.34	1.283	28.30	139.40	338.26	198.86	0.7661	1.6264
-41	6.86	0.782	34.05	1.278	29.37	140.75	338.47	197.72	0.7718	1.6235
-40	7.12	0.785	32.82	1.274	30.47	142.09	338.67	196.58	0.7775	1.6206
-39	7.39	0.788	31.63	1.269	31.61	143.46	338.86	195.40	0.7832	1.6178
-38	7.66	0.791	30.50	1.264	32.79	144.82	339.05	194.22	0.7889	1.6149
-37	7.94	0.795	29.41	1.259	34.00	146.17	339.23	193.06	0.7946	1.6121
-36	8.23	0.798	28.37	1.253	35.24	147.54	339.40	191.86	0.8003	1.6093
-35	8.53	0.801	27.38	1.248	36.53	148.89	339.56	190.68	0.8058	1.6065
-34	8.84	0.804	26.42	1.243	37.85	150.26	339.72	189.47	0.8115	1.6037
-33	9.15	0.808	25.50	1.238	39.21	151.61	339.88	188.26	0.8170	1.6010
-32	9.47	0.811	24.62	1.233	40.61	152.98	340.02	187.03	0.8226	1.5982
-31	9.80	0.815	23.78	1.228	42.06	154.34	340.16	185.81	0.8281	1.5955
-30	10.14	0.818	22.96	1.222	43.55	155.72	340.28	184.56	0.8337	1.5927
-29	10.49	0.822	22.18	1.217	45.08	157.09	340.40	183.32	0.8392	1.5900
-28	10.84	0.825	21.43	1.212	46.66	158.47	340.51	182.05	0.8447	1.5873
-27	11.21	0.829	20.71	1.206	48.28	159.84	340.62	180.78	0.8502	1.5846
-26	11.58	0.833	20.02	1.201	49.96	161.23	340.71	179.49	0.8557	1.5819
-25	11.96	0.837	19.35	1.195	51.69	162.62	340.80	178.18	0.8612	1.5792
-24	12.36	0.841	18.71	1.190	53.46	164.00	340.88	176.88	0.8666	1.5765
-23	12.76	0.845	18.09	1.184	55.29	165.40	340.94	175.54	0.8721	1.5738
-22	13.17	0.849	17.49	1.178	57.18	166.79	341.00	174.21	0.8775	1.5711
-21	13.59	0.853	16.91	1.173	59.12	168.20	341.05	172.85	0.8829	1.5684
-20	14.02	0.857	16.36	1.167	61.13	169.61	341.08	171.47	0.8884	1.5657
-19	14.47	0.861	15.82	1.161	63.19	171.03	341.11	170.08	0.8938	1.5630
-18	14.92	0.866	15.31	1.155	65.32	172.46	341.12	168.67	0.8993	1.5603
-17	15.38	0.870	14.81	1.149	67.52	173.88	341.13	167.24	0.9047	1.5576
-16	15.86	0.875	14.33	1.143	69.78	175.32	341.12	165.79	0.9101	1.5549
-15	16.34	0.879	13.87	1.137	72.12	176.77	341.09	164.32	0.9156	1.5521
-14	16.84	0.884	13.42	1.131	74.54	178.23	341.06	162.82	0.9211	1.5494
-13	17.34	0.889	12.98	1.125	77.03	179.70	341.01	161.31	0.9266	1.5466
-12	17.86	0.894	12.56	1.118	79.60	181.17	340.94	159.77	0.9320	1.5438
-11	18.39	0.899	12.16	1.112	82.25	182.65	340.87	158.21	0.9375	1.5410
-10	18.93	0.905	11.77	1.106	84.99	184.15	340.77	156.62	0.9430	1.5382
-9	19.49	0.910	11.39	1.099	87.83	185.67	340.66	154.99	0.9486	1.5353
-8	20.05	0.915	11.02	1.092	90.76	187.19	340.53	153.34	0.9541	1.5325
-7	20.63	0.921	10.66	1.086	93.79	188.73	340.39	151.66	0.9597	1.5296
-6	21.22	0.927	10.32	1.079	96.94	190.28	340.22	149.94	0.9654	1.5266
-5	21.83	0.933	9.98	1.072	100.19	191.85	340.04	148.18	0.9710	1.5236
-4	22.45	0.939	9.66	1.065	103.56	193.44	339.83	146.39	0.9767	1.5206
-3	23.08	0.946	9.34	1.058	107.05	195.05	339.60	144.55	0.9825	1.5175
-2	23.72	0.952	9.04	1.050	110.68	196.67	339.36	142.68	0.9882	1.5144
-1	24.38	0.959	8.74	1.043	114.44	198.32	339.08	140.76	0.9941	1.5113

Solkan® 23

Release 1.02

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
0	25.05	0.966	8.45	1.035	118.35	200.00	338.78	138.78	1.0000	1.5081
1	25.74	0.973	8.17	1.028	122.42	201.69	338.45	136.77	1.0059	1.5048
2	26.44	0.981	7.90	1.020	126.65	203.40	338.10	134.69	1.0119	1.5014
3	27.15	0.989	7.63	1.012	131.07	205.16	337.71	132.55	1.0180	1.4980
4	27.88	0.997	7.37	1.003	135.68	206.94	337.28	130.35	1.0242	1.4945
5	28.63	1.005	7.12	0.995	140.49	208.74	336.83	128.09	1.0304	1.4909
6	29.39	1.014	6.87	0.986	145.53	210.59	336.33	125.74	1.0368	1.4872
7	30.17	1.023	6.63	0.977	150.81	212.48	335.79	123.31	1.0432	1.4834
8	30.96	1.033	6.40	0.968	156.35	214.40	335.21	120.80	1.0498	1.4795
9	31.77	1.043	6.17	0.959	162.17	216.37	334.57	118.20	1.0565	1.4754
10	32.59	1.053	5.94	0.949	168.31	218.39	333.88	115.49	1.0633	1.4712
11	33.44	1.065	5.72	0.939	174.81	220.47	333.13	112.67	1.0703	1.4668
12	34.30	1.077	5.50	0.929	181.69	222.60	332.32	109.72	1.0775	1.4623
13	35.18	1.089	5.29	0.918	189.01	224.80	331.43	106.63	1.0849	1.4575
14	36.07	1.103	5.08	0.907	196.81	227.06	330.46	103.40	1.0924	1.4525
15	36.99	1.117	4.87	0.895	205.19	229.42	329.39	99.97	1.1003	1.4472
16	37.92	1.133	4.67	0.883	214.22	231.86	328.22	96.35	1.1084	1.4416
17	38.87	1.150	4.46	0.870	223.99	234.41	326.92	92.50	1.1168	1.4356
18	39.84	1.169	4.26	0.856	234.69	237.09	325.47	88.38	1.1256	1.4292
19	40.83	1.190	4.06	0.841	246.49	239.91	323.84	83.93	1.1349	1.4222
20	41.85	1.213	3.85	0.824	259.67	242.90	321.99	79.09	1.1447	1.4145
21	42.88	1.240	3.64	0.807	274.66	246.12	319.85	73.73	1.1552	1.4059
22	43.94	1.271	3.42	0.787	292.05	249.62	317.35	67.73	1.1667	1.3961
23	45.01	1.310	3.20	0.764	312.93	253.52	314.32	60.80	1.1794	1.3847

12.1.3 Solkane® 123

Release 1.02

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
0	0.33	0.655	446.10	1.526	2.24	200.00	381.59	181.59	1.0000	1.6652
1	0.34	0.656	427.57	1.524	2.34	200.88	382.19	181.31	1.0036	1.6649
2	0.36	0.657	409.96	1.521	2.44	201.88	382.79	180.92	1.0073	1.6647
3	0.37	0.658	393.21	1.519	2.54	202.87	383.39	180.52	1.0109	1.6645
4	0.39	0.659	377.28	1.516	2.65	203.87	384.00	180.13	1.0145	1.6644
5	0.41	0.661	362.12	1.514	2.76	204.86	384.60	179.74	1.0181	1.6642
6	0.43	0.662	347.69	1.512	2.88	205.86	385.20	179.34	1.0217	1.6640
7	0.45	0.663	333.95	1.509	2.99	206.86	385.80	178.94	1.0253	1.6639
8	0.46	0.664	320.86	1.507	3.12	207.86	386.41	178.55	1.0289	1.6638
9	0.48	0.665	308.38	1.504	3.24	208.86	387.01	178.15	1.0324	1.6637
10	0.51	0.666	296.49	1.502	3.37	209.87	387.61	177.75	1.0360	1.6636
11	0.53	0.667	285.14	1.499	3.51	210.87	388.22	177.34	1.0395	1.6635
12	0.55	0.668	274.31	1.497	3.65	211.88	388.82	176.94	1.0431	1.6634
13	0.57	0.669	263.98	1.494	3.79	212.89	389.42	176.54	1.0466	1.6634
14	0.60	0.670	254.12	1.492	3.94	213.90	390.03	176.13	1.0501	1.6633
15	0.62	0.671	244.70	1.489	4.09	214.91	390.63	175.72	1.0536	1.6633
16	0.65	0.673	235.70	1.487	4.24	215.92	391.23	175.31	1.0571	1.6633
17	0.67	0.674	227.09	1.484	4.40	216.94	391.84	174.90	1.0606	1.6633
18	0.70	0.675	218.87	1.482	4.57	217.95	392.44	174.49	1.0641	1.6633
19	0.73	0.676	211.00	1.479	4.74	218.97	393.05	174.08	1.0676	1.6633
20	0.76	0.677	203.48	1.477	4.91	219.99	393.65	173.66	1.0711	1.6633
21	0.79	0.678	196.27	1.474	5.09	221.01	394.25	173.25	1.0745	1.6634
22	0.82	0.680	189.38	1.472	5.28	222.03	394.86	172.83	1.0780	1.6634
23	0.85	0.681	182.77	1.469	5.47	223.05	395.46	172.41	1.0814	1.6635
24	0.88	0.682	176.45	1.466	5.67	224.08	396.06	171.99	1.0848	1.6636
25	0.91	0.683	170.39	1.464	5.87	225.10	396.67	171.57	1.0883	1.6636
26	0.95	0.684	164.58	1.461	6.08	226.13	397.27	171.14	1.0917	1.6637
27	0.98	0.685	159.01	1.459	6.29	227.16	397.87	170.72	1.0951	1.6638
28	1.02	0.687	153.66	1.456	6.51	228.18	398.47	170.29	1.0985	1.6639
29	1.06	0.688	148.54	1.454	6.73	229.22	399.08	169.86	1.1019	1.6641
30	1.10	0.689	143.62	1.451	6.96	230.25	399.68	169.43	1.1052	1.6642
31	1.14	0.690	138.89	1.448	7.20	231.28	400.28	169.00	1.1086	1.6643
32	1.18	0.692	134.36	1.446	7.44	232.32	400.88	168.57	1.1120	1.6645
33	1.22	0.693	130.00	1.443	7.69	233.35	401.48	168.13	1.1153	1.6646
34	1.26	0.694	125.82	1.441	7.95	234.39	402.08	167.70	1.1187	1.6648
35	1.31	0.695	121.79	1.438	8.21	235.43	402.68	167.26	1.1220	1.6650
36	1.35	0.697	117.93	1.435	8.48	236.47	403.28	166.82	1.1254	1.6651
37	1.40	0.698	114.21	1.433	8.76	237.51	403.88	166.38	1.1287	1.6653
38	1.44	0.699	110.63	1.430	9.04	238.55	404.48	165.93	1.1320	1.6655
39	1.49	0.701	107.19	1.427	9.33	239.59	405.08	165.49	1.1353	1.6657
40	1.54	0.702	103.88	1.425	9.63	240.64	405.68	165.04	1.1386	1.6660
41	1.60	0.703	100.69	1.422	9.93	241.68	406.28	164.60	1.1419	1.6662
42	1.65	0.704	97.62	1.419	10.24	242.73	406.88	164.15	1.1452	1.6664
43	1.70	0.706	94.66	1.417	10.56	243.78	407.47	163.69	1.1485	1.6666
44	1.76	0.707	91.81	1.414	10.89	244.83	408.07	163.24	1.1518	1.6669
45	1.82	0.709	89.07	1.411	11.23	245.88	408.67	162.79	1.1550	1.6671
46	1.88	0.710	86.42	1.409	11.57	246.93	409.26	162.33	1.1583	1.6674
47	1.94	0.711	83.87	1.406	11.92	247.99	409.86	161.87	1.1615	1.6676
48	2.00	0.713	81.41	1.403	12.28	249.04	410.45	161.41	1.1648	1.6679
49	2.06	0.714	79.04	1.401	12.65	250.10	411.05	160.95	1.1680	1.6682

Sol Kane® 123

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
50	2.12	0.715	76.75	1.398	13.03	251.15	411.64	160.48	1.1712	1.6685
51	2.19	0.717	74.54	1.395	13.41	252.21	412.23	160.02	1.1745	1.6687
52	2.26	0.718	72.41	1.392	13.81	253.27	412.82	159.55	1.1777	1.6690
53	2.33	0.720	70.35	1.390	14.21	254.33	413.41	159.08	1.1809	1.6693
54	2.40	0.721	68.37	1.387	14.63	255.39	414.00	158.61	1.1841	1.6696
55	2.47	0.723	66.45	1.384	15.05	256.46	414.59	158.14	1.1873	1.6699
56	2.55	0.724	64.59	1.381	15.48	257.52	415.18	157.66	1.1905	1.6703
57	2.62	0.725	62.80	1.378	15.92	258.59	415.77	157.18	1.1937	1.6706
58	2.70	0.727	61.07	1.376	16.38	259.65	416.36	156.70	1.1969	1.6709
59	2.78	0.728	59.39	1.373	16.84	260.72	416.94	156.22	1.2000	1.6712
60	2.86	0.730	57.77	1.370	17.31	261.79	417.53	155.74	1.2032	1.6716
61	2.94	0.731	56.20	1.367	17.79	262.86	418.11	155.25	1.2064	1.6719
62	3.03	0.733	54.69	1.364	18.29	263.93	418.69	154.76	1.2095	1.6722
63	3.11	0.735	53.22	1.361	18.79	265.00	419.28	154.27	1.2127	1.6726
64	3.20	0.736	51.80	1.359	19.30	266.08	419.86	153.78	1.2158	1.6729
65	3.29	0.738	50.43	1.356	19.83	267.15	420.44	153.29	1.2190	1.6733
66	3.38	0.739	49.10	1.353	20.37	268.23	421.02	152.79	1.2221	1.6736
67	3.48	0.741	47.81	1.350	20.92	269.31	421.60	152.29	1.2253	1.6740
68	3.57	0.742	46.56	1.347	21.48	270.38	422.17	151.79	1.2284	1.6744
69	3.67	0.744	45.36	1.344	22.05	271.46	422.75	151.29	1.2315	1.6747
70	3.77	0.746	44.19	1.341	22.63	272.55	423.33	150.78	1.2346	1.6751
71	3.87	0.747	43.05	1.338	23.23	273.63	423.90	150.27	1.2377	1.6755
72	3.98	0.749	41.95	1.335	23.84	274.71	424.47	149.76	1.2408	1.6758
73	4.09	0.751	40.88	1.332	24.46	275.80	425.04	149.24	1.2439	1.6762
74	4.19	0.752	39.85	1.329	25.09	276.88	425.61	148.73	1.2470	1.6766
75	4.30	0.754	38.85	1.326	25.74	277.97	426.18	148.21	1.2501	1.6770
76	4.42	0.756	37.87	1.323	26.40	279.06	426.75	147.69	1.2532	1.6774
77	4.53	0.757	36.93	1.320	27.08	280.15	427.31	147.16	1.2563	1.6778
78	4.65	0.759	36.01	1.317	27.77	281.25	427.88	146.63	1.2594	1.6781
79	4.77	0.761	35.12	1.314	28.47	282.34	428.44	146.10	1.2625	1.6785
80	4.89	0.763	34.26	1.311	29.19	283.43	429.00	145.57	1.2656	1.6789
81	5.02	0.764	33.42	1.308	29.92	284.53	429.57	145.03	1.2686	1.6793
82	5.14	0.766	32.61	1.305	30.67	285.63	430.12	144.49	1.2717	1.6797
83	5.27	0.768	31.82	1.302	31.43	286.73	430.68	143.95	1.2748	1.6801
84	5.40	0.770	31.05	1.299	32.21	287.83	431.24	143.41	1.2778	1.6805
85	5.54	0.772	30.30	1.296	33.00	288.93	431.79	142.86	1.2809	1.6809
86	5.67	0.774	29.58	1.293	33.81	290.04	432.34	142.30	1.2839	1.6813
87	5.81	0.776	28.87	1.289	34.64	291.15	432.89	141.75	1.2870	1.6817
88	5.95	0.778	28.19	1.286	35.48	292.26	433.44	141.19	1.2900	1.6821
89	6.10	0.779	27.52	1.283	36.34	293.37	433.99	140.62	1.2931	1.6825
90	6.24	0.781	26.87	1.280	37.21	294.48	434.53	140.06	1.2961	1.6829
91	6.39	0.783	26.24	1.277	38.11	295.59	435.08	139.49	1.2992	1.6834
92	6.54	0.785	25.63	1.273	39.02	296.71	435.62	138.91	1.3022	1.6838
93	6.70	0.787	25.03	1.270	39.95	297.83	436.16	138.33	1.3052	1.6842
94	6.85	0.789	24.45	1.267	40.90	298.94	436.70	137.75	1.3083	1.6846
95	7.01	0.791	23.89	1.264	41.86	300.07	437.23	137.16	1.3113	1.6850
96	7.18	0.794	23.34	1.260	42.85	301.19	437.77	136.57	1.3143	1.6854
97	7.34	0.796	22.80	1.257	43.86	302.32	438.30	135.98	1.3174	1.6858
98	7.51	0.798	22.28	1.254	44.88	303.45	438.83	135.38	1.3204	1.6862
99	7.68	0.800	21.77	1.250	45.93	304.58	439.35	134.78	1.3234	1.6866

Solkane® 123

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
100	7.86	0.802	21.28	1.247	46.99	305.71	439.88	134.17	1.3265	1.6870
101	8.03	0.804	20.80	1.243	48.08	306.84	440.40	133.55	1.3295	1.6874
102	8.21	0.806	20.33	1.240	49.19	307.98	440.92	132.94	1.3325	1.6878
103	8.39	0.809	19.87	1.237	50.33	309.12	441.43	132.31	1.3355	1.6882
104	8.58	0.811	19.42	1.233	51.48	310.27	441.95	131.68	1.3386	1.6886
105	8.77	0.813	18.99	1.230	52.66	311.41	442.46	131.05	1.3416	1.6890
106	8.96	0.816	18.57	1.226	53.86	312.56	442.97	130.41	1.3446	1.6894
107	9.16	0.818	18.15	1.223	55.09	313.71	443.48	129.77	1.3476	1.6898
108	9.35	0.820	17.75	1.219	56.34	314.87	443.98	129.12	1.3506	1.6902
109	9.56	0.823	17.36	1.215	57.61	316.02	444.48	128.46	1.3537	1.6906
110	9.76	0.825	16.97	1.212	58.91	317.18	444.98	127.80	1.3567	1.6909
111	9.97	0.828	16.60	1.208	60.24	318.35	445.47	127.13	1.3597	1.6913
112	10.18	0.830	16.24	1.204	61.59	319.51	445.97	126.45	1.3627	1.6917
113	10.39	0.833	15.88	1.201	62.97	320.68	446.45	125.77	1.3658	1.6921
114	10.61	0.835	15.53	1.197	64.38	321.85	446.94	125.09	1.3688	1.6924
115	10.83	0.838	15.19	1.193	65.82	323.03	447.42	124.39	1.3718	1.6928
116	11.06	0.841	14.86	1.190	67.29	324.21	447.90	123.69	1.3748	1.6932
117	11.28	0.843	14.54	1.186	68.79	325.39	448.38	122.98	1.3778	1.6935
118	11.52	0.846	14.22	1.182	70.31	326.58	448.85	122.27	1.3809	1.6939
119	11.75	0.849	13.91	1.178	71.87	327.77	449.32	121.54	1.3839	1.6942
120	11.99	0.852	13.61	1.174	73.47	328.97	449.78	120.81	1.3869	1.6946
121	12.23	0.854	13.32	1.170	75.09	330.17	450.24	120.07	1.3900	1.6949
122	12.48	0.857	13.03	1.166	76.75	331.37	450.70	119.33	1.3930	1.6953
123	12.73	0.860	12.75	1.162	78.45	332.58	451.15	118.57	1.3960	1.6956
124	12.98	0.863	12.47	1.158	80.18	333.79	451.60	117.81	1.3991	1.6959
125	13.24	0.866	12.20	1.154	81.94	335.00	452.04	117.03	1.4021	1.6962
126	13.50	0.869	11.94	1.150	83.75	336.23	452.48	116.25	1.4052	1.6965
127	13.76	0.873	11.68	1.146	85.59	337.45	452.91	115.46	1.4082	1.6969
128	14.03	0.876	11.43	1.142	87.48	338.68	453.34	114.66	1.4112	1.6971
129	14.30	0.879	11.19	1.138	89.40	339.92	453.77	113.85	1.4143	1.6974
130	14.58	0.882	10.94	1.134	91.37	341.16	454.18	113.03	1.4174	1.6977
131	14.86	0.886	10.71	1.129	93.38	342.40	454.60	112.20	1.4204	1.6980
132	15.14	0.889	10.48	1.125	95.44	343.65	455.01	111.35	1.4235	1.6983
133	15.43	0.892	10.25	1.120	97.54	344.91	455.41	110.50	1.4265	1.6985
134	15.72	0.896	10.03	1.116	99.69	346.17	455.81	109.64	1.4296	1.6988
135	16.02	0.900	9.81	1.112	101.89	347.44	456.20	108.76	1.4327	1.6990
136	16.32	0.903	9.60	1.107	104.14	348.71	456.59	107.87	1.4358	1.6992
137	16.62	0.907	9.39	1.102	106.45	349.99	456.96	106.97	1.4388	1.6995
138	16.93	0.911	9.19	1.098	108.81	351.28	457.34	106.06	1.4419	1.6997
139	17.25	0.915	8.99	1.093	111.22	352.57	457.70	105.13	1.4450	1.6999
140	17.56	0.919	8.80	1.088	113.70	353.87	458.06	104.19	1.4481	1.7000
141	17.88	0.923	8.60	1.084	116.23	355.17	458.41	103.24	1.4512	1.7002
142	18.21	0.927	8.42	1.079	118.83	356.49	458.75	102.27	1.4543	1.7004
143	18.54	0.931	8.23	1.074	121.49	357.80	459.09	101.29	1.4574	1.7005
144	18.88	0.936	8.05	1.069	124.22	359.13	459.42	100.29	1.4605	1.7007
145	19.22	0.940	7.87	1.064	127.03	360.46	459.74	99.27	1.4636	1.7008
146	19.56	0.945	7.70	1.059	129.90	361.81	460.05	98.24	1.4668	1.7009
147	19.91	0.949	7.53	1.053	132.85	363.15	460.35	97.19	1.4699	1.7009
148	20.26	0.954	7.36	1.048	135.89	364.51	460.64	96.13	1.4730	1.7010
149	20.62	0.959	7.19	1.043	139.00	365.87	460.92	95.04	1.4762	1.7011

Sol Kane® 123

Release 1.02

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kJ/kg-K]
150	20.99	0.964	7.03	1.037	142.21	367.25	461.19	93.94	1.4793	1.7011
151	21.36	0.969	6.87	1.031	145.51	368.63	461.44	92.81	1.4825	1.7011
152	21.73	0.975	6.72	1.026	148.90	370.02	461.69	91.67	1.4857	1.7011
153	22.11	0.980	6.56	1.020	152.40	371.42	461.92	90.51	1.4888	1.7010
154	22.49	0.986	6.41	1.014	156.00	372.82	462.14	89.32	1.4920	1.7010
155	22.88	0.992	6.26	1.008	159.72	374.24	462.35	88.11	1.4952	1.7009
156	23.27	0.998	6.11	1.002	163.55	375.67	462.54	86.88	1.4984	1.7007
157	23.67	1.004	5.97	0.996	167.51	377.10	462.72	85.62	1.5016	1.7006
158	24.08	1.011	5.83	0.989	171.61	378.55	462.88	84.33	1.5048	1.7004
159	24.49	1.018	5.69	0.983	175.85	380.00	463.02	83.02	1.5080	1.7002
160	24.90	1.025	5.55	0.976	180.25	381.47	463.14	81.68	1.5112	1.6999
161	25.32	1.032	5.41	0.969	184.80	382.94	463.25	80.30	1.5145	1.6996
162	25.75	1.039	5.28	0.962	189.54	384.43	463.33	78.90	1.5177	1.6993
163	26.18	1.047	5.14	0.955	194.46	385.93	463.39	77.46	1.5210	1.6989
164	26.62	1.056	5.01	0.947	199.59	387.43	463.42	75.99	1.5242	1.6985
165	27.06	1.064	4.88	0.940	204.94	388.95	463.43	74.47	1.5275	1.6980
166	27.51	1.073	4.75	0.932	210.53	390.49	463.40	72.92	1.5308	1.6975
167	27.97	1.083	4.62	0.924	216.39	392.03	463.34	71.31	1.5341	1.6968
168	28.43	1.093	4.49	0.915	222.54	393.58	463.25	69.67	1.5374	1.6962
169	28.90	1.104	4.37	0.906	229.02	395.15	463.12	67.96	1.5407	1.6954
170	29.37	1.115	4.24	0.897	235.86	396.73	462.94	66.21	1.5440	1.6945
171	29.85	1.127	4.11	0.887	243.12	398.33	462.71	64.38	1.5473	1.6935
172	30.34	1.140	3.99	0.877	250.84	399.93	462.42	62.49	1.5507	1.6925
173	30.83	1.154	3.86	0.866	259.10	401.55	462.07	60.52	1.5540	1.6912
174	31.34	1.169	3.73	0.855	267.99	403.19	461.64	58.45	1.5574	1.6898
175	31.85	1.186	3.60	0.843	277.62	404.83	461.12	56.28	1.5607	1.6883
176	32.36	1.204	3.47	0.830	288.15	406.49	460.48	53.99	1.5641	1.6864
177	32.89	1.225	3.34	0.816	299.79	408.17	459.72	51.55	1.5675	1.6843
178	33.42	1.248	3.20	0.801	312.83	409.86	458.78	48.92	1.5709	1.6819
179	33.96	1.276	3.05	0.784	327.70	411.57	457.62	46.05	1.5743	1.6789

12.1.4 Solkane® 134a

Release 1.05

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-50	0.29	0.691	606.17	1.447	1.65	135.75	367.70	231.95	0.7409	1.7808
-49	0.31	0.692	574.14	1.444	1.74	136.99	368.33	231.34	0.7463	1.7790
-48	0.33	0.694	544.11	1.441	1.84	138.24	368.96	230.73	0.7518	1.7772
-47	0.35	0.695	515.95	1.438	1.94	139.49	369.60	230.11	0.7572	1.7755
-46	0.37	0.697	489.51	1.436	2.04	140.73	370.23	229.50	0.7626	1.7738
-45	0.39	0.698	464.68	1.433	2.15	141.98	370.86	228.89	0.7681	1.7722
-44	0.41	0.699	441.35	1.430	2.27	143.22	371.50	228.27	0.7735	1.7706
-43	0.44	0.701	419.41	1.427	2.38	144.47	372.13	227.66	0.7789	1.7690
-42	0.46	0.702	398.76	1.424	2.51	145.71	372.76	227.05	0.7842	1.7674
-41	0.49	0.704	379.33	1.421	2.64	146.96	373.39	226.43	0.7896	1.7659
-40	0.51	0.705	361.01	1.418	2.77	148.21	374.02	225.81	0.7950	1.7645
-39	0.54	0.706	343.76	1.415	2.91	149.46	374.66	225.20	0.8003	1.7630
-38	0.57	0.708	327.49	1.413	3.05	150.71	375.29	224.58	0.8057	1.7616
-37	0.60	0.709	312.13	1.410	3.20	151.96	375.92	223.95	0.8110	1.7602
-36	0.63	0.711	297.64	1.407	3.36	153.21	376.54	223.33	0.8163	1.7589
-35	0.66	0.712	283.95	1.404	3.52	154.47	377.17	222.70	0.8217	1.7576
-34	0.70	0.714	271.01	1.401	3.69	155.73	377.80	222.08	0.8270	1.7563
-33	0.73	0.715	258.78	1.398	3.86	156.98	378.43	221.45	0.8322	1.7551
-32	0.77	0.717	247.20	1.395	4.05	158.24	379.06	220.81	0.8375	1.7538
-31	0.80	0.718	236.25	1.392	4.23	159.51	379.68	220.18	0.8428	1.7526
-30	0.84	0.720	225.88	1.389	4.43	160.77	380.31	219.54	0.8480	1.7515
-29	0.88	0.721	216.05	1.386	4.63	162.04	380.93	218.89	0.8533	1.7503
-28	0.93	0.723	206.73	1.383	4.84	163.31	381.56	218.25	0.8585	1.7492
-27	0.97	0.725	197.90	1.380	5.05	164.58	382.18	217.60	0.8637	1.7481
-26	1.02	0.726	189.51	1.377	5.28	165.85	382.80	216.94	0.8689	1.7471
-25	1.06	0.728	181.56	1.374	5.51	167.13	383.42	216.29	0.8741	1.7460
-24	1.11	0.729	174.00	1.371	5.75	168.41	384.04	215.63	0.8793	1.7450
-23	1.16	0.731	166.82	1.368	5.99	169.69	384.66	214.96	0.8845	1.7440
-22	1.22	0.733	160.00	1.365	6.25	170.98	385.28	214.30	0.8896	1.7431
-21	1.27	0.734	153.51	1.362	6.51	172.27	385.89	213.62	0.8948	1.7421
-20	1.33	0.736	147.33	1.359	6.79	173.56	386.51	212.95	0.8999	1.7412
-19	1.39	0.738	141.46	1.356	7.07	174.85	387.12	212.27	0.9050	1.7403
-18	1.45	0.739	135.86	1.353	7.36	176.15	387.73	211.58	0.9101	1.7394
-17	1.51	0.741	130.54	1.349	7.66	177.45	388.34	210.90	0.9152	1.7385
-16	1.57	0.743	125.46	1.346	7.97	178.75	388.95	210.20	0.9203	1.7377
-15	1.64	0.744	120.62	1.343	8.29	180.06	389.56	209.51	0.9254	1.7369
-14	1.71	0.746	116.00	1.340	8.62	181.36	390.17	208.81	0.9304	1.7361
-13	1.78	0.748	111.60	1.337	8.96	182.68	390.77	208.10	0.9355	1.7353
-12	1.85	0.750	107.39	1.334	9.31	183.99	391.38	207.39	0.9405	1.7346
-11	1.93	0.752	103.38	1.331	9.67	185.31	391.98	206.67	0.9455	1.7338
-10	2.01	0.753	99.54	1.327	10.05	186.63	392.58	205.95	0.9505	1.7331
-9	2.09	0.755	95.88	1.324	10.43	187.95	393.18	205.23	0.9555	1.7324
-8	2.17	0.757	92.38	1.321	10.82	189.28	393.78	204.50	0.9605	1.7317
-7	2.25	0.759	89.03	1.318	11.23	190.61	394.37	203.77	0.9655	1.7310
-6	2.34	0.761	85.83	1.315	11.65	191.94	394.97	203.03	0.9705	1.7304
-5	2.43	0.763	82.76	1.311	12.08	193.27	395.56	202.29	0.9754	1.7297
-4	2.53	0.765	79.83	1.308	12.53	194.61	396.15	201.54	0.9804	1.7291
-3	2.62	0.766	77.02	1.305	12.98	195.95	396.74	200.79	0.9853	1.7285
-2	2.72	0.768	74.33	1.301	13.45	197.30	397.32	200.03	0.9902	1.7279
-1	2.82	0.770	71.75	1.298	13.94	198.64	397.91	199.27	0.9951	1.7273

Sol Kane® 134a

Release 1.05

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
0	2.93	0.772	69.28	1.295	14.43	200.00	398.49	198.49	1.0000	1.7267
1	3.04	0.774	66.91	1.291	14.95	201.35	399.07	197.72	1.0049	1.7262
2	3.15	0.776	64.64	1.288	15.47	202.70	399.65	196.95	1.0098	1.7256
3	3.26	0.778	62.46	1.285	16.01	204.06	400.22	196.16	1.0146	1.7251
4	3.38	0.780	60.36	1.281	16.57	205.42	400.80	195.38	1.0195	1.7246
5	3.50	0.782	58.35	1.278	17.14	206.79	401.37	194.58	1.0243	1.7241
6	3.62	0.785	56.42	1.275	17.72	208.15	401.94	193.78	1.0292	1.7236
7	3.75	0.787	54.57	1.271	18.33	209.52	402.50	192.98	1.0340	1.7231
8	3.88	0.789	52.79	1.268	18.94	210.90	403.07	192.17	1.0388	1.7226
9	4.01	0.791	51.08	1.264	19.58	212.27	403.63	191.36	1.0436	1.7221
10	4.15	0.793	49.43	1.261	20.23	213.65	404.19	190.54	1.0484	1.7217
11	4.29	0.795	47.84	1.257	20.90	215.03	404.74	189.71	1.0532	1.7212
12	4.43	0.798	46.32	1.254	21.59	216.42	405.30	188.88	1.0580	1.7208
13	4.58	0.800	44.85	1.250	22.29	217.80	405.85	188.04	1.0627	1.7204
14	4.73	0.802	43.44	1.247	23.02	219.19	406.39	187.20	1.0675	1.7200
15	4.88	0.804	42.08	1.243	23.76	220.58	406.94	186.35	1.0723	1.7196
16	5.04	0.807	40.77	1.240	24.53	221.98	407.48	185.50	1.0770	1.7192
17	5.21	0.809	39.51	1.236	25.31	223.38	408.02	184.64	1.0818	1.7188
18	5.37	0.811	38.30	1.232	26.11	224.78	408.55	183.77	1.0865	1.7184
19	5.54	0.814	37.12	1.229	26.94	226.18	409.08	182.90	1.0912	1.7180
20	5.72	0.816	35.99	1.225	27.78	227.59	409.61	182.02	1.0960	1.7176
21	5.90	0.819	34.91	1.221	28.65	229.00	410.14	181.14	1.1007	1.7172
22	6.08	0.821	33.85	1.218	29.54	230.41	410.66	180.25	1.1054	1.7169
23	6.27	0.824	32.84	1.214	30.45	231.83	411.18	179.35	1.1101	1.7165
24	6.46	0.826	31.86	1.210	31.39	233.25	411.69	178.44	1.1148	1.7162
25	6.65	0.829	30.91	1.206	32.35	234.67	412.20	177.53	1.1195	1.7158
26	6.85	0.832	30.00	1.202	33.33	236.09	412.71	176.61	1.1242	1.7155
27	7.06	0.834	29.12	1.199	34.34	237.52	413.21	175.69	1.1289	1.7151
28	7.27	0.837	28.27	1.195	35.38	238.96	413.71	174.75	1.1336	1.7148
29	7.48	0.840	27.44	1.191	36.44	240.39	414.20	173.81	1.1383	1.7144
30	7.70	0.842	26.65	1.187	37.53	241.83	414.69	172.86	1.1429	1.7141
31	7.93	0.845	25.88	1.183	38.64	243.27	415.18	171.91	1.1476	1.7138
32	8.15	0.848	25.13	1.179	39.79	244.72	415.66	170.94	1.1523	1.7134
33	8.39	0.851	24.41	1.175	40.96	246.17	416.14	169.97	1.1570	1.7131
34	8.63	0.854	23.72	1.171	42.16	247.62	416.61	168.99	1.1616	1.7128
35	8.87	0.857	23.04	1.167	43.40	249.08	417.07	168.00	1.1663	1.7124
36	9.12	0.860	22.39	1.163	44.66	250.54	417.54	167.00	1.1710	1.7121
37	9.37	0.863	21.76	1.159	45.96	252.01	417.99	165.99	1.1757	1.7118
38	9.63	0.866	21.15	1.155	47.29	253.48	418.44	164.97	1.1804	1.7114
39	9.90	0.869	20.55	1.150	48.66	254.95	418.89	163.94	1.1850	1.7111
40	10.17	0.872	19.98	1.146	50.06	256.43	419.33	162.90	1.1897	1.7107
41	10.44	0.876	19.42	1.142	51.49	257.91	419.76	161.85	1.1944	1.7104
42	10.72	0.879	18.88	1.138	52.97	259.40	420.19	160.79	1.1991	1.7100
43	11.01	0.882	18.36	1.133	54.48	260.90	420.61	159.72	1.2038	1.7097
44	11.30	0.886	17.85	1.129	56.03	262.40	421.03	158.63	1.2085	1.7093
45	11.60	0.889	17.36	1.125	57.62	263.90	421.44	157.54	1.2132	1.7090
46	11.90	0.893	16.88	1.120	59.25	265.41	421.84	156.43	1.2179	1.7086
47	12.21	0.896	16.41	1.116	60.92	266.93	422.24	155.31	1.2226	1.7082
48	12.53	0.900	15.96	1.111	62.64	268.45	422.63	154.17	1.2273	1.7078
49	12.85	0.904	15.53	1.107	64.40	269.98	423.01	153.02	1.2320	1.7075

Solkane® 134a

Release 1.05

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
50	13.18	0.908	15.10	1.102	66.21	271.52	423.38	151.86	1.2367	1.7071
51	13.51	0.911	14.69	1.097	68.07	273.07	423.75	150.68	1.2415	1.7066
52	13.85	0.915	14.29	1.093	69.98	274.62	424.10	149.49	1.2462	1.7062
53	14.20	0.919	13.90	1.088	71.94	276.18	424.45	148.28	1.2510	1.7058
54	14.55	0.923	13.52	1.083	73.95	277.74	424.79	147.05	1.2557	1.7053
55	14.92	0.928	13.15	1.078	76.02	279.32	425.12	145.81	1.2605	1.7049
56	15.28	0.932	12.80	1.073	78.15	280.90	425.44	144.54	1.2653	1.7044
57	15.66	0.936	12.45	1.068	80.34	282.49	425.76	143.26	1.2701	1.7039
58	16.04	0.941	12.11	1.063	82.59	284.10	426.06	141.96	1.2749	1.7034
59	16.42	0.945	11.78	1.058	84.90	285.71	426.35	140.64	1.2797	1.7029
60	16.82	0.950	11.46	1.053	87.28	287.33	426.63	139.30	1.2845	1.7024
61	17.22	0.955	11.15	1.047	89.72	288.96	426.90	137.94	1.2894	1.7018
62	17.63	0.960	10.84	1.042	92.24	290.60	427.15	136.55	1.2942	1.7012
63	18.04	0.965	10.54	1.037	94.84	292.26	427.40	135.14	1.2991	1.7006
64	18.47	0.970	10.26	1.031	97.51	293.92	427.63	133.71	1.3040	1.7000
65	18.90	0.975	9.97	1.026	100.27	295.60	427.84	132.25	1.3089	1.6994
66	19.34	0.980	9.70	1.020	103.11	297.29	428.05	130.76	1.3138	1.6987
67	19.78	0.986	9.43	1.014	106.04	298.99	428.24	129.25	1.3188	1.6980
68	20.24	0.992	9.17	1.008	109.06	300.71	428.41	127.70	1.3237	1.6973
69	20.70	0.998	8.91	1.002	112.19	302.44	428.57	126.13	1.3287	1.6965
70	21.17	1.004	8.66	0.996	115.41	304.18	428.71	124.52	1.3337	1.6957
71	21.65	1.010	8.42	0.990	118.75	305.94	428.83	122.88	1.3387	1.6949
72	22.13	1.016	8.18	0.984	122.20	307.72	428.93	121.21	1.3438	1.6940
73	22.63	1.023	7.95	0.978	125.77	309.51	429.01	119.50	1.3489	1.6931
74	23.13	1.030	7.72	0.971	129.47	311.32	429.07	117.76	1.3539	1.6921
75	23.64	1.037	7.50	0.964	133.30	313.14	429.11	115.97	1.3590	1.6911
76	24.16	1.044	7.28	0.958	137.28	314.99	429.13	114.14	1.3642	1.6901
77	24.69	1.052	7.07	0.951	141.42	316.85	429.12	112.27	1.3693	1.6890
78	25.23	1.060	6.86	0.944	145.71	318.73	429.08	110.35	1.3745	1.6878
79	25.78	1.068	6.66	0.936	150.19	320.64	429.02	108.38	1.3797	1.6866
80	26.33	1.077	6.46	0.929	154.85	322.56	428.93	106.37	1.3850	1.6852
81	26.90	1.086	6.26	0.921	159.71	324.50	428.80	104.30	1.3903	1.6839
82	27.47	1.095	6.07	0.913	164.79	326.47	428.64	102.17	1.3955	1.6824
83	28.06	1.105	5.88	0.905	170.11	328.46	428.44	99.98	1.4009	1.6809
84	28.65	1.116	5.69	0.896	175.69	330.47	428.19	97.72	1.4062	1.6792
85	29.26	1.127	5.51	0.888	181.54	332.51	427.91	95.40	1.4116	1.6775
86	29.87	1.138	5.33	0.879	187.71	334.57	427.57	93.01	1.4170	1.6756
87	30.50	1.151	5.15	0.869	194.22	336.66	427.19	90.53	1.4225	1.6736
88	31.14	1.164	4.97	0.859	201.11	338.77	426.74	87.97	1.4280	1.6715
89	31.78	1.178	4.80	0.849	208.42	340.91	426.23	85.31	1.4335	1.6692
90	32.44	1.193	4.63	0.838	216.21	343.08	425.64	82.56	1.4391	1.6667
91	33.11	1.210	4.45	0.827	224.56	345.28	424.97	79.69	1.4447	1.6641
92	33.79	1.228	4.28	0.814	233.54	347.52	424.20	76.69	1.4503	1.6611
93	34.49	1.248	4.11	0.801	243.26	349.78	423.33	73.55	1.4560	1.6579
94	35.19	1.270	3.94	0.788	253.90	352.07	422.31	70.24	1.4617	1.6544
95	35.91	1.295	3.76	0.772	265.66	354.40	421.13	66.73	1.4675	1.6504
96	36.64	1.324	3.59	0.755	278.91	356.76	419.73	62.96	1.4733	1.6459
97	37.39	1.358	3.40	0.736	294.32	359.16	417.99	58.84	1.4791	1.6405

12.1.5 Solkane® 227

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-60	0.097	0.605	1068.18	1.652	0.94	137.89	285.75	147.85	0.7447	1.4383
-59	0.103	0.606	1003.38	1.650	1.00	138.84	286.37	147.53	0.7491	1.4380
-58	0.110	0.607	943.08	1.648	1.06	139.80	286.99	147.19	0.7536	1.4377
-57	0.118	0.608	887.08	1.645	1.13	140.76	287.61	146.85	0.7580	1.4374
-56	0.126	0.609	834.97	1.643	1.20	141.72	288.24	146.52	0.7624	1.4372
-55	0.134	0.610	786.45	1.641	1.27	142.68	288.86	146.19	0.7668	1.4370
-54	0.143	0.610	741.22	1.638	1.35	143.64	289.49	145.85	0.7712	1.4368
-53	0.152	0.611	699.05	1.636	1.43	144.61	290.12	145.51	0.7756	1.4366
-52	0.162	0.612	659.69	1.633	1.52	145.58	290.75	145.17	0.7800	1.4365
-51	0.172	0.613	622.93	1.631	1.61	146.55	291.38	144.83	0.7844	1.4364
-50	0.183	0.614	588.58	1.628	1.70	147.52	292.01	144.49	0.7888	1.4363
-49	0.194	0.615	556.46	1.626	1.80	148.50	292.64	144.14	0.7932	1.4362
-48	0.206	0.616	526.40	1.623	1.90	149.48	293.28	143.79	0.7975	1.4362
-47	0.218	0.617	498.26	1.621	2.01	150.47	293.91	143.44	0.8019	1.4362
-46	0.231	0.618	471.89	1.618	2.12	151.46	294.55	143.09	0.8062	1.4362
-45	0.245	0.619	447.17	1.616	2.24	152.45	295.18	142.74	0.8106	1.4362
-44	0.259	0.620	423.98	1.613	2.36	153.44	295.82	142.38	0.8149	1.4363
-43	0.274	0.621	402.21	1.610	2.49	154.44	296.46	142.02	0.8193	1.4363
-42	0.290	0.622	381.76	1.608	2.62	155.44	297.10	141.66	0.8236	1.4364
-41	0.307	0.623	362.54	1.605	2.76	156.44	297.74	141.30	0.8279	1.4366
-40	0.324	0.624	344.48	1.603	2.90	157.44	298.38	140.93	0.8322	1.4367
-39	0.342	0.625	327.47	1.600	3.05	158.45	299.02	140.57	0.8365	1.4369
-38	0.361	0.626	311.47	1.597	3.21	159.46	299.66	140.20	0.8408	1.4370
-37	0.380	0.627	296.39	1.594	3.37	160.48	300.30	139.82	0.8451	1.4372
-36	0.401	0.628	282.18	1.592	3.54	161.49	300.94	139.45	0.8494	1.4375
-35	0.422	0.629	268.78	1.589	3.72	162.51	301.59	139.07	0.8537	1.4377
-34	0.444	0.630	256.14	1.586	3.90	163.53	302.23	138.70	0.8580	1.4379
-33	0.467	0.631	244.20	1.584	4.09	164.56	302.87	138.31	0.8623	1.4382
-32	0.491	0.633	232.93	1.581	4.29	165.59	303.52	137.93	0.8666	1.4385
-31	0.517	0.634	222.28	1.578	4.50	166.62	304.17	137.54	0.8708	1.4388
-30	0.543	0.635	212.21	1.575	4.71	167.66	304.81	137.15	0.8751	1.4391
-29	0.570	0.636	202.69	1.572	4.93	168.70	305.46	136.76	0.8793	1.4395
-28	0.598	0.637	193.67	1.570	5.16	169.74	306.10	136.37	0.8836	1.4398
-27	0.628	0.638	185.14	1.567	5.40	170.78	306.75	135.97	0.8878	1.4402
-26	0.658	0.639	177.05	1.564	5.65	171.83	307.40	135.57	0.8920	1.4406
-25	0.690	0.641	169.39	1.561	5.90	172.87	308.05	135.17	0.8963	1.4410
-24	0.723	0.642	162.12	1.558	6.17	173.93	308.70	134.77	0.9005	1.4414
-23	0.757	0.643	155.23	1.555	6.44	174.98	309.34	134.36	0.9047	1.4418
-22	0.792	0.644	148.68	1.552	6.73	176.04	309.99	133.95	0.9089	1.4423
-21	0.829	0.646	142.47	1.549	7.02	177.10	310.64	133.54	0.9131	1.4427
-20	0.867	0.647	136.57	1.546	7.32	178.16	311.29	133.13	0.9173	1.4432
-19	0.906	0.648	130.96	1.543	7.64	179.23	311.94	132.71	0.9215	1.4437
-18	0.947	0.649	125.63	1.540	7.96	180.30	312.59	132.29	0.9257	1.4442
-17	0.989	0.651	120.56	1.537	8.29	181.37	313.24	131.87	0.9299	1.4447
-16	1.033	0.652	115.73	1.534	8.64	182.44	313.89	131.45	0.9340	1.4452
-15	1.078	0.653	111.14	1.531	9.00	183.52	314.54	131.02	0.9382	1.4458
-14	1.125	0.655	106.76	1.528	9.37	184.60	315.19	130.59	0.9424	1.4463
-13	1.173	0.656	102.59	1.525	9.75	185.68	315.84	130.16	0.9465	1.4469
-12	1.223	0.657	98.62	1.521	10.14	186.77	316.49	129.72	0.9507	1.4474
-11	1.274	0.659	94.83	1.518	10.54	187.86	317.14	129.28	0.9548	1.4480

Solkane® 227

Release 1.02

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
-10	1.328	0.660	91.22	1.515	10.96	188.95	317.79	128.84	0.9590	1.4486
-9	1.383	0.661	87.77	1.512	11.39	190.04	318.44	128.40	0.9631	1.4492
-8	1.439	0.663	84.48	1.509	11.84	191.14	319.09	127.95	0.9672	1.4498
-7	1.498	0.664	81.33	1.505	12.29	192.24	319.74	127.50	0.9714	1.4504
-6	1.558	0.666	78.33	1.502	12.77	193.34	320.38	127.05	0.9755	1.4510
-5	1.620	0.667	75.46	1.499	13.25	194.44	321.03	126.59	0.9796	1.4517
-4	1.684	0.669	72.72	1.495	13.75	195.55	321.68	126.13	0.9837	1.4523
-3	1.750	0.670	70.09	1.492	14.27	196.66	322.33	125.67	0.9878	1.4530
-2	1.818	0.672	67.58	1.489	14.80	197.77	322.98	125.21	0.9919	1.4537
-1	1.888	0.673	65.18	1.485	15.34	198.89	323.63	124.74	0.9960	1.4543
0	1.960	0.675	62.88	1.482	15.90	200.00	324.27	124.27	1.0000	1.4550
1	2.035	0.676	60.68	1.479	16.48	201.13	324.92	123.79	1.0041	1.4557
2	2.111	0.678	58.56	1.475	17.08	202.25	325.57	123.32	1.0082	1.4564
3	2.190	0.680	56.54	1.472	17.69	203.38	326.21	122.83	1.0123	1.4571
4	2.270	0.681	54.60	1.468	18.31	204.51	326.86	122.35	1.0163	1.4578
5	2.353	0.683	52.74	1.465	18.96	205.64	327.50	121.86	1.0204	1.4585
6	2.439	0.684	50.96	1.461	19.62	206.77	328.15	121.37	1.0244	1.4592
7	2.526	0.686	49.25	1.457	20.31	207.91	328.79	120.88	1.0285	1.4600
8	2.616	0.688	47.60	1.454	21.01	209.05	329.43	120.38	1.0325	1.4607
9	2.709	0.690	46.03	1.450	21.73	210.19	330.07	119.88	1.0366	1.4615
10	2.804	0.691	44.51	1.446	22.47	211.33	330.71	119.38	1.0406	1.4622
11	2.901	0.693	43.05	1.443	23.23	212.48	331.36	118.87	1.0446	1.4630
12	3.001	0.695	41.65	1.439	24.01	213.63	332.00	118.36	1.0486	1.4637
13	3.104	0.697	40.31	1.435	24.81	214.79	332.63	117.85	1.0526	1.4645
14	3.209	0.699	39.01	1.432	25.63	215.94	333.27	117.33	1.0566	1.4653
15	3.317	0.700	37.77	1.428	26.48	217.10	333.91	116.81	1.0606	1.4660
16	3.428	0.702	36.57	1.424	27.34	218.26	334.55	116.28	1.0646	1.4668
17	3.542	0.704	35.42	1.420	28.23	219.42	335.18	115.76	1.0686	1.4676
18	3.658	0.706	34.31	1.416	29.15	220.59	335.81	115.22	1.0726	1.4684
19	3.777	0.708	33.24	1.412	30.09	221.76	336.45	114.69	1.0766	1.4692
20	3.899	0.710	32.21	1.408	31.05	222.93	337.08	114.15	1.0806	1.4700
21	4.024	0.712	31.22	1.404	32.03	224.11	337.71	113.60	1.0845	1.4707
22	4.152	0.714	30.26	1.400	33.05	225.29	338.34	113.05	1.0885	1.4715
23	4.284	0.716	29.34	1.396	34.09	226.47	338.97	112.50	1.0925	1.4723
24	4.418	0.718	28.45	1.392	35.15	227.65	339.59	111.94	1.0964	1.4732
25	4.555	0.720	27.59	1.388	36.24	228.84	340.22	111.38	1.1004	1.4740
26	4.696	0.723	26.76	1.384	37.37	230.03	340.84	110.81	1.1043	1.4748
27	4.840	0.725	25.96	1.380	38.52	231.22	341.46	110.24	1.1083	1.4756
28	4.987	0.727	25.19	1.376	39.70	232.42	342.08	109.67	1.1122	1.4764
29	5.138	0.729	24.45	1.371	40.91	233.61	342.70	109.09	1.1162	1.4772
30	5.292	0.732	23.73	1.367	42.15	234.82	343.32	108.50	1.1201	1.4780
31	5.449	0.734	23.03	1.363	43.42	236.02	343.93	107.91	1.1240	1.4788
32	5.610	0.736	22.36	1.358	44.72	237.23	344.55	107.32	1.1280	1.4796
33	5.774	0.739	21.71	1.354	46.06	238.44	345.16	106.72	1.1319	1.4805
34	5.942	0.741	21.08	1.349	47.43	239.65	345.77	106.11	1.1358	1.4813
35	6.114	0.744	20.48	1.345	48.84	240.87	346.37	105.50	1.1397	1.4821
36	6.289	0.746	19.89	1.340	50.28	242.09	346.98	104.88	1.1436	1.4829
37	6.468	0.749	19.32	1.336	51.76	243.32	347.58	104.26	1.1475	1.4837
38	6.651	0.751	18.77	1.331	53.28	244.55	348.18	103.63	1.1514	1.4845
39	6.838	0.754	18.24	1.327	54.83	245.78	348.78	103.00	1.1554	1.4853

Solkan® 227

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
40	7.029	0.756	17.72	1.322	56.43	247.01	349.37	102.36	1.1593	1.4861
41	7.223	0.759	17.22	1.317	58.07	248.25	349.96	101.71	1.1632	1.4869
42	7.422	0.762	16.74	1.312	59.75	249.49	350.55	101.06	1.1671	1.4877
43	7.625	0.765	16.27	1.308	61.47	250.74	351.14	100.40	1.1710	1.4885
44	7.832	0.768	15.81	1.303	63.24	251.99	351.72	99.73	1.1749	1.4893
45	8.043	0.771	15.37	1.298	65.05	253.24	352.30	99.06	1.1788	1.4901
46	8.258	0.773	14.95	1.293	66.91	254.50	352.88	98.38	1.1826	1.4909
47	8.478	0.776	14.53	1.288	68.82	255.76	353.45	97.69	1.1865	1.4917
48	8.702	0.780	14.13	1.283	70.78	257.03	354.02	96.99	1.1904	1.4925
49	8.930	0.783	13.74	1.278	72.79	258.30	354.59	96.29	1.1943	1.4932
50	9.163	0.786	13.36	1.272	74.85	259.58	355.15	95.57	1.1982	1.4940
51	9.401	0.789	12.99	1.267	76.97	260.86	355.71	94.85	1.2021	1.4947
52	9.643	0.792	12.64	1.262	79.14	262.14	356.26	94.12	1.2060	1.4955
53	9.890	0.796	12.29	1.257	81.38	263.43	356.81	93.38	1.2099	1.4962
54	10.141	0.799	11.95	1.251	83.67	264.72	357.36	92.63	1.2138	1.4970
55	10.398	0.803	11.62	1.246	86.03	266.02	357.90	91.87	1.2177	1.4977
56	10.659	0.806	11.31	1.240	88.46	267.33	358.43	91.10	1.2216	1.4984
57	10.925	0.810	11.00	1.234	90.95	268.64	358.96	90.32	1.2255	1.4991
58	11.196	0.814	10.69	1.229	93.51	269.95	359.49	89.53	1.2295	1.4998
59	11.472	0.818	10.40	1.223	96.14	271.28	360.01	88.73	1.2334	1.5005
60	11.754	0.822	10.12	1.217	98.85	272.60	360.52	87.92	1.2373	1.5012
61	12.040	0.826	9.84	1.211	101.64	273.94	361.03	87.09	1.2412	1.5019
62	12.332	0.830	9.57	1.205	104.51	275.28	361.53	86.25	1.2452	1.5025
63	12.629	0.834	9.31	1.199	107.46	276.63	362.02	85.40	1.2491	1.5031
64	12.932	0.838	9.05	1.193	110.51	277.98	362.51	84.53	1.2530	1.5038
65	13.240	0.843	8.80	1.187	113.64	279.34	362.99	83.65	1.2570	1.5044
66	13.554	0.847	8.56	1.180	116.88	280.71	363.46	82.75	1.2610	1.5049
67	13.873	0.852	8.32	1.174	120.21	282.08	363.92	81.84	1.2649	1.5055
68	14.198	0.857	8.09	1.167	123.65	283.47	364.37	80.91	1.2689	1.5061
69	14.529	0.862	7.86	1.160	127.20	284.86	364.82	79.96	1.2729	1.5066
70	14.866	0.867	7.64	1.154	130.87	286.26	365.25	78.99	1.2769	1.5071
71	15.209	0.872	7.43	1.147	134.67	287.67	365.68	78.00	1.2809	1.5076
72	15.557	0.877	7.22	1.140	138.59	289.09	366.09	77.00	1.2850	1.5080
73	15.913	0.883	7.01	1.133	142.65	290.52	366.49	75.97	1.2890	1.5085
74	16.274	0.889	6.81	1.125	146.85	291.96	366.88	74.92	1.2931	1.5089
75	16.642	0.895	6.61	1.118	151.21	293.41	367.26	73.84	1.2971	1.5092
76	17.016	0.901	6.42	1.110	155.73	294.88	367.62	72.74	1.3012	1.5096
77	17.396	0.907	6.23	1.102	160.43	296.35	367.96	71.61	1.3054	1.5099
78	17.784	0.914	6.05	1.094	165.31	297.84	368.29	70.45	1.3095	1.5101
79	18.178	0.921	5.87	1.086	170.39	299.34	368.61	69.27	1.3137	1.5104
80	18.579	0.928	5.69	1.078	175.68	300.85	368.90	68.04	1.3179	1.5105
81	18.987	0.935	5.52	1.069	181.20	302.38	369.17	66.79	1.3221	1.5107
82	19.402	0.943	5.35	1.061	186.97	303.93	369.42	65.49	1.3263	1.5107
83	19.824	0.951	5.18	1.052	193.01	305.50	369.65	64.16	1.3306	1.5108
84	20.253	0.959	5.02	1.042	199.35	307.08	369.85	62.77	1.3349	1.5107
85	20.690	0.968	4.85	1.033	206.00	308.68	370.02	61.34	1.3393	1.5106
86	21.135	0.978	4.69	1.023	213.01	310.30	370.16	59.86	1.3437	1.5104
87	21.587	0.988	4.54	1.012	220.41	311.95	370.27	58.32	1.3482	1.5101
88	22.047	0.998	4.38	1.002	228.24	313.62	370.33	56.71	1.3527	1.5097
89	22.516	1.009	4.23	0.991	236.57	315.32	370.35	55.03	1.3572	1.5092

Solkane® 227

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
90	22.992	1.021	4.07	0.979	245.45	317.05	370.32	53.27	1.3619	1.5086
91	23.477	1.034	3.92	0.967	254.97	318.82	370.23	51.42	1.3666	1.5078
92	23.970	1.048	3.77	0.954	265.23	320.62	370.07	49.46	1.3714	1.5068
93	24.472	1.064	3.62	0.940	276.37	322.46	369.83	47.37	1.3763	1.5057
94	24.983	1.081	3.47	0.925	288.55	324.36	369.50	45.14	1.3813	1.5043
95	25.503	1.099	3.31	0.910	302.04	326.31	369.04	42.73	1.3865	1.5025
96	26.032	1.121	3.15	0.892	317.17	328.34	368.43	40.09	1.3918	1.5004
97	26.572	1.145	2.99	0.873	334.52	330.46	367.61	37.15	1.3974	1.4977
98	27.121	1.175	2.82	0.851	355.06	332.70	366.48	33.79	1.4032	1.4943

12.1.6 Solkane® 404A

Release 1.03

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	v* [dm³/kg]	v'' [dm³/kg]	ρ' [kg/dm³]	ρ'' [kg/m³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg-K]	s'' [kJ/kg-K]
-60	0.498	0.475	0.742	371.99	1.348	2.688	122.48	331.69	209.21	0.680	1.667
-59	0.526	0.502	0.744	352.96	1.345	2.833	123.72	332.30	208.58	0.686	1.665
-58	0.556	0.531	0.745	335.09	1.342	2.984	124.95	332.91	207.96	0.692	1.663
-57	0.587	0.561	0.747	318.30	1.339	3.142	126.18	333.52	207.34	0.697	1.662
-56	0.619	0.592	0.748	302.52	1.336	3.306	127.41	334.13	206.72	0.703	1.660
-55	0.652	0.625	0.750	287.67	1.333	3.476	128.63	334.74	206.10	0.709	1.658
-54	0.687	0.659	0.752	273.70	1.330	3.654	129.86	335.35	205.49	0.714	1.657
-53	0.724	0.694	0.754	260.54	1.327	3.838	131.08	335.95	204.88	0.720	1.655
-52	0.762	0.731	0.755	248.14	1.324	4.030	132.30	336.56	204.26	0.725	1.653
-51	0.801	0.770	0.757	236.45	1.321	4.229	133.52	337.17	203.65	0.731	1.652
-50	0.842	0.810	0.759	225.42	1.318	4.436	134.74	337.77	203.03	0.737	1.650
-49	0.885	0.852	0.760	215.00	1.315	4.651	135.96	338.38	202.42	0.742	1.649
-48	0.930	0.895	0.762	205.17	1.312	4.874	137.18	338.98	201.80	0.748	1.648
-47	0.976	0.940	0.764	195.87	1.309	5.105	138.40	339.58	201.18	0.753	1.646
-46	1.024	0.987	0.766	187.08	1.306	5.345	139.63	340.18	200.55	0.759	1.645
-45	1.074	1.036	0.768	178.77	1.303	5.594	140.85	340.78	199.93	0.765	1.643
-44	1.126	1.087	0.769	170.90	1.300	5.852	142.08	341.38	199.30	0.770	1.642
-43	1.179	1.140	0.771	163.44	1.297	6.118	143.32	341.98	198.66	0.776	1.641
-42	1.235	1.194	0.773	156.38	1.294	6.395	144.55	342.57	198.02	0.781	1.640
-41	1.293	1.251	0.775	149.68	1.290	6.681	145.79	343.17	197.38	0.787	1.639
-40	1.353	1.309	0.777	143.33	1.287	6.977	147.03	343.76	196.73	0.792	1.637
-39	1.415	1.370	0.779	137.31	1.284	7.283	148.28	344.35	196.07	0.798	1.636
-38	1.479	1.433	0.781	131.59	1.281	7.600	149.53	344.94	195.41	0.803	1.635
-37	1.545	1.498	0.783	126.15	1.278	7.927	150.78	345.53	194.75	0.808	1.634
-36	1.614	1.566	0.784	120.99	1.275	8.265	152.04	346.12	194.08	0.814	1.633
-35	1.685	1.636	0.786	116.08	1.272	8.615	153.30	346.71	193.40	0.819	1.632
-34	1.758	1.708	0.788	111.41	1.268	8.976	154.57	347.29	192.72	0.825	1.631
-33	1.834	1.783	0.790	106.97	1.265	9.349	155.84	347.87	192.03	0.830	1.630
-32	1.913	1.860	0.792	102.74	1.262	9.734	157.12	348.45	191.34	0.836	1.629
-31	1.994	1.940	0.795	98.71	1.259	10.131	158.40	349.03	190.63	0.841	1.628
-30	2.077	2.022	0.797	94.87	1.255	10.541	159.68	349.61	189.93	0.846	1.627
-29	2.164	2.107	0.799	91.21	1.252	10.964	160.97	350.18	189.21	0.852	1.626
-28	2.253	2.195	0.801	87.72	1.249	11.400	162.27	350.76	188.49	0.857	1.625
-27	2.345	2.285	0.803	84.39	1.246	11.850	163.57	351.33	187.76	0.862	1.625
-26	2.439	2.379	0.805	81.21	1.242	12.313	164.87	351.90	187.03	0.867	1.624
-25	2.537	2.475	0.807	78.18	1.239	12.791	166.18	352.47	186.28	0.873	1.623
-24	2.638	2.574	0.809	75.28	1.236	13.283	167.50	353.03	185.54	0.878	1.622
-23	2.741	2.676	0.812	72.51	1.232	13.790	168.81	353.59	184.78	0.883	1.621
-22	2.848	2.782	0.814	69.87	1.229	14.313	170.14	354.16	184.02	0.888	1.621
-21	2.958	2.890	0.816	67.34	1.225	14.851	171.46	354.71	183.25	0.894	1.620
-20	3.071	3.002	0.818	64.92	1.222	15.405	172.80	355.27	182.47	0.899	1.619
-19	3.187	3.117	0.821	62.60	1.219	15.975	174.13	355.82	181.69	0.904	1.618
-18	3.307	3.235	0.823	60.38	1.215	16.562	175.47	356.38	180.90	0.909	1.618
-17	3.430	3.357	0.825	58.26	1.212	17.166	176.82	356.92	180.11	0.914	1.617
-16	3.556	3.482	0.828	56.22	1.208	17.787	178.17	357.47	179.30	0.920	1.616
-15	3.686	3.610	0.830	54.27	1.205	18.427	179.52	358.01	178.49	0.925	1.616
-14	3.820	3.742	0.832	52.40	1.201	19.084	180.88	358.55	177.68	0.930	1.615
-13	3.957	3.878	0.835	50.61	1.198	19.760	182.24	359.09	176.85	0.935	1.615
-12	4.098	4.018	0.837	48.89	1.194	20.456	183.60	359.63	176.02	0.940	1.614
-11	4.243	4.161	0.840	47.23	1.191	21.171	184.97	360.16	175.19	0.945	1.613

Solkan® 404A

Release 1.03

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	v' [dm³/kg]	v'' [dm³/kg]	ρ' [kg/dm³]	ρ'' [kg/m³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg-K]	s'' [kJ/kg-K]
-10	4.391	4.308	0.842	45.65	1.187	21.906	186.34	360.69	174.34	0.950	1.613
-9	4.544	4.459	0.845	44.13	1.183	22.662	187.72	361.21	173.49	0.955	1.612
-8	4.700	4.614	0.848	42.66	1.180	23.439	189.10	361.73	172.64	0.960	1.612
-7	4.861	4.773	0.850	41.26	1.176	24.237	190.48	362.25	171.77	0.965	1.611
-6	5.025	4.936	0.853	39.91	1.172	25.057	191.86	362.77	170.91	0.970	1.610
-5	5.194	5.103	0.856	38.61	1.169	25.900	193.25	363.28	170.03	0.975	1.610
-4	5.367	5.274	0.858	37.36	1.165	26.766	194.64	363.79	169.15	0.980	1.609
-3	5.544	5.450	0.861	36.16	1.161	27.656	196.04	364.29	168.26	0.985	1.609
-2	5.726	5.630	0.864	35.00	1.157	28.570	197.43	364.79	167.36	0.990	1.608
-1	5.912	5.815	0.867	33.89	1.154	29.509	198.83	365.29	166.46	0.995	1.608
0	6.102	6.004	0.870	32.81	1.150	30.474	200.00	365.78	165.78	1.000	1.607
1	6.297	6.197	0.873	31.78	1.146	31.465	201.64	366.27	164.63	1.005	1.607
2	6.497	6.395	0.876	30.79	1.142	32.482	203.05	366.76	163.71	1.010	1.606
3	6.702	6.598	0.879	29.83	1.138	33.527	204.46	367.24	162.78	1.015	1.606
4	6.911	6.806	0.882	28.90	1.134	34.600	205.87	367.71	161.84	1.020	1.605
5	7.125	7.019	0.885	28.01	1.130	35.703	207.28	368.18	160.90	1.025	1.605
6	7.344	7.236	0.888	27.15	1.126	36.835	208.70	368.65	159.95	1.030	1.604
7	7.568	7.459	0.891	26.32	1.122	37.997	210.12	369.11	158.99	1.034	1.604
8	7.797	7.687	0.894	25.52	1.118	39.191	211.55	369.57	158.02	1.039	1.603
9	8.032	7.920	0.898	24.74	1.114	40.417	212.97	370.02	157.05	1.044	1.603
10	8.271	8.158	0.901	23.99	1.110	41.676	214.40	370.46	156.06	1.049	1.603
11	8.516	8.401	0.904	23.27	1.106	42.970	215.83	370.90	155.07	1.054	1.602
12	8.766	8.650	0.908	22.57	1.102	44.298	217.27	371.34	154.07	1.059	1.602
13	9.022	8.904	0.911	21.90	1.098	45.662	218.70	371.77	153.06	1.064	1.601
14	9.283	9.164	0.915	21.25	1.093	47.063	220.14	372.19	152.04	1.069	1.601
15	9.550	9.429	0.918	20.62	1.089	48.502	221.59	372.60	151.02	1.074	1.600
16	9.823	9.701	0.922	20.01	1.085	49.980	223.04	373.01	149.98	1.079	1.600
17	10.101	9.978	0.926	19.42	1.080	51.499	224.49	373.42	148.93	1.084	1.599
18	10.385	10.260	0.929	18.85	1.076	53.060	225.94	373.81	147.87	1.088	1.599
19	10.675	10.549	0.933	18.29	1.071	54.663	227.40	374.20	146.80	1.093	1.598
20	10.972	10.844	0.937	17.76	1.067	56.311	228.87	374.58	145.72	1.098	1.598
21	11.274	11.145	0.941	17.24	1.062	58.004	230.34	374.96	144.62	1.103	1.597
22	11.582	11.452	0.945	16.74	1.058	59.745	231.81	375.33	143.52	1.108	1.597
23	11.897	11.766	0.950	16.25	1.053	61.534	233.29	375.68	142.39	1.113	1.596
24	12.218	12.085	0.954	15.78	1.048	63.374	234.77	376.03	141.26	1.118	1.596
25	12.546	12.412	0.958	15.32	1.044	65.266	236.26	376.37	140.11	1.123	1.595
26	12.880	12.745	0.963	14.88	1.039	67.212	237.76	376.71	138.94	1.128	1.594
27	13.220	13.084	0.967	14.45	1.034	69.214	239.27	377.03	137.76	1.133	1.594
28	13.568	13.430	0.972	14.03	1.029	71.274	240.78	377.34	136.56	1.138	1.593
29	13.922	13.784	0.976	13.63	1.024	73.394	242.30	377.64	135.34	1.143	1.593
30	14.283	14.144	0.981	13.23	1.019	75.577	243.83	377.93	134.10	1.148	1.592
31	14.651	14.511	0.986	12.85	1.014	77.824	245.37	378.22	132.85	1.153	1.591
32	15.026	14.885	0.991	12.48	1.009	80.139	246.92	378.48	131.57	1.158	1.591
33	15.408	15.266	0.996	12.12	1.004	82.524	248.47	378.74	130.27	1.164	1.590
34	15.798	15.655	1.002	11.77	0.998	84.982	250.04	378.99	128.94	1.169	1.589
35	16.195	16.051	1.007	11.43	0.993	87.516	251.63	379.22	127.59	1.174	1.589
36	16.599	16.455	1.013	11.10	0.987	90.129	253.22	379.44	126.22	1.179	1.588
37	17.011	16.866	1.018	10.77	0.982	92.826	254.83	379.64	124.81	1.184	1.587
38	17.431	17.285	1.024	10.46	0.976	95.609	256.45	379.83	123.38	1.190	1.586
39	17.858	17.712	1.030	10.15	0.970	98.484	258.09	380.00	121.92	1.195	1.585

Solkan® 404A

Release 1.03

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg-K]	s'' [kJ/kg-K]
40	18.294	18.146	1.037	9.86	0.965	101.454	259.74	380.16	120.43	1.200	1.584
41	18.737	18.589	1.043	9.57	0.959	104.524	261.41	380.30	118.90	1.206	1.584
42	19.189	19.040	1.050	9.29	0.953	107.700	263.09	380.43	117.33	1.211	1.583
43	19.648	19.499	1.057	9.01	0.946	110.987	264.80	380.53	115.73	1.216	1.582
44	20.116	19.967	1.064	8.74	0.940	114.391	266.53	380.61	114.09	1.222	1.581
45	20.593	20.443	1.071	8.48	0.934	117.918	268.27	380.67	112.40	1.227	1.580
46	21.078	20.928	1.079	8.23	0.927	121.578	270.04	380.71	110.67	1.233	1.578
47	21.572	21.422	1.086	7.98	0.920	125.376	271.83	380.73	108.90	1.238	1.577
48	22.074	21.925	1.095	7.73	0.914	129.323	273.65	380.72	107.07	1.244	1.576
49	22.586	22.436	1.103	7.49	0.907	133.428	275.49	380.69	105.19	1.250	1.575
50	23.107	22.957	1.112	7.26	0.899	137.702	277.36	380.62	103.26	1.255	1.573
51	23.637	23.488	1.121	7.03	0.892	142.157	279.26	380.53	101.26	1.261	1.572
52	24.176	24.027	1.131	6.81	0.884	146.808	281.19	380.40	99.21	1.267	1.570
53	24.725	24.577	1.141	6.59	0.877	151.669	283.15	380.24	97.09	1.273	1.569
54	25.283	25.136	1.151	6.38	0.869	156.758	285.14	380.04	94.89	1.279	1.567
55	25.852	25.706	1.162	6.17	0.860	162.096	287.17	379.79	92.62	1.285	1.565
56	26.430	26.285	1.174	5.96	0.852	167.706	289.23	379.51	90.27	1.291	1.563
57	27.019	26.875	1.187	5.76	0.843	173.614	291.33	379.17	87.84	1.297	1.561
58	27.618	27.476	1.200	5.56	0.833	179.853	293.48	378.78	85.31	1.303	1.559
59	28.228	28.088	1.214	5.36	0.824	186.460	295.66	378.33	82.67	1.309	1.557
60	28.849	28.711	1.229	5.17	0.814	193.480	297.88	377.82	79.93	1.316	1.554
61	29.481	29.345	1.246	4.98	0.803	200.967	300.15	377.23	77.07	1.322	1.551
62	30.124	29.991	1.263	4.78	0.792	208.987	302.47	376.56	74.08	1.328	1.549
63	30.779	30.649	1.283	4.60	0.780	217.626	304.84	375.79	70.95	1.335	1.545
64	31.445	31.320	1.304	4.41	0.767	226.989	307.26	374.90	67.65	1.342	1.542
65	32.125	32.003	1.328	4.22	0.753	237.216	309.73	373.89	64.16	1.348	1.538
66	32.817	32.700	1.355	4.02	0.738	248.497	312.25	372.72	60.47	1.355	1.534
67	33.522	33.411	1.386	3.83	0.722	261.092	314.84	371.36	56.52	1.362	1.529
68	34.241	34.138	1.422	3.63	0.703	275.382	317.48	369.75	52.26	1.369	1.523

12.1.7 Solkane® 407C

Release 1.04

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	v' [dm³/kg]	v'' [dm³/kg]	ρ' [kg/dm³]	ρ'' [kg/m³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-50	0.738	0.502	0.714	418.06	1.400	2.392	132.44	381.96	249.52	0.728	1.866
-49	0.777	0.531	0.716	396.66	1.397	2.521	133.73	382.56	248.83	0.733	1.863
-48	0.817	0.561	0.717	376.57	1.394	2.656	135.02	383.16	248.14	0.739	1.861
-47	0.859	0.593	0.719	357.69	1.391	2.796	136.31	383.76	247.44	0.745	1.858
-46	0.903	0.626	0.720	339.93	1.388	2.942	137.61	384.35	246.75	0.751	1.856
-45	0.948	0.660	0.722	323.23	1.385	3.094	138.90	384.95	246.05	0.757	1.854
-44	0.995	0.696	0.724	307.50	1.382	3.252	140.20	385.54	245.34	0.762	1.851
-43	1.044	0.734	0.725	292.69	1.379	3.417	141.50	386.14	244.64	0.768	1.849
-42	1.095	0.773	0.727	278.72	1.376	3.588	142.80	386.73	243.93	0.774	1.847
-41	1.147	0.814	0.728	265.56	1.373	3.766	144.10	387.32	243.22	0.779	1.844
-40	1.202	0.857	0.730	253.14	1.370	3.950	145.40	387.90	242.50	0.785	1.842
-39	1.259	0.901	0.732	241.41	1.367	4.142	146.71	388.49	241.78	0.791	1.840
-38	1.318	0.947	0.733	230.33	1.363	4.342	148.02	389.07	241.06	0.796	1.838
-37	1.379	0.995	0.735	219.86	1.360	4.548	149.33	389.66	240.33	0.802	1.836
-36	1.442	1.045	0.737	209.96	1.357	4.763	150.65	390.24	239.59	0.808	1.834
-35	1.508	1.097	0.739	200.60	1.354	4.985	151.96	390.82	238.85	0.813	1.832
-34	1.575	1.150	0.740	191.73	1.351	5.216	153.28	391.39	238.11	0.819	1.830
-33	1.645	1.206	0.742	183.33	1.348	5.455	154.61	391.97	237.36	0.825	1.828
-32	1.718	1.264	0.744	175.38	1.345	5.702	155.93	392.54	236.61	0.830	1.826
-31	1.793	1.324	0.745	167.84	1.341	5.958	157.26	393.11	235.85	0.836	1.824
-30	1.871	1.387	0.747	160.68	1.338	6.223	158.60	393.68	235.09	0.841	1.822
-29	1.951	1.452	0.749	153.90	1.335	6.498	159.93	394.25	234.32	0.847	1.820
-28	2.034	1.519	0.751	147.45	1.332	6.782	161.27	394.81	233.54	0.852	1.818
-27	2.119	1.588	0.753	141.33	1.329	7.076	162.61	395.38	232.76	0.858	1.816
-26	2.207	1.660	0.755	135.52	1.325	7.379	163.96	395.94	231.98	0.863	1.815
-25	2.299	1.735	0.756	129.99	1.322	7.693	165.31	396.49	231.19	0.869	1.813
-24	2.393	1.812	0.758	124.73	1.319	8.017	166.66	397.05	230.39	0.874	1.811
-23	2.490	1.891	0.760	119.73	1.315	8.352	168.02	397.60	229.59	0.879	1.809
-22	2.590	1.974	0.762	114.97	1.312	8.698	169.38	398.15	228.78	0.885	1.808
-21	2.693	2.059	0.764	110.43	1.309	9.055	170.74	398.70	227.96	0.890	1.806
-20	2.799	2.147	0.766	106.11	1.306	9.424	172.11	399.25	227.14	0.896	1.805
-19	2.908	2.238	0.768	101.99	1.302	9.805	173.47	399.79	226.31	0.901	1.803
-18	3.021	2.332	0.770	98.07	1.299	10.197	174.85	400.33	225.48	0.906	1.801
-17	3.137	2.429	0.772	94.32	1.296	10.602	176.22	400.87	224.64	0.912	1.800
-16	3.256	2.529	0.774	90.75	1.292	11.019	177.60	401.40	223.80	0.917	1.798
-15	3.379	2.632	0.776	87.34	1.289	11.450	178.99	401.93	222.95	0.922	1.797
-14	3.505	2.738	0.778	84.08	1.285	11.894	180.37	402.46	222.09	0.927	1.795
-13	3.635	2.848	0.780	80.97	1.282	12.351	181.76	402.98	221.22	0.933	1.794
-12	3.768	2.961	0.782	77.99	1.279	12.822	183.15	403.51	220.35	0.938	1.792
-11	3.906	3.078	0.784	75.15	1.275	13.307	184.55	404.03	219.48	0.943	1.791
-10	4.047	3.198	0.786	72.43	1.272	13.807	185.95	404.54	218.60	0.948	1.790
-9	4.191	3.322	0.789	69.82	1.268	14.322	187.35	405.05	217.71	0.954	1.788
-8	4.340	3.449	0.791	67.33	1.265	14.852	188.75	405.56	216.81	0.959	1.787
-7	4.493	3.580	0.793	64.95	1.261	15.397	190.16	406.07	215.91	0.964	1.785
-6	4.650	3.715	0.795	62.66	1.258	15.958	191.57	406.57	215.00	0.969	1.784
-5	4.811	3.853	0.797	60.47	1.254	16.536	192.99	407.07	214.09	0.974	1.783
-4	4.976	3.996	0.800	58.38	1.251	17.131	194.40	407.57	213.17	0.980	1.782
-3	5.145	4.143	0.802	56.36	1.247	17.742	195.82	408.06	212.24	0.985	1.780
-2	5.319	4.293	0.804	54.43	1.243	18.371	197.25	408.55	211.30	0.990	1.779
-1	5.497	4.448	0.807	52.58	1.240	19.018	198.67	409.03	210.36	0.995	1.778

Solkane® 407C

Release 1.04

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	v' [dm³/kg]	v'' [dm³/kg]	ρ' [kg/dm³]	ρ'' [kg/m³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
0	5.679	4.607	0.809	50.81	1.236	19.683	200.00	409.51	209.51	1.000	1.776
1	5.866	4.771	0.811	49.10	1.232	20.366	201.53	409.99	208.46	1.005	1.775
2	6.058	4.938	0.814	47.46	1.229	21.069	202.97	410.46	207.50	1.010	1.774
3	6.254	5.111	0.816	45.89	1.225	21.792	204.40	410.93	206.53	1.015	1.773
4	6.455	5.288	0.819	44.38	1.221	22.534	205.84	411.40	205.55	1.020	1.772
5	6.661	5.469	0.821	42.92	1.218	23.298	207.29	411.86	204.57	1.025	1.770
6	6.872	5.655	0.824	41.53	1.214	24.082	208.73	412.31	203.58	1.030	1.769
7	7.087	5.846	0.826	40.18	1.210	24.887	210.18	412.76	202.58	1.035	1.768
8	7.308	6.042	0.829	38.89	1.206	25.715	211.63	413.21	201.58	1.041	1.767
9	7.534	6.243	0.832	37.64	1.202	26.566	213.09	413.65	200.57	1.046	1.766
10	7.765	6.449	0.834	36.44	1.199	27.439	214.55	414.09	199.54	1.051	1.764
11	8.001	6.660	0.837	35.29	1.195	28.337	216.01	414.52	198.52	1.056	1.763
12	8.243	6.876	0.840	34.18	1.191	29.258	217.47	414.95	197.48	1.061	1.762
13	8.490	7.097	0.843	33.11	1.187	30.205	218.94	415.37	196.44	1.066	1.761
14	8.742	7.324	0.845	32.07	1.183	31.177	220.41	415.79	195.38	1.071	1.760
15	9.000	7.557	0.848	31.08	1.179	32.175	221.88	416.20	194.32	1.076	1.759
16	9.264	7.794	0.851	30.12	1.175	33.200	223.36	416.61	193.25	1.081	1.758
17	9.533	8.038	0.854	29.19	1.171	34.253	224.84	417.01	192.17	1.086	1.757
18	9.808	8.287	0.857	28.30	1.167	35.334	226.32	417.41	191.09	1.091	1.756
19	10.089	8.542	0.860	27.44	1.163	36.444	227.81	417.80	189.99	1.096	1.754
20	10.376	8.803	0.863	26.61	1.159	37.584	229.30	418.18	188.88	1.101	1.753
21	10.669	9.070	0.866	25.80	1.154	38.754	230.80	418.56	187.76	1.106	1.752
22	10.969	9.343	0.869	25.03	1.150	39.956	232.30	418.93	186.63	1.111	1.751
23	11.274	9.623	0.873	24.28	1.146	41.190	233.80	419.30	185.50	1.116	1.750
24	11.585	9.908	0.876	23.55	1.142	42.457	235.31	419.65	184.35	1.121	1.749
25	11.903	10.200	0.879	22.85	1.137	43.758	236.82	420.01	183.19	1.126	1.748
26	12.228	10.498	0.883	22.18	1.133	45.094	238.34	420.35	182.01	1.131	1.747
27	12.558	10.803	0.886	21.52	1.129	46.466	239.86	420.69	180.83	1.136	1.746
28	12.896	11.115	0.889	20.89	1.124	47.875	241.39	421.02	179.63	1.141	1.745
29	13.240	11.433	0.893	20.27	1.120	49.323	242.92	421.34	178.42	1.146	1.743
30	13.591	11.759	0.897	19.68	1.115	50.809	244.46	421.66	177.20	1.151	1.742
31	13.948	12.091	0.900	19.11	1.111	52.336	246.00	421.97	175.96	1.156	1.741
32	14.313	12.430	0.904	18.55	1.106	53.905	247.55	422.26	174.71	1.161	1.740
33	14.685	12.777	0.908	18.01	1.102	55.517	249.11	422.56	173.45	1.166	1.739
34	15.063	13.131	0.912	17.49	1.097	57.173	250.67	422.84	172.16	1.171	1.738
35	15.449	13.492	0.916	16.99	1.092	58.874	252.24	423.11	170.87	1.176	1.737
36	15.842	13.861	0.920	16.50	1.087	60.623	253.82	423.38	169.55	1.181	1.736
37	16.243	14.237	0.924	16.02	1.083	62.421	255.41	423.63	168.22	1.186	1.734
38	16.651	14.621	0.928	15.56	1.078	64.269	257.00	423.87	166.87	1.191	1.733
39	17.066	15.013	0.932	15.11	1.073	66.170	258.60	424.11	165.50	1.196	1.732
40	17.489	15.413	0.937	14.68	1.068	68.124	260.22	424.33	164.12	1.201	1.731
41	17.920	15.821	0.941	14.26	1.063	70.135	261.84	424.55	162.71	1.207	1.730
42	18.359	16.237	0.946	13.85	1.058	72.203	263.47	424.75	161.28	1.212	1.729
43	18.805	16.662	0.950	13.45	1.052	74.331	265.11	424.94	159.83	1.217	1.727
44	19.260	17.095	0.955	13.07	1.047	76.522	266.76	425.12	158.36	1.222	1.726
45	19.722	17.536	0.960	12.69	1.042	78.778	268.42	425.29	156.86	1.227	1.725
46	20.193	17.987	0.965	12.33	1.037	81.101	270.10	425.44	155.34	1.233	1.723
47	20.672	18.446	0.970	11.98	1.031	83.493	271.79	425.58	153.79	1.238	1.722
48	21.159	18.914	0.975	11.63	1.026	85.959	273.49	425.71	152.22	1.243	1.721
49	21.655	19.391	0.981	11.30	1.020	88.501	275.20	425.82	150.62	1.248	1.720

Solkane® 407C

Release 1.04

t	p'	p''	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[bar]	[dm³/kg]	[dm³/kg]	[kg/dm³]	[kg/m³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kJ/kg-K]
50	22.159	19.878	0.986	10.97	1.014	91.123	276.93	425.92	148.99	1.254	1.718
51	22.672	20.374	0.992	10.66	1.008	93.827	278.67	426.00	147.33	1.259	1.717
52	23.194	20.879	0.998	10.35	1.002	96.618	280.43	426.06	145.64	1.264	1.715
53	23.724	21.394	1.004	10.05	0.996	99.500	282.20	426.11	143.91	1.270	1.714
54	24.264	21.919	1.010	9.76	0.990	102.477	283.99	426.14	142.15	1.275	1.712
55	24.812	22.455	1.016	9.47	0.984	105.554	285.80	426.15	140.35	1.281	1.711
56	25.370	23.000	1.023	9.20	0.978	108.736	287.63	426.15	138.52	1.286	1.709
57	25.937	23.556	1.029	8.93	0.971	112.029	289.47	426.12	136.65	1.292	1.708
58	26.513	24.122	1.036	8.66	0.965	115.438	291.34	426.07	134.73	1.297	1.706
59	27.098	24.699	1.044	8.41	0.958	118.971	293.22	425.99	132.77	1.303	1.704
60	27.693	25.287	1.051	8.15	0.951	122.635	295.13	425.90	130.77	1.308	1.702
61	28.298	25.886	1.059	7.91	0.944	126.438	297.06	425.77	128.72	1.314	1.701
62	28.912	26.497	1.067	7.67	0.937	130.388	299.01	425.62	126.61	1.319	1.699
63	29.537	27.119	1.076	7.44	0.930	134.496	300.98	425.44	124.46	1.325	1.697
64	30.171	27.753	1.084	7.21	0.922	138.772	302.98	425.23	122.25	1.331	1.695
65	30.815	28.399	1.094	6.98	0.914	143.229	305.01	424.99	119.98	1.337	1.693
66	31.469	29.058	1.103	6.76	0.906	147.880	307.06	424.71	117.65	1.342	1.691
67	32.134	29.729	1.113	6.55	0.898	152.740	309.15	424.40	115.25	1.348	1.688
68	32.809	30.414	1.124	6.34	0.890	157.827	311.26	424.04	112.78	1.354	1.686
69	33.494	31.111	1.135	6.13	0.881	163.161	313.40	423.64	110.24	1.360	1.684
70	34.189	31.823	1.147	5.93	0.872	168.765	315.57	423.19	107.62	1.366	1.681
71	34.896	32.548	1.159	5.73	0.862	174.666	317.77	422.69	104.91	1.372	1.678
72	35.613	33.289	1.173	5.53	0.853	180.894	320.01	422.13	102.12	1.378	1.676
73	36.340	34.044	1.187	5.33	0.842	187.487	322.28	421.50	99.22	1.384	1.673
74	37.079	34.815	1.202	5.14	0.832	194.488	324.59	420.81	96.21	1.390	1.669
75	37.828	35.602	1.219	4.95	0.820	201.951	326.94	420.03	93.09	1.397	1.666
76	38.588	36.405	1.237	4.76	0.809	209.940	329.32	419.16	89.84	1.403	1.662
77	39.359	37.227	1.257	4.58	0.796	218.536	331.75	418.19	86.44	1.409	1.658
78	40.141	38.067	1.278	4.39	0.782	227.843	334.21	417.09	82.88	1.416	1.654
79	40.935	38.927	1.303	4.20	0.768	237.994	336.72	415.85	79.14	1.422	1.650
80	41.739	39.808	1.330	4.01	0.752	249.166	339.27	414.44	75.17	1.429	1.645
81	42.554	40.711	1.362	3.82	0.734	261.605	341.87	412.82	70.96	1.435	1.639
82	43.380	41.640	1.400	3.63	0.714	275.663	344.51	410.94	66.43	1.442	1.633

12.1.8 Solkane® 410

Release 1.05

t	p'	p''	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kJ/kg-K]
-70	0.357	0.356	0.711	640.63	1.407	1.561	101.06	389.26	288.20	0.586	2.004
-69	0.380	0.378	0.712	604.64	1.404	1.654	102.44	389.83	287.39	0.592	2.000
-68	0.404	0.402	0.714	571.04	1.401	1.751	103.82	390.40	286.59	0.599	1.996
-67	0.429	0.427	0.715	539.65	1.398	1.853	105.19	390.97	285.78	0.605	1.992
-66	0.456	0.453	0.717	510.30	1.395	1.960	106.56	391.54	284.98	0.612	1.988
-65	0.483	0.481	0.718	482.84	1.392	2.071	107.93	392.10	284.17	0.618	1.984
-64	0.512	0.510	0.720	457.12	1.389	2.188	109.29	392.66	283.37	0.624	1.980
-63	0.543	0.540	0.722	433.03	1.386	2.309	110.66	393.22	282.56	0.631	1.976
-62	0.575	0.572	0.723	410.45	1.383	2.436	112.02	393.78	281.76	0.637	1.973
-61	0.608	0.605	0.725	389.26	1.380	2.569	113.38	394.33	280.95	0.644	1.969
-60	0.643	0.640	0.726	369.37	1.377	2.707	114.74	394.88	280.14	0.650	1.965
-59	0.680	0.677	0.728	350.68	1.373	2.852	116.10	395.43	279.33	0.656	1.962
-58	0.718	0.715	0.730	333.12	1.370	3.002	117.46	395.98	278.52	0.663	1.958
-57	0.758	0.755	0.731	316.61	1.367	3.158	118.82	396.52	277.70	0.669	1.955
-56	0.799	0.796	0.733	301.07	1.364	3.321	120.18	397.06	276.88	0.675	1.951
-55	0.843	0.839	0.735	286.44	1.361	3.491	121.54	397.60	276.06	0.681	1.948
-54	0.888	0.885	0.736	272.66	1.358	3.668	122.90	398.13	275.24	0.688	1.945
-53	0.936	0.932	0.738	259.66	1.355	3.851	124.26	398.67	274.41	0.694	1.941
-52	0.985	0.981	0.740	247.41	1.352	4.042	125.62	399.20	273.58	0.700	1.938
-51	1.036	1.032	0.742	235.84	1.348	4.240	126.98	399.72	272.74	0.706	1.935
-50	1.090	1.086	0.743	224.92	1.345	4.446	128.35	400.25	271.90	0.712	1.932
-49	1.145	1.141	0.745	214.61	1.342	4.660	129.71	400.77	271.05	0.719	1.929
-48	1.203	1.199	0.747	204.86	1.339	4.881	131.08	401.28	270.20	0.725	1.926
-47	1.263	1.259	0.749	195.63	1.336	5.112	132.45	401.80	269.35	0.731	1.923
-46	1.326	1.321	0.751	186.91	1.332	5.350	133.82	402.31	268.49	0.737	1.920
-45	1.391	1.386	0.752	178.65	1.329	5.598	135.19	402.82	267.62	0.743	1.917
-44	1.458	1.453	0.754	170.82	1.326	5.854	136.57	403.32	266.75	0.749	1.914
-43	1.528	1.523	0.756	163.41	1.323	6.120	137.95	403.82	265.88	0.755	1.911
-42	1.601	1.595	0.758	156.38	1.319	6.395	139.33	404.32	264.99	0.761	1.908
-41	1.676	1.670	0.760	149.71	1.316	6.679	140.71	404.81	264.10	0.767	1.905
-40	1.754	1.748	0.762	143.39	1.313	6.974	142.09	405.30	263.21	0.773	1.902
-39	1.835	1.829	0.764	137.38	1.310	7.279	143.48	405.79	262.31	0.779	1.899
-38	1.919	1.912	0.766	131.67	1.306	7.595	144.87	406.27	261.40	0.785	1.897
-37	2.006	1.999	0.767	126.25	1.303	7.921	146.26	406.75	260.48	0.791	1.894
-36	2.096	2.088	0.769	121.09	1.300	8.258	147.66	407.22	259.56	0.797	1.891
-35	2.188	2.181	0.771	116.19	1.296	8.607	149.06	407.69	258.63	0.803	1.889
-34	2.285	2.276	0.773	111.53	1.293	8.967	150.46	408.16	257.70	0.809	1.886
-33	2.384	2.375	0.775	107.08	1.290	9.338	151.87	408.63	256.76	0.815	1.884
-32	2.487	2.478	0.777	102.85	1.286	9.723	153.28	409.08	255.81	0.820	1.881
-31	2.593	2.584	0.779	98.82	1.283	10.119	154.69	409.54	254.85	0.826	1.878
-30	2.702	2.693	0.782	94.98	1.280	10.528	156.10	409.99	253.89	0.832	1.876
-29	2.815	2.805	0.784	91.32	1.276	10.951	157.52	410.44	252.92	0.838	1.873
-28	2.932	2.922	0.786	87.83	1.273	11.386	158.94	410.88	251.94	0.844	1.871
-27	3.052	3.042	0.788	84.49	1.269	11.836	160.36	411.32	250.95	0.849	1.869
-26	3.177	3.166	0.790	81.31	1.266	12.299	161.79	411.75	249.96	0.855	1.866
-25	3.305	3.293	0.792	78.27	1.262	12.777	163.22	412.18	248.96	0.861	1.864
-24	3.437	3.425	0.794	75.36	1.259	13.269	164.65	412.60	247.95	0.867	1.861
-23	3.573	3.561	0.797	72.59	1.255	13.777	166.09	413.02	246.93	0.872	1.859
-22	3.713	3.700	0.799	69.93	1.252	14.300	167.53	413.44	245.91	0.878	1.857
-21	3.857	3.844	0.801	67.39	1.248	14.838	168.97	413.85	244.88	0.884	1.855

Solkane® 410

Release 1.05

t	p'	p''	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kJ/kg-K]
-20	4.006	3.992	0.803	64.96	1.245	15.393	170.42	414.26	243.84	0.889	1.852
-19	4.159	4.145	0.806	62.64	1.241	15.964	171.87	414.66	242.79	0.895	1.850
-18	4.317	4.302	0.808	60.41	1.238	16.553	173.32	415.05	241.73	0.901	1.848
-17	4.478	4.463	0.810	58.28	1.234	17.158	174.78	415.44	240.66	0.906	1.846
-16	4.645	4.629	0.813	56.24	1.230	17.782	176.24	415.83	239.59	0.912	1.843
-15	4.816	4.800	0.815	54.28	1.227	18.423	177.70	416.21	238.51	0.917	1.841
-14	4.992	4.975	0.818	52.40	1.223	19.084	179.17	416.58	237.41	0.923	1.839
-13	5.173	5.156	0.820	50.60	1.219	19.763	180.64	416.95	236.31	0.929	1.837
-12	5.359	5.341	0.823	48.87	1.216	20.461	182.11	417.32	235.20	0.934	1.835
-11	5.550	5.531	0.825	47.21	1.212	21.180	183.59	417.68	234.09	0.940	1.833
-10	5.746	5.727	0.828	45.62	1.208	21.919	185.07	418.03	232.96	0.945	1.830
-9	5.947	5.927	0.830	44.09	1.204	22.680	186.56	418.38	231.82	0.951	1.828
-8	6.154	6.133	0.833	42.62	1.201	23.461	188.04	418.72	230.68	0.956	1.826
-7	6.366	6.344	0.835	41.21	1.197	24.265	189.53	419.05	229.52	0.962	1.824
-6	6.583	6.561	0.838	39.85	1.193	25.091	191.03	419.38	228.36	0.967	1.822
-5	6.806	6.783	0.841	38.55	1.189	25.940	192.53	419.71	227.18	0.973	1.820
-4	7.035	7.011	0.844	37.29	1.185	26.813	194.03	420.03	225.99	0.978	1.818
-3	7.269	7.245	0.846	36.09	1.181	27.711	195.54	420.34	224.80	0.984	1.816
-2	7.509	7.484	0.849	34.92	1.178	28.633	197.05	420.64	223.59	0.989	1.814
-1	7.756	7.730	0.852	33.81	1.174	29.581	198.56	420.94	222.38	0.995	1.812
0	8.008	7.981	0.855	32.73	1.170	30.554	200.00	421.23	221.23	1.000	1.810
1	8.266	8.239	0.858	31.69	1.166	31.555	201.60	421.51	219.91	1.005	1.808
2	8.531	8.503	0.861	30.69	1.162	32.583	203.13	421.79	218.66	1.011	1.806
3	8.802	8.773	0.864	29.73	1.158	33.640	204.66	422.06	217.40	1.016	1.804
4	9.079	9.049	0.867	28.80	1.153	34.726	206.20	422.32	216.13	1.022	1.802
5	9.363	9.332	0.870	27.90	1.149	35.841	207.74	422.58	214.84	1.027	1.800
6	9.654	9.622	0.873	27.04	1.145	36.987	209.28	422.83	213.55	1.033	1.798
7	9.951	9.918	0.876	26.20	1.141	38.164	210.83	423.07	212.24	1.038	1.796
8	10.255	10.222	0.880	25.40	1.137	39.374	212.38	423.30	210.91	1.043	1.794
9	10.566	10.532	0.883	24.62	1.133	40.617	213.94	423.52	209.58	1.049	1.792
10	10.884	10.849	0.886	23.87	1.128	41.894	215.51	423.74	208.23	1.054	1.790
11	11.210	11.173	0.890	23.14	1.124	43.207	217.08	423.94	206.86	1.060	1.788
12	11.542	11.505	0.893	22.44	1.120	44.555	218.66	424.14	205.49	1.065	1.786
13	11.882	11.843	0.897	21.77	1.115	45.941	220.24	424.33	204.09	1.071	1.784
14	12.229	12.190	0.900	21.11	1.111	47.365	221.83	424.51	202.68	1.076	1.782
15	12.584	12.544	0.904	20.48	1.106	48.828	223.42	424.68	201.26	1.081	1.781
16	12.947	12.905	0.908	19.87	1.102	50.332	225.02	424.84	199.82	1.087	1.779
17	13.317	13.274	0.911	19.28	1.097	51.878	226.63	424.99	198.36	1.092	1.777
18	13.696	13.651	0.915	18.70	1.093	53.468	228.25	425.13	196.89	1.098	1.775
19	14.082	14.037	0.919	18.15	1.088	55.101	229.87	425.26	195.39	1.103	1.773
20	14.476	14.430	0.923	17.61	1.083	56.782	231.50	425.38	193.88	1.109	1.771
21	14.879	14.831	0.927	17.09	1.079	58.509	233.14	425.49	192.35	1.114	1.769
22	15.290	15.241	0.931	16.59	1.074	60.286	234.78	425.58	190.80	1.120	1.767
23	15.709	15.659	0.935	16.10	1.069	62.114	236.44	425.67	189.23	1.125	1.765
24	16.137	16.086	0.940	15.63	1.064	63.994	238.10	425.74	187.64	1.131	1.763
25	16.574	16.522	0.944	15.17	1.059	65.929	239.77	425.80	186.03	1.136	1.760
26	17.020	16.966	0.949	14.72	1.054	67.920	241.46	425.85	184.39	1.142	1.758
27	17.474	17.420	0.953	14.29	1.049	69.970	243.15	425.88	182.73	1.147	1.756
28	17.938	17.882	0.958	13.87	1.044	72.081	244.85	425.90	181.05	1.153	1.754
29	18.410	18.354	0.963	13.47	1.039	74.255	246.57	425.90	179.34	1.159	1.752

Solkane® 410

Release 1.05

t	p'	p''	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
30	18.892	18.834	0.968	13.07	1.034	76.494	248.29	425.89	177.60	1.164	1.750
31	19.384	19.325	0.973	12.69	1.028	78.802	250.03	425.87	175.84	1.170	1.748
32	19.885	19.825	0.978	12.32	1.023	81.181	251.78	425.83	174.05	1.175	1.746
33	20.396	20.334	0.983	11.96	1.017	83.633	253.54	425.77	172.23	1.181	1.743
34	20.917	20.854	0.988	11.61	1.012	86.163	255.32	425.69	170.38	1.187	1.741
35	21.447	21.383	0.994	11.26	1.006	88.774	257.11	425.60	168.49	1.192	1.739
36	21.988	21.923	1.000	10.93	1.000	91.468	258.91	425.49	166.58	1.198	1.737
37	22.539	22.473	1.006	10.61	0.994	94.251	260.73	425.35	164.63	1.204	1.734
38	23.101	23.033	1.012	10.30	0.988	97.126	262.56	425.20	162.64	1.210	1.732
39	23.673	23.604	1.018	9.99	0.982	100.098	264.41	425.03	160.62	1.215	1.729
40	24.255	24.186	1.024	9.69	0.976	103.171	266.28	424.83	158.55	1.221	1.727
41	24.849	24.779	1.031	9.40	0.970	106.352	268.17	424.61	156.45	1.227	1.724
42	25.454	25.382	1.038	9.12	0.964	109.645	270.07	424.37	154.30	1.233	1.722
43	26.069	25.997	1.045	8.85	0.957	113.057	271.99	424.10	152.11	1.239	1.719
44	26.697	26.623	1.052	8.58	0.950	116.595	273.93	423.81	149.87	1.245	1.717
45	27.335	27.261	1.060	8.31	0.944	120.266	275.89	423.48	147.59	1.251	1.714
46	27.985	27.910	1.068	8.06	0.937	124.079	277.88	423.13	145.25	1.257	1.711
47	28.647	28.572	1.076	7.81	0.930	128.042	279.88	422.74	142.86	1.263	1.708
48	29.321	29.245	1.084	7.57	0.922	132.165	281.91	422.32	140.41	1.269	1.705
49	30.008	29.931	1.093	7.33	0.915	136.460	283.96	421.86	137.90	1.275	1.702
50	30.706	30.629	1.102	7.10	0.907	140.938	286.03	421.36	135.33	1.281	1.699
51	31.418	31.340	1.112	6.87	0.899	145.614	288.14	420.83	132.69	1.288	1.696
52	32.142	32.064	1.122	6.64	0.891	150.503	290.26	420.25	129.98	1.294	1.693
53	32.879	32.800	1.133	6.43	0.883	155.622	292.42	419.62	127.20	1.300	1.689
54	33.629	33.550	1.144	6.21	0.874	160.993	294.60	418.94	124.34	1.306	1.686
55	34.392	34.314	1.156	6.00	0.865	166.637	296.81	418.20	121.39	1.313	1.682
56	35.169	35.092	1.169	5.79	0.856	172.581	299.05	417.41	118.36	1.319	1.678
57	35.960	35.883	1.182	5.59	0.846	178.855	301.32	416.55	115.22	1.326	1.674
58	36.766	36.689	1.197	5.39	0.836	185.497	303.63	415.61	111.98	1.332	1.670
59	37.585	37.509	1.212	5.19	0.825	192.549	305.97	414.60	108.63	1.339	1.666
60	38.419	38.345	1.229	5.00	0.814	200.062	308.34	413.49	105.15	1.345	1.661
61	39.268	39.195	1.247	4.81	0.802	208.097	310.75	412.29	101.54	1.352	1.656
62	40.133	40.061	1.267	4.61	0.789	216.731	313.19	410.97	97.78	1.359	1.651
63	41.013	40.944	1.289	4.42	0.776	226.059	315.67	409.52	93.84	1.366	1.646
64	41.909	41.842	1.313	4.23	0.762	236.197	318.20	407.92	89.72	1.372	1.640
65	42.822	42.758	1.341	4.04	0.746	247.296	320.76	406.15	85.39	1.379	1.633
66	43.751	43.691	1.373	3.85	0.728	259.549	323.36	404.17	80.81	1.386	1.627

12.1.9 Solkane® 507

Release 1.05

t [°C]	p' [bar]	p'' [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-70	0.284	0.284	0.721	589.52	1.387	1.696	110.46	322.09	211.63	0.626	1.666
-69	0.302	0.302	0.723	556.50	1.384	1.797	111.72	322.70	210.98	0.632	1.664
-68	0.321	0.321	0.724	525.68	1.381	1.902	112.98	323.31	210.34	0.637	1.662
-67	0.341	0.341	0.726	496.88	1.378	2.013	114.23	323.92	209.69	0.643	1.660
-66	0.362	0.362	0.727	469.95	1.375	2.128	115.47	324.53	209.06	0.649	1.658
-65	0.384	0.384	0.729	444.76	1.372	2.248	116.71	325.14	208.43	0.654	1.656
-64	0.407	0.407	0.730	421.18	1.369	2.374	117.95	325.75	207.80	0.660	1.654
-63	0.431	0.431	0.732	399.08	1.366	2.506	119.18	326.36	207.18	0.666	1.652
-62	0.457	0.457	0.733	378.36	1.363	2.643	120.41	326.97	206.55	0.672	1.650
-61	0.483	0.483	0.735	358.93	1.360	2.786	121.64	327.57	205.93	0.677	1.649
-60	0.511	0.511	0.737	340.69	1.357	2.935	122.86	328.18	205.32	0.683	1.647
-59	0.540	0.540	0.738	323.55	1.354	3.091	124.09	328.79	204.70	0.689	1.645
-58	0.570	0.570	0.740	307.44	1.351	3.253	125.31	329.39	204.08	0.694	1.644
-57	0.602	0.602	0.742	292.29	1.348	3.421	126.53	330.00	203.47	0.700	1.642
-56	0.635	0.635	0.743	278.04	1.345	3.597	127.75	330.60	202.85	0.705	1.640
-55	0.669	0.669	0.745	264.61	1.342	3.779	128.97	331.21	202.23	0.711	1.639
-54	0.705	0.705	0.747	251.97	1.339	3.969	130.19	331.81	201.62	0.717	1.637
-53	0.742	0.742	0.748	240.05	1.336	4.166	131.41	332.41	201.00	0.722	1.636
-52	0.781	0.781	0.750	228.80	1.333	4.371	132.63	333.01	200.38	0.728	1.635
-51	0.822	0.822	0.752	218.18	1.330	4.583	133.86	333.61	199.76	0.733	1.633
-50	0.864	0.864	0.753	208.16	1.327	4.804	135.08	334.21	199.13	0.739	1.632
-49	0.908	0.908	0.755	198.69	1.324	5.033	136.31	334.81	198.50	0.744	1.631
-48	0.953	0.953	0.757	189.73	1.321	5.271	137.53	335.41	197.87	0.750	1.629
-47	1.001	1.001	0.759	181.26	1.318	5.517	138.76	336.00	197.24	0.756	1.628
-46	1.050	1.050	0.761	173.25	1.315	5.772	139.99	336.60	196.61	0.761	1.627
-45	1.101	1.101	0.762	165.66	1.312	6.037	141.22	337.19	195.97	0.767	1.626
-44	1.154	1.154	0.764	158.47	1.309	6.310	142.46	337.78	195.32	0.772	1.624
-43	1.209	1.209	0.766	151.65	1.305	6.594	143.70	338.38	194.68	0.777	1.623
-42	1.266	1.266	0.768	145.19	1.302	6.888	144.94	338.97	194.03	0.783	1.622
-41	1.325	1.325	0.770	139.06	1.299	7.191	146.18	339.56	193.37	0.788	1.621
-40	1.386	1.386	0.772	133.24	1.296	7.505	147.43	340.14	192.71	0.794	1.620
-39	1.450	1.450	0.774	127.71	1.293	7.830	148.68	340.73	192.05	0.799	1.619
-38	1.516	1.516	0.775	122.46	1.289	8.166	149.93	341.31	191.38	0.805	1.618
-37	1.584	1.583	0.777	117.47	1.286	8.513	151.19	341.90	190.71	0.810	1.617
-36	1.654	1.654	0.779	112.72	1.283	8.871	152.45	342.48	190.03	0.815	1.616
-35	1.727	1.727	0.781	108.21	1.280	9.241	153.71	343.06	189.35	0.821	1.615
-34	1.802	1.802	0.783	103.91	1.277	9.624	154.97	343.63	188.66	0.826	1.614
-33	1.880	1.879	0.785	99.82	1.273	10.018	156.24	344.21	187.97	0.831	1.613
-32	1.960	1.960	0.787	95.92	1.270	10.426	157.52	344.79	187.27	0.837	1.612
-31	2.043	2.043	0.789	92.20	1.267	10.846	158.79	345.36	186.56	0.842	1.612
-30	2.129	2.128	0.792	88.66	1.263	11.279	160.07	345.93	185.86	0.847	1.611
-29	2.217	2.216	0.794	85.28	1.260	11.726	161.36	346.50	185.14	0.853	1.610
-28	2.308	2.307	0.796	82.06	1.257	12.187	162.65	347.07	184.42	0.858	1.609
-27	2.402	2.401	0.798	78.98	1.253	12.662	163.94	347.63	183.69	0.863	1.608
-26	2.499	2.498	0.800	76.04	1.250	13.151	165.23	348.19	182.96	0.868	1.608
-25	2.599	2.598	0.802	73.23	1.247	13.656	166.53	348.76	182.23	0.873	1.607
-24	2.702	2.701	0.804	70.54	1.243	14.175	167.83	349.31	181.48	0.879	1.606
-23	2.808	2.807	0.807	67.98	1.240	14.711	169.14	349.87	180.73	0.884	1.605
-22	2.917	2.916	0.809	65.52	1.236	15.262	170.45	350.43	179.98	0.889	1.605
-21	3.029	3.028	0.811	63.18	1.233	15.829	171.76	350.98	179.22	0.894	1.604

Solkane® 507

Release 1.05

t	p'	p''	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
-20	3.145	3.144	0.813	60.93	1.230	16.413	173.08	351.53	178.45	0.899	1.603
-19	3.264	3.263	0.816	58.78	1.226	17.014	174.40	352.07	177.68	0.904	1.603
-18	3.386	3.385	0.818	56.71	1.223	17.632	175.72	352.62	176.90	0.910	1.602
-17	3.512	3.511	0.820	54.74	1.219	18.269	177.05	353.16	176.12	0.915	1.602
-16	3.642	3.640	0.823	52.84	1.216	18.923	178.38	353.70	175.32	0.920	1.601
-15	3.775	3.773	0.825	51.03	1.212	19.597	179.71	354.24	174.53	0.925	1.600
-14	3.911	3.909	0.828	49.29	1.208	20.289	181.05	354.77	173.72	0.930	1.600
-13	4.051	4.049	0.830	47.62	1.205	21.001	182.39	355.30	172.92	0.935	1.599
-12	4.196	4.193	0.833	46.01	1.201	21.733	183.73	355.83	172.10	0.940	1.599
-11	4.344	4.341	0.835	44.47	1.198	22.486	185.08	356.36	171.28	0.945	1.598
-10	4.495	4.493	0.838	42.99	1.194	23.260	186.43	356.88	170.45	0.950	1.598
-9	4.651	4.649	0.840	41.57	1.190	24.055	187.78	357.40	169.61	0.955	1.597
-8	4.811	4.808	0.843	40.21	1.187	24.872	189.14	357.92	168.77	0.960	1.596
-7	4.975	4.972	0.845	38.89	1.183	25.711	190.50	358.43	167.93	0.965	1.596
-6	5.143	5.140	0.848	37.63	1.179	26.574	191.87	358.94	167.07	0.970	1.595
-5	5.316	5.313	0.851	36.42	1.175	27.461	193.23	359.44	166.21	0.975	1.595
-4	5.493	5.489	0.854	35.25	1.172	28.371	194.60	359.95	165.34	0.980	1.595
-3	5.674	5.670	0.856	34.12	1.168	29.307	195.98	360.45	164.47	0.985	1.594
-2	5.859	5.855	0.859	33.04	1.164	30.268	197.35	360.94	163.59	0.990	1.594
-1	6.049	6.045	0.862	32.00	1.160	31.255	198.73	361.43	162.70	0.995	1.593
0	6.244	6.240	0.865	30.99	1.156	32.269	200.00	361.92	161.92	1.000	1.593
1	6.444	6.439	0.868	30.02	1.152	33.310	201.50	362.40	160.90	1.005	1.592
2	6.648	6.643	0.871	29.09	1.148	34.379	202.89	362.88	159.99	1.010	1.592
3	6.857	6.852	0.874	28.19	1.144	35.478	204.29	363.36	159.07	1.015	1.591
4	7.070	7.065	0.877	27.32	1.140	36.606	205.69	363.83	158.14	1.020	1.591
5	7.289	7.284	0.880	26.48	1.136	37.764	207.09	364.29	157.21	1.025	1.590
6	7.513	7.507	0.883	25.67	1.132	38.953	208.49	364.75	156.26	1.030	1.590
7	7.742	7.736	0.886	24.89	1.128	40.175	209.90	365.21	155.31	1.035	1.590
8	7.976	7.970	0.890	24.14	1.124	41.430	211.31	365.66	154.35	1.039	1.589
9	8.216	8.209	0.893	23.41	1.120	42.718	212.73	366.11	153.38	1.044	1.589
10	8.460	8.454	0.896	22.71	1.116	44.042	214.15	366.55	152.40	1.049	1.588
11	8.710	8.703	0.900	22.03	1.111	45.401	215.57	366.99	151.41	1.054	1.588
12	8.966	8.959	0.903	21.37	1.107	46.797	217.00	367.42	150.42	1.059	1.587
13	9.227	9.220	0.907	20.73	1.103	48.230	218.43	367.84	149.41	1.064	1.587
14	9.494	9.486	0.910	20.12	1.098	49.703	219.87	368.26	148.39	1.069	1.586
15	9.767	9.759	0.914	19.52	1.094	51.217	221.31	368.67	147.36	1.074	1.586
16	10.045	10.037	0.918	18.95	1.090	52.771	222.76	369.08	146.32	1.079	1.586
17	10.329	10.321	0.922	18.39	1.085	54.368	224.21	369.48	145.27	1.084	1.585
18	10.620	10.611	0.925	17.85	1.081	56.010	225.67	369.87	144.20	1.089	1.585
19	10.916	10.907	0.929	17.33	1.076	57.697	227.14	370.26	143.12	1.094	1.584
20	11.218	11.209	0.933	16.83	1.071	59.431	228.61	370.64	142.03	1.099	1.584
21	11.527	11.517	0.937	16.34	1.067	61.213	230.08	371.01	140.93	1.104	1.583
22	11.842	11.832	0.942	15.86	1.062	63.045	231.56	371.37	139.81	1.109	1.583
23	12.163	12.153	0.946	15.40	1.057	64.930	233.05	371.73	138.68	1.113	1.582
24	12.491	12.480	0.950	14.95	1.053	66.868	234.55	372.08	137.53	1.118	1.582
25	12.826	12.815	0.955	14.52	1.048	68.861	236.05	372.42	136.36	1.123	1.581
26	13.167	13.155	0.959	14.10	1.043	70.913	237.57	372.75	135.18	1.128	1.581
27	13.515	13.503	0.964	13.69	1.038	73.024	239.09	373.07	133.98	1.134	1.580
28	13.869	13.857	0.968	13.30	1.033	75.197	240.61	373.38	132.76	1.139	1.580
29	14.231	14.219	0.973	12.91	1.028	77.434	242.15	373.68	131.53	1.144	1.579

Solkane® 507

Release 1.05

t	p'	p''	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kJ/kg-K]
30	14.600	14.587	0.978	12.54	1.022	79.738	243.70	373.97	130.27	1.149	1.579
31	14.976	14.963	0.983	12.18	1.017	82.112	245.26	374.25	129.00	1.154	1.578
32	15.359	15.345	0.988	11.83	1.012	84.558	246.82	374.52	127.70	1.159	1.577
33	15.749	15.735	0.994	11.48	1.006	87.080	248.40	374.78	126.38	1.164	1.577
34	16.147	16.133	0.999	11.15	1.001	89.681	249.99	375.02	125.03	1.169	1.576
35	16.552	16.538	1.005	10.83	0.995	92.364	251.59	375.26	123.66	1.174	1.575
36	16.965	16.951	1.010	10.51	0.990	95.133	253.21	375.47	122.27	1.179	1.575
37	17.386	17.371	1.016	10.20	0.984	97.992	254.83	375.68	120.85	1.185	1.574
38	17.815	17.799	1.022	9.91	0.978	100.946	256.47	375.87	119.40	1.190	1.573
39	18.251	18.235	1.029	9.62	0.972	103.999	258.13	376.05	117.92	1.195	1.572
40	18.696	18.680	1.035	9.33	0.966	107.156	259.80	376.21	116.41	1.200	1.571
41	19.148	19.132	1.042	9.06	0.960	110.422	261.48	376.35	114.86	1.206	1.571
42	19.610	19.593	1.049	8.79	0.954	113.804	263.19	376.47	113.28	1.211	1.570
43	20.079	20.062	1.056	8.52	0.947	117.308	264.91	376.58	111.67	1.216	1.569
44	20.557	20.540	1.063	8.27	0.941	120.941	266.64	376.66	110.02	1.222	1.568
45	21.044	21.026	1.071	8.02	0.934	124.711	268.40	376.73	108.33	1.227	1.567
46	21.540	21.522	1.078	7.77	0.927	128.626	270.18	376.77	106.60	1.233	1.566
47	22.044	22.026	1.087	7.54	0.920	132.695	271.97	376.79	104.82	1.238	1.564
48	22.558	22.539	1.095	7.30	0.913	136.928	273.79	376.79	103.00	1.244	1.563
49	23.080	23.062	1.104	7.08	0.906	141.338	275.63	376.75	101.12	1.249	1.562
50	23.612	23.594	1.113	6.85	0.898	145.936	277.49	376.69	99.20	1.255	1.561
51	24.154	24.135	1.123	6.63	0.890	150.737	279.38	376.60	97.22	1.260	1.559
52	24.705	24.686	1.133	6.42	0.882	155.756	281.29	376.48	95.19	1.266	1.558
53	25.267	25.247	1.144	6.21	0.874	161.011	283.23	376.32	93.09	1.272	1.556
54	25.838	25.818	1.155	6.01	0.866	166.522	285.19	376.13	90.93	1.278	1.554
55	26.419	26.400	1.167	5.80	0.857	172.313	287.19	375.89	88.70	1.283	1.553
56	27.011	26.991	1.180	5.61	0.847	178.408	289.21	375.61	86.40	1.289	1.551
57	27.613	27.594	1.194	5.41	0.838	184.838	291.26	375.28	84.02	1.295	1.549
58	28.227	28.207	1.208	5.22	0.828	191.638	293.35	374.90	81.55	1.301	1.547
59	28.851	28.831	1.223	5.03	0.817	198.847	295.47	374.47	79.00	1.307	1.544
60	29.487	29.467	1.240	4.84	0.806	206.512	297.62	373.97	76.35	1.313	1.542
61	30.134	30.114	1.259	4.66	0.795	214.687	299.81	373.40	73.59	1.319	1.539
62	30.793	30.774	1.279	4.48	0.782	223.438	302.03	372.75	70.72	1.325	1.537
63	31.464	31.446	1.301	4.29	0.769	232.839	304.30	372.03	67.73	1.332	1.533
64	32.149	32.131	1.326	4.12	0.754	242.978	306.60	371.21	64.61	1.338	1.530
65	32.846	32.829	1.354	3.94	0.738	253.957	308.94	370.29	61.34	1.344	1.527
66	33.557	33.541	1.387	3.76	0.721	265.890	311.33	369.26	57.93	1.351	1.523
67	34.283	34.268	1.427	3.59	0.701	278.903	313.76	368.12	54.36	1.357	1.519

12.2.1 Solkane® 32

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-80	0.187	0.776	1628.47	1.288	0.61	66.52	480.78	414.26	0.4469	2.5680
-79	0.201	0.778	1526.48	1.286	0.66	68.53	481.40	412.87	0.4544	2.5602
-78	0.215	0.779	1431.96	1.283	0.70	70.50	482.01	411.51	0.4618	2.5526
-77	0.230	0.781	1344.30	1.280	0.74	72.44	482.62	410.18	0.4693	2.5451
-76	0.246	0.783	1262.93	1.278	0.79	74.35	483.23	408.88	0.4768	2.5376
-75	0.263	0.784	1187.34	1.275	0.84	76.22	483.83	407.61	0.4843	2.5303
-74	0.280	0.786	1117.07	1.273	0.90	78.07	484.43	406.37	0.4917	2.5231
-73	0.299	0.787	1051.69	1.270	0.95	79.88	485.03	405.15	0.4992	2.5159
-72	0.319	0.789	990.80	1.268	1.01	81.68	485.63	403.95	0.5067	2.5089
-71	0.339	0.791	934.07	1.265	1.07	83.44	486.22	402.78	0.5141	2.5019
-70	0.361	0.792	881.17	1.262	1.13	85.19	486.81	401.62	0.5215	2.4950
-69	0.384	0.794	831.80	1.260	1.20	86.92	487.39	400.48	0.5290	2.4882
-68	0.408	0.796	785.70	1.257	1.27	88.62	487.98	399.35	0.5364	2.4815
-67	0.434	0.797	742.61	1.254	1.35	90.31	488.55	398.24	0.5438	2.4749
-66	0.460	0.799	702.32	1.252	1.42	91.98	489.13	397.15	0.5512	2.4684
-65	0.488	0.801	664.62	1.249	1.50	93.64	489.70	396.06	0.5586	2.4619
-64	0.518	0.802	629.31	1.246	1.59	95.28	490.27	394.98	0.5659	2.4556
-63	0.549	0.804	596.21	1.244	1.68	96.92	490.83	393.92	0.5733	2.4493
-62	0.581	0.806	565.19	1.241	1.77	98.53	491.39	392.86	0.5806	2.4430
-61	0.615	0.807	536.08	1.238	1.87	100.14	491.95	391.80	0.5880	2.4369
-60	0.650	0.809	508.75	1.236	1.97	101.74	492.50	390.75	0.5953	2.4308
-59	0.687	0.811	483.07	1.233	2.07	103.34	493.04	389.71	0.6026	2.4248
-58	0.725	0.813	458.94	1.230	2.18	104.92	493.59	388.67	0.6098	2.4188
-57	0.766	0.815	436.24	1.228	2.29	106.50	494.13	387.63	0.6171	2.4130
-56	0.808	0.816	414.87	1.225	2.41	108.07	494.66	386.59	0.6244	2.4072
-55	0.852	0.818	394.75	1.222	2.53	109.64	495.19	385.55	0.6316	2.4014
-54	0.898	0.820	375.80	1.219	2.66	111.21	495.72	384.51	0.6388	2.3958
-53	0.946	0.822	357.93	1.217	2.79	112.77	496.24	383.47	0.6460	2.3901
-52	0.995	0.824	341.07	1.214	2.93	114.33	496.75	382.43	0.6532	2.3846
-51	1.047	0.826	325.15	1.211	3.08	115.89	497.27	381.38	0.6604	2.3791
-50	1.101	0.828	310.13	1.208	3.22	117.44	497.77	380.33	0.6675	2.3737
-49	1.158	0.829	295.93	1.206	3.38	119.00	498.27	379.27	0.6746	2.3683
-48	1.216	0.831	282.51	1.203	3.54	120.56	498.77	378.21	0.6817	2.3630
-47	1.277	0.833	269.82	1.200	3.71	122.12	499.26	377.15	0.6888	2.3577
-46	1.340	0.835	257.81	1.197	3.88	123.68	499.75	376.07	0.6959	2.3525
-45	1.406	0.837	246.43	1.194	4.06	125.24	500.23	374.99	0.7029	2.3473
-44	1.474	0.839	235.66	1.192	4.24	126.80	500.71	373.91	0.7100	2.3422
-43	1.545	0.841	225.45	1.189	4.44	128.37	501.18	372.81	0.7170	2.3372
-42	1.619	0.843	215.77	1.186	4.63	129.94	501.64	371.71	0.7240	2.3321
-41	1.695	0.845	206.58	1.183	4.84	131.51	502.10	370.59	0.7309	2.3272
-40	1.774	0.847	197.87	1.180	5.05	133.09	502.56	369.47	0.7379	2.3223
-39	1.856	0.849	189.59	1.177	5.27	134.67	503.01	368.34	0.7448	2.3174
-38	1.941	0.851	181.73	1.174	5.50	136.25	503.45	367.20	0.7517	2.3126
-37	2.028	0.854	174.26	1.172	5.74	137.84	503.89	366.05	0.7586	2.3078
-36	2.119	0.856	167.16	1.169	5.98	139.44	504.32	364.89	0.7655	2.3031
-35	2.213	0.858	160.40	1.166	6.23	141.03	504.75	363.71	0.7723	2.2984
-34	2.311	0.860	153.97	1.163	6.49	142.64	505.17	362.53	0.7791	2.2937
-33	2.411	0.862	147.85	1.160	6.76	144.25	505.58	361.33	0.7859	2.2891
-32	2.516	0.864	142.02	1.157	7.04	145.86	505.99	360.13	0.7927	2.2846
-31	2.623	0.867	136.46	1.154	7.33	147.48	506.39	358.91	0.7995	2.2800

Solkan® 32

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-30	2.734	0.869	131.16	1.151	7.62	149.11	506.79	357.68	0.8062	2.2755
-29	2.849	0.871	126.11	1.148	7.93	150.74	507.18	356.44	0.8129	2.2711
-28	2.967	0.873	121.30	1.145	8.24	152.38	507.56	355.19	0.8196	2.2667
-27	3.089	0.876	116.70	1.142	8.57	154.02	507.94	353.92	0.8263	2.2623
-26	3.215	0.878	112.31	1.139	8.90	155.67	508.31	352.64	0.8330	2.2579
-25	3.345	0.880	108.12	1.136	9.25	157.32	508.67	351.35	0.8396	2.2536
-24	3.479	0.883	104.11	1.133	9.61	158.98	509.03	350.05	0.8462	2.2494
-23	3.617	0.885	100.28	1.130	9.97	160.64	509.38	348.74	0.8528	2.2451
-22	3.760	0.888	96.62	1.127	10.35	162.32	509.73	347.41	0.8594	2.2409
-21	3.906	0.890	93.12	1.124	10.74	163.99	510.06	346.07	0.8660	2.2367
-20	4.057	0.892	89.77	1.121	11.14	165.67	510.39	344.72	0.8725	2.2325
-19	4.213	0.895	86.56	1.117	11.55	167.36	510.72	343.36	0.8790	2.2284
-18	4.373	0.897	83.49	1.114	11.98	169.05	511.03	341.98	0.8856	2.2243
-17	4.537	0.900	80.55	1.111	12.41	170.75	511.34	340.59	0.8920	2.2202
-16	4.707	0.902	77.73	1.108	12.86	172.45	511.64	339.19	0.8985	2.2162
-15	4.881	0.905	75.03	1.105	13.33	174.16	511.93	337.78	0.9050	2.2122
-14	5.060	0.908	72.44	1.102	13.80	175.87	512.22	336.35	0.9114	2.2082
-13	5.244	0.910	69.96	1.098	14.29	177.58	512.50	334.91	0.9178	2.2042
-12	5.433	0.913	67.57	1.095	14.80	179.31	512.77	333.46	0.9242	2.2003
-11	5.627	0.916	65.29	1.092	15.32	181.03	513.03	332.00	0.9306	2.1963
-10	5.826	0.918	63.09	1.089	15.85	182.76	513.29	330.53	0.9370	2.1924
-9	6.031	0.921	60.98	1.085	16.40	184.50	513.54	329.04	0.9434	2.1886
-8	6.242	0.924	58.95	1.082	16.96	186.23	513.78	327.54	0.9497	2.1847
-7	6.457	0.927	57.01	1.079	17.54	187.98	514.01	326.03	0.9560	2.1809
-6	6.679	0.930	55.14	1.076	18.14	189.72	514.23	324.51	0.9623	2.1770
-5	6.906	0.933	53.34	1.072	18.75	191.47	514.44	322.97	0.9686	2.1732
-4	7.139	0.936	51.61	1.069	19.38	193.23	514.65	321.42	0.9749	2.1695
-3	7.378	0.939	49.94	1.066	20.02	194.99	514.85	319.86	0.9812	2.1657
-2	7.623	0.942	48.34	1.062	20.69	196.75	515.03	318.29	0.9875	2.1619
-1	7.874	0.945	46.79	1.059	21.37	198.51	515.21	316.70	0.9938	2.1582
0	8.131	0.948	45.31	1.055	22.07	200.00	515.38	315.38	1.0000	2.1545
1	8.395	0.951	43.88	1.052	22.79	202.05	515.54	313.49	1.0062	2.1508
2	8.665	0.954	42.50	1.048	23.53	203.83	515.69	311.87	1.0125	2.1471
3	8.942	0.957	41.17	1.045	24.29	205.61	515.84	310.23	1.0187	2.1434
4	9.225	0.960	39.89	1.041	25.07	207.39	515.97	308.58	1.0249	2.1397
5	9.515	0.964	38.66	1.038	25.87	209.17	516.09	306.92	1.0311	2.1361
6	9.812	0.967	37.46	1.034	26.69	210.96	516.20	305.24	1.0373	2.1324
7	10.115	0.970	36.31	1.031	27.54	212.75	516.30	303.55	1.0435	2.1288
8	10.426	0.974	35.21	1.027	28.40	214.54	516.40	301.85	1.0497	2.1251
9	10.744	0.977	34.14	1.023	29.30	216.34	516.48	300.13	1.0559	2.1215
10	11.069	0.981	33.10	1.020	30.21	218.14	516.55	298.40	1.0621	2.1179
11	11.402	0.984	32.10	1.016	31.15	219.95	516.60	296.66	1.0683	2.1143
12	11.742	0.988	31.14	1.012	32.11	221.76	516.65	294.90	1.0745	2.1107
13	12.090	0.992	30.21	1.008	33.10	223.57	516.69	293.12	1.0807	2.1070
14	12.445	0.995	29.31	1.005	34.12	225.38	516.71	291.33	1.0869	2.1034
15	12.808	0.999	28.44	1.001	35.17	227.20	516.72	289.52	1.0931	2.0998
16	13.179	1.003	27.59	0.997	36.24	229.03	516.72	287.70	1.0993	2.0962
17	13.559	1.007	26.78	0.993	37.34	230.86	516.71	285.86	1.1054	2.0926
18	13.946	1.011	25.99	0.989	38.47	232.69	516.69	284.00	1.1117	2.0890
19	14.342	1.015	25.23	0.985	39.63	234.53	516.65	282.12	1.1179	2.0854

Solkan® 32

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm³/kg]	v'' [dm³/kg]	ρ' [kg/dm³]	ρ'' [kg/m³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
20	14.746	1.019	24.49	0.981	40.83	236.37	516.60	280.23	1.1241	2.0818
21	15.158	1.023	23.78	0.977	42.06	238.22	516.53	278.31	1.1303	2.0782
22	15.579	1.027	23.09	0.973	43.32	240.07	516.45	276.38	1.1365	2.0746
23	16.009	1.032	22.42	0.969	44.61	241.93	516.36	274.42	1.1428	2.0710
24	16.448	1.036	21.77	0.965	45.94	243.80	516.25	272.45	1.1490	2.0673
25	16.896	1.041	21.14	0.961	47.31	245.68	516.13	270.45	1.1553	2.0637
26	17.353	1.045	20.53	0.957	48.71	247.56	515.99	268.43	1.1616	2.0600
27	17.819	1.050	19.94	0.953	50.16	249.45	515.83	266.38	1.1679	2.0564
28	18.295	1.055	19.36	0.948	51.64	251.35	515.66	264.31	1.1742	2.0527
29	18.780	1.059	18.81	0.944	53.17	253.26	515.47	262.21	1.1805	2.0490
30	19.275	1.064	18.27	0.940	54.74	255.18	515.27	260.09	1.1868	2.0453
31	19.779	1.069	17.74	0.935	56.35	257.11	515.05	257.94	1.1932	2.0416
32	20.294	1.074	17.24	0.931	58.02	259.05	514.80	255.75	1.1996	2.0378
33	20.818	1.080	16.74	0.926	59.73	261.00	514.54	253.54	1.2060	2.0341
34	21.353	1.085	16.26	0.922	61.49	262.97	514.26	251.30	1.2124	2.0303
35	21.898	1.090	15.80	0.917	63.30	264.95	513.96	249.02	1.2188	2.0264
36	22.453	1.096	15.35	0.912	65.16	266.94	513.64	246.70	1.2253	2.0226
37	23.020	1.102	14.91	0.908	67.09	268.95	513.30	244.35	1.2318	2.0187
38	23.596	1.108	14.48	0.903	69.07	270.98	512.94	241.96	1.2383	2.0148
39	24.184	1.114	14.06	0.898	71.11	273.02	512.55	239.53	1.2449	2.0109
40	24.783	1.120	13.66	0.893	73.21	275.09	512.14	237.06	1.2515	2.0069
41	25.393	1.126	13.27	0.888	75.38	277.17	511.71	234.54	1.2581	2.0029
42	26.014	1.133	12.88	0.883	77.62	279.27	511.24	231.97	1.2648	1.9989
43	26.647	1.139	12.51	0.878	79.93	281.40	510.76	229.36	1.2714	1.9948
44	27.291	1.146	12.15	0.873	82.32	283.54	510.24	226.70	1.2782	1.9907
45	27.948	1.153	11.79	0.867	84.79	285.72	509.70	223.98	1.2849	1.9865
46	28.616	1.160	11.45	0.862	87.34	287.91	509.12	221.21	1.2917	1.9822
47	29.296	1.168	11.11	0.856	89.98	290.14	508.51	218.38	1.2986	1.9779
48	29.989	1.175	10.79	0.851	92.70	292.39	507.88	215.48	1.3055	1.9736
49	30.695	1.183	10.47	0.845	95.53	294.68	507.20	212.52	1.3124	1.9691
50	31.412	1.192	10.16	0.839	98.46	296.99	506.49	209.50	1.3194	1.9646
51	32.143	1.200	9.85	0.833	101.50	299.34	505.74	206.40	1.3264	1.9601
52	32.887	1.209	9.56	0.827	104.65	301.73	504.95	203.22	1.3334	1.9554
53	33.644	1.218	9.27	0.821	107.92	304.15	504.12	199.97	1.3406	1.9507
54	34.415	1.227	8.98	0.815	111.33	306.61	503.24	196.63	1.3477	1.9458
55	35.199	1.237	8.71	0.808	114.87	309.11	502.32	193.21	1.3550	1.9409
56	35.997	1.247	8.43	0.802	118.56	311.65	501.34	189.69	1.3622	1.9359
57	36.809	1.258	8.17	0.795	122.41	314.24	500.31	186.07	1.3696	1.9307
58	37.636	1.269	7.91	0.788	126.44	316.87	499.22	182.35	1.3770	1.9254
59	38.477	1.281	7.65	0.781	130.64	319.56	498.07	178.52	1.3844	1.9199
60	39.333	1.293	7.40	0.773	135.05	322.29	496.86	174.57	1.3919	1.9143
61	40.203	1.306	7.16	0.766	139.68	325.08	495.57	170.49	1.3995	1.9086
62	41.090	1.319	6.92	0.758	144.55	327.92	494.20	166.28	1.4072	1.9026
63	41.991	1.334	6.68	0.750	149.68	330.82	492.74	161.92	1.4149	1.8965
64	42.909	1.349	6.45	0.741	155.10	333.78	491.19	157.41	1.4227	1.8901
65	43.843	1.365	6.22	0.732	160.85	336.80	489.53	152.74	1.4305	1.8834
66	44.793	1.383	5.99	0.723	166.97	339.88	487.76	147.88	1.4384	1.8765
67	45.760	1.402	5.76	0.713	173.50	343.04	485.85	142.82	1.4464	1.8692
68	46.745	1.422	5.54	0.703	180.50	346.26	483.80	137.54	1.4545	1.8615
69	47.747	1.444	5.32	0.692	188.05	349.56	481.57	132.01	1.4627	1.8534

Solkane® 32

Release 1.02

t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
70	48.768	1.469	5.10	0.681	196.25	352.94	479.15	126.21	1.4709	1.8448
71	49.807	1.496	4.87	0.668	205.21	356.39	476.49	120.10	1.4792	1.8355
72	50.866	1.527	4.65	0.655	215.12	359.93	473.54	113.61	1.4876	1.8255
73	51.945	1.563	4.42	0.640	226.20	363.55	470.24	106.70	1.4961	1.8146
74	53.046	1.605	4.19	0.623	238.81	367.26	466.50	99.24	1.5047	1.8024

12.2.2 Solkane® 124

Release 1.01

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-40	0.265	0.643	527.58	1.554	1.90	158.02	336.35	178.33	0.8339	1.5991
-39	0.280	0.645	501.45	1.552	1.99	159.05	336.94	177.89	0.8382	1.5984
-38	0.295	0.646	476.87	1.549	2.10	160.08	337.53	177.45	0.8425	1.5977
-37	0.311	0.647	453.71	1.546	2.20	161.11	338.12	177.02	0.8468	1.5970
-36	0.328	0.648	431.89	1.543	2.32	162.14	338.72	176.58	0.8511	1.5964
-35	0.346	0.649	411.31	1.540	2.43	163.16	339.31	176.15	0.8553	1.5958
-34	0.364	0.650	391.91	1.538	2.55	164.19	339.90	175.71	0.8596	1.5952
-33	0.383	0.652	373.59	1.535	2.68	165.22	340.50	175.28	0.8639	1.5946
-32	0.403	0.653	356.29	1.532	2.81	166.25	341.09	174.84	0.8681	1.5940
-31	0.424	0.654	339.95	1.529	2.94	167.28	341.69	174.41	0.8724	1.5935
-30	0.445	0.655	324.50	1.526	3.08	168.31	342.28	173.97	0.8766	1.5930
-29	0.468	0.656	309.89	1.523	3.23	169.34	342.87	173.53	0.8808	1.5925
-28	0.491	0.658	296.07	1.520	3.38	170.37	343.47	173.10	0.8851	1.5920
-27	0.516	0.659	282.98	1.518	3.53	171.40	344.06	172.66	0.8893	1.5916
-26	0.541	0.660	270.58	1.515	3.70	172.44	344.66	172.22	0.8935	1.5911
-25	0.567	0.661	258.84	1.512	3.86	173.47	345.25	171.78	0.8977	1.5907
-24	0.595	0.663	247.70	1.509	4.04	174.51	345.84	171.34	0.9019	1.5903
-23	0.623	0.664	237.14	1.506	4.22	175.54	346.44	170.89	0.9061	1.5900
-22	0.652	0.665	227.12	1.503	4.40	176.58	347.03	170.45	0.9102	1.5896
-21	0.683	0.667	217.61	1.500	4.60	177.62	347.62	170.00	0.9144	1.5893
-20	0.714	0.668	208.57	1.497	4.79	178.66	348.22	169.55	0.9186	1.5890
-19	0.747	0.669	199.99	1.494	5.00	179.71	348.81	169.10	0.9227	1.5887
-18	0.781	0.670	191.83	1.491	5.21	180.75	349.40	168.65	0.9269	1.5884
-17	0.816	0.672	184.07	1.488	5.43	181.80	350.00	168.20	0.9310	1.5881
-16	0.853	0.673	176.69	1.486	5.66	182.85	350.59	167.74	0.9351	1.5879
-15	0.890	0.674	169.66	1.483	5.89	183.90	351.18	167.28	0.9393	1.5876
-14	0.929	0.676	162.97	1.480	6.14	184.95	351.77	166.82	0.9434	1.5874
-13	0.970	0.677	156.60	1.477	6.39	186.00	352.36	166.36	0.9475	1.5872
-12	1.011	0.679	150.52	1.474	6.64	187.06	352.96	165.89	0.9516	1.5870
-11	1.055	0.680	144.74	1.471	6.91	188.12	353.55	165.43	0.9557	1.5869
-10	1.099	0.681	139.22	1.468	7.18	189.18	354.14	164.96	0.9597	1.5867
-9	1.145	0.683	133.95	1.465	7.47	190.24	354.73	164.48	0.9638	1.5866
-8	1.192	0.684	128.92	1.462	7.76	191.31	355.32	164.01	0.9679	1.5864
-7	1.241	0.686	124.12	1.459	8.06	192.38	355.90	163.53	0.9719	1.5863
-6	1.292	0.687	119.54	1.456	8.37	193.45	356.49	163.05	0.9759	1.5862
-5	1.344	0.688	115.16	1.452	8.68	194.52	357.08	162.56	0.9800	1.5861
-4	1.398	0.690	110.97	1.449	9.01	195.59	357.67	162.07	0.9840	1.5860
-3	1.453	0.691	106.97	1.446	9.35	196.67	358.25	161.58	0.9880	1.5860
-2	1.510	0.693	103.14	1.443	9.70	197.75	358.84	161.09	0.9920	1.5859
-1	1.569	0.694	99.48	1.440	10.05	198.83	359.43	160.59	0.9960	1.5859
0	1.630	0.696	95.97	1.437	10.42	200.00	360.01	160.01	1.0000	1.5859
1	1.692	0.697	92.61	1.434	10.80	201.00	360.59	159.59	1.0040	1.5858
2	1.757	0.699	89.40	1.431	11.19	202.09	361.18	159.08	1.0079	1.5858
3	1.823	0.700	86.32	1.428	11.59	203.18	361.76	158.57	1.0119	1.5858
4	1.891	0.702	83.36	1.424	12.00	204.28	362.34	158.06	1.0159	1.5859
5	1.961	0.704	80.53	1.421	12.42	205.37	362.92	157.55	1.0198	1.5859
6	2.033	0.705	77.82	1.418	12.85	206.47	363.50	157.03	1.0237	1.5859
7	2.107	0.707	75.21	1.415	13.30	207.57	364.08	156.51	1.0276	1.5860
8	2.183	0.708	72.71	1.412	13.75	208.68	364.66	155.98	1.0316	1.5860
9	2.261	0.710	70.31	1.409	14.22	209.78	365.23	155.45	1.0355	1.5861

Solkane® 124

Release 1.01

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
10	2.341	0.712	68.01	1.405	14.70	210.89	365.81	154.92	1.0394	1.5861
11	2.423	0.713	65.80	1.402	15.20	212.00	366.38	154.38	1.0433	1.5862
12	2.508	0.715	63.67	1.399	15.71	213.11	366.96	153.84	1.0471	1.5863
13	2.595	0.717	61.62	1.396	16.23	214.23	367.53	153.30	1.0510	1.5864
14	2.684	0.718	59.66	1.392	16.76	215.34	368.10	152.76	1.0549	1.5865
15	2.776	0.720	57.77	1.389	17.31	216.46	368.67	152.21	1.0587	1.5866
16	2.869	0.722	55.95	1.386	17.87	217.59	369.24	151.65	1.0626	1.5868
17	2.966	0.723	54.20	1.382	18.45	218.71	369.81	151.10	1.0664	1.5869
18	3.064	0.725	52.52	1.379	19.04	219.84	370.37	150.54	1.0702	1.5870
19	3.165	0.727	50.90	1.376	19.65	220.96	370.94	149.97	1.0741	1.5872
20	3.269	0.729	49.34	1.372	20.27	222.09	371.50	149.41	1.0779	1.5873
21	3.375	0.730	47.83	1.369	20.91	223.23	372.06	148.84	1.0817	1.5875
22	3.484	0.732	46.38	1.366	21.56	224.36	372.62	148.26	1.0855	1.5877
23	3.596	0.734	44.99	1.362	22.23	225.50	373.18	147.68	1.0893	1.5878
24	3.710	0.736	43.64	1.359	22.91	226.64	373.74	147.10	1.0930	1.5880
25	3.827	0.738	42.34	1.355	23.62	227.78	374.30	146.52	1.0968	1.5882
26	3.946	0.740	41.09	1.352	24.34	228.92	374.85	145.93	1.1006	1.5884
27	4.069	0.742	39.88	1.348	25.07	230.07	375.41	145.34	1.1044	1.5886
28	4.194	0.744	38.71	1.345	25.83	231.22	375.96	144.74	1.1081	1.5888
29	4.322	0.745	37.59	1.341	26.60	232.37	376.51	144.14	1.1119	1.5890
30	4.453	0.747	36.50	1.338	27.40	233.52	377.05	143.53	1.1156	1.5892
31	4.587	0.749	35.45	1.334	28.21	234.68	377.60	142.93	1.1193	1.5894
32	4.724	0.751	34.44	1.331	29.04	235.83	378.14	142.31	1.1231	1.5896
33	4.865	0.753	33.46	1.327	29.89	236.99	378.69	141.70	1.1268	1.5898
34	5.008	0.755	32.51	1.324	30.76	238.15	379.23	141.07	1.1305	1.5900
35	5.154	0.758	31.60	1.320	31.65	239.31	379.76	140.45	1.1342	1.5902
36	5.304	0.760	30.71	1.316	32.56	240.48	380.30	139.82	1.1379	1.5905
37	5.457	0.762	29.85	1.313	33.50	241.65	380.83	139.19	1.1416	1.5907
38	5.613	0.764	29.03	1.309	34.45	242.82	381.37	138.55	1.1453	1.5909
39	5.772	0.766	28.23	1.305	35.43	243.99	381.89	137.91	1.1490	1.5912
40	5.935	0.768	27.45	1.302	36.43	245.16	382.42	137.26	1.1527	1.5914
41	6.101	0.770	26.70	1.298	37.46	246.34	382.95	136.61	1.1564	1.5916
42	6.271	0.773	25.97	1.294	38.50	247.52	383.47	135.95	1.1601	1.5919
43	6.444	0.775	25.27	1.290	39.58	248.70	383.99	135.29	1.1638	1.5921
44	6.621	0.777	24.59	1.287	40.67	249.88	384.51	134.62	1.1674	1.5924
45	6.801	0.780	23.92	1.283	41.80	251.07	385.02	133.95	1.1711	1.5926
46	6.985	0.782	23.28	1.279	42.95	252.26	385.53	133.27	1.1748	1.5928
47	7.173	0.784	22.66	1.275	44.12	253.45	386.04	132.59	1.1784	1.5931
48	7.364	0.787	22.06	1.271	45.33	254.64	386.55	131.90	1.1821	1.5933
49	7.559	0.789	21.48	1.267	46.56	255.84	387.05	131.21	1.1858	1.5936
50	7.758	0.792	20.91	1.263	47.82	257.04	387.55	130.51	1.1894	1.5938
51	7.961	0.794	20.36	1.259	49.11	258.24	388.04	129.80	1.1931	1.5941
52	8.168	0.797	19.83	1.255	50.43	259.45	388.54	129.09	1.1967	1.5943
53	8.379	0.799	19.31	1.251	51.78	260.65	389.03	128.38	1.2004	1.5945
54	8.593	0.802	18.81	1.247	53.16	261.86	389.52	127.65	1.2040	1.5948
55	8.812	0.805	18.32	1.243	54.57	263.08	390.00	126.92	1.2077	1.5950
56	9.035	0.807	17.85	1.239	56.02	264.29	390.48	126.18	1.2113	1.5952
57	9.262	0.810	17.39	1.235	57.50	265.52	390.95	125.44	1.2150	1.5955
58	9.494	0.813	16.94	1.230	59.02	266.74	391.43	124.69	1.2187	1.5957
59	9.730	0.816	16.51	1.226	60.57	267.97	391.90	123.93	1.2223	1.5959

Sol Kane® 124

Release 1.01

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
60	9.970	0.818	16.09	1.222	62.16	269.20	392.36	123.16	1.2260	1.5961
61	10.214	0.821	15.68	1.217	63.78	270.43	392.82	122.39	1.2296	1.5964
62	10.463	0.824	15.28	1.213	65.45	271.67	393.28	121.61	1.2333	1.5966
63	10.716	0.827	14.89	1.209	67.15	272.91	393.73	120.81	1.2369	1.5968
64	10.974	0.830	14.51	1.204	68.89	274.16	394.17	120.01	1.2406	1.5970
65	11.237	0.833	14.15	1.200	70.68	275.41	394.62	119.21	1.2443	1.5972
66	11.504	0.837	13.79	1.195	72.51	276.67	395.05	118.39	1.2479	1.5974
67	11.776	0.840	13.44	1.191	74.38	277.93	395.49	117.56	1.2516	1.5975
68	12.052	0.843	13.11	1.186	76.30	279.19	395.91	116.72	1.2553	1.5977
69	12.334	0.846	12.78	1.182	78.27	280.46	396.34	115.87	1.2590	1.5979
70	12.620	0.850	12.46	1.177	80.29	281.74	396.75	115.02	1.2627	1.5981
71	12.911	0.853	12.14	1.172	82.35	283.02	397.16	114.15	1.2663	1.5982
72	13.207	0.857	11.84	1.167	84.47	284.30	397.57	113.27	1.2700	1.5984
73	13.508	0.860	11.54	1.162	86.64	285.59	397.97	112.37	1.2737	1.5985
74	13.815	0.864	11.25	1.158	88.87	286.89	398.36	111.47	1.2774	1.5986
75	14.126	0.868	10.97	1.153	91.15	288.20	398.75	110.55	1.2812	1.5987
76	14.443	0.871	10.70	1.148	93.49	289.51	399.13	109.62	1.2849	1.5988
77	14.765	0.875	10.43	1.143	95.90	290.82	399.50	108.68	1.2886	1.5989
78	15.092	0.879	10.17	1.137	98.36	292.15	399.86	107.72	1.2924	1.5990
79	15.425	0.883	9.91	1.132	100.90	293.48	400.22	106.74	1.2961	1.5991
80	15.764	0.887	9.66	1.127	103.50	294.82	400.57	105.75	1.2999	1.5991
81	16.107	0.892	9.42	1.122	106.18	296.16	400.91	104.75	1.3036	1.5992
82	16.457	0.896	9.18	1.116	108.93	297.52	401.25	103.73	1.3074	1.5992
83	16.812	0.900	8.95	1.111	111.76	298.88	401.57	102.69	1.3112	1.5992
84	17.173	0.905	8.72	1.105	114.67	300.25	401.88	101.63	1.3150	1.5992
85	17.539	0.909	8.50	1.100	117.67	301.63	402.18	100.55	1.3188	1.5991
86	17.912	0.914	8.28	1.094	120.77	303.02	402.48	99.45	1.3226	1.5991
87	18.290	0.919	8.07	1.088	123.96	304.42	402.76	98.33	1.3264	1.5990
88	18.675	0.924	7.86	1.082	127.25	305.83	403.02	97.19	1.3303	1.5989
89	19.066	0.929	7.65	1.076	130.66	307.25	403.28	96.03	1.3341	1.5988
90	19.462	0.934	7.45	1.070	134.19	308.68	403.51	94.83	1.3380	1.5986
91	19.865	0.940	7.25	1.064	137.84	310.12	403.74	93.62	1.3419	1.5984
92	20.275	0.946	7.06	1.058	141.64	311.57	403.94	92.37	1.3458	1.5981
93	20.691	0.951	6.87	1.051	145.59	313.04	404.12	91.08	1.3497	1.5978
94	21.113	0.957	6.68	1.045	149.72	314.51	404.28	89.77	1.3536	1.5975
95	21.542	0.964	6.49	1.038	154.05	316.00	404.41	88.41	1.3576	1.5971
96	21.977	0.970	6.31	1.031	158.60	317.50	404.51	87.01	1.3615	1.5966
97	22.419	0.977	6.12	1.024	163.42	319.02	404.57	85.55	1.3655	1.5960
98	22.869	0.983	5.93	1.017	168.56	320.55	404.58	84.04	1.3695	1.5953
99	23.325	0.991	5.74	1.009	174.10	322.09	404.54	82.44	1.3735	1.5945
100	23.788	0.998	5.55	1.002	180.18	323.65	404.40	80.75	1.3775	1.5934
101	24.258	1.006	5.35	0.994	187.02	325.22	404.15	78.92	1.3816	1.5920
102	24.736	1.014	5.12	0.986	195.12	326.81	403.69	76.87	1.3857	1.5901
103	25.220	1.022	4.85	0.978	206.05	328.42	402.75	74.33	1.3897	1.5870

12.2.3 Solkane®

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-80	0.156	0.616	849.99	1.624	1.18	107.32	288.83	181.51	0.6102	1.5392
-79	0.167	0.617	796.18	1.621	1.26	108.52	289.40	180.88	0.6153	1.5374
-78	0.179	0.618	746.38	1.618	1.34	109.71	289.97	180.26	0.6204	1.5356
-77	0.191	0.619	700.24	1.614	1.43	110.89	290.55	179.65	0.6255	1.5339
-76	0.205	0.621	657.45	1.611	1.52	112.06	291.12	179.06	0.6306	1.5322
-75	0.219	0.622	617.75	1.608	1.62	113.23	291.70	178.47	0.6357	1.5306
-74	0.234	0.623	580.87	1.604	1.72	114.38	292.27	177.89	0.6409	1.5290
-73	0.250	0.625	546.59	1.601	1.83	115.53	292.85	177.32	0.6460	1.5274
-72	0.266	0.626	514.70	1.598	1.94	116.67	293.43	176.76	0.6511	1.5259
-71	0.284	0.627	485.01	1.594	2.06	117.80	294.00	176.20	0.6562	1.5245
-70	0.302	0.629	457.35	1.591	2.19	118.93	294.58	175.65	0.6614	1.5230
-69	0.321	0.630	431.55	1.588	2.32	120.05	295.15	175.10	0.6665	1.5216
-68	0.342	0.631	407.48	1.584	2.45	121.17	295.73	174.56	0.6716	1.5203
-67	0.363	0.633	385.00	1.581	2.60	122.29	296.31	174.02	0.6767	1.5190
-66	0.386	0.634	364.00	1.578	2.75	123.40	296.88	173.49	0.6818	1.5177
-65	0.409	0.635	344.36	1.574	2.90	124.50	297.46	172.95	0.6870	1.5164
-64	0.434	0.637	325.97	1.571	3.07	125.61	298.03	172.43	0.6921	1.5152
-63	0.460	0.638	308.76	1.567	3.24	126.71	298.61	171.90	0.6972	1.5141
-62	0.487	0.639	292.63	1.564	3.42	127.81	299.19	171.37	0.7023	1.5129
-61	0.515	0.641	277.50	1.560	3.60	128.91	299.76	170.85	0.7074	1.5118
-60	0.545	0.642	263.31	1.557	3.80	130.01	300.34	170.33	0.7125	1.5108
-59	0.576	0.644	249.98	1.554	4.00	131.11	300.91	169.80	0.7175	1.5097
-58	0.608	0.645	237.46	1.550	4.21	132.21	301.49	169.28	0.7226	1.5087
-57	0.642	0.647	225.69	1.547	4.43	133.30	302.06	168.76	0.7277	1.5077
-56	0.678	0.648	214.61	1.543	4.66	134.40	302.63	168.23	0.7328	1.5068
-55	0.715	0.650	204.19	1.540	4.90	135.50	303.21	167.71	0.7378	1.5059
-54	0.753	0.651	194.37	1.536	5.14	136.60	303.78	167.18	0.7429	1.5050
-53	0.793	0.653	185.12	1.532	5.40	137.70	304.35	166.65	0.7479	1.5041
-52	0.835	0.654	176.40	1.529	5.67	138.80	304.92	166.12	0.7529	1.5033
-51	0.879	0.656	168.17	1.525	5.95	139.90	305.49	165.59	0.7580	1.5025
-50	0.924	0.657	160.40	1.522	6.23	141.01	306.06	165.06	0.7630	1.5017
-49	0.971	0.659	153.06	1.518	6.53	142.11	306.63	164.52	0.7680	1.5009
-48	1.020	0.660	146.12	1.515	6.84	143.22	307.20	163.98	0.7730	1.5002
-47	1.071	0.662	139.57	1.511	7.17	144.33	307.77	163.44	0.7780	1.4995
-46	1.124	0.663	133.36	1.507	7.50	145.45	308.34	162.89	0.7829	1.4988
-45	1.179	0.665	127.49	1.504	7.84	146.56	308.90	162.34	0.7879	1.4981
-44	1.236	0.667	121.93	1.500	8.20	147.68	309.47	161.79	0.7929	1.4975
-43	1.295	0.668	116.66	1.496	8.57	148.80	310.03	161.23	0.7978	1.4969
-42	1.357	0.670	111.66	1.493	8.96	149.92	310.60	160.67	0.8027	1.4963
-41	1.421	0.672	106.92	1.489	9.35	151.05	311.16	160.11	0.8077	1.4957
-40	1.486	0.673	102.42	1.485	9.76	152.18	311.72	159.54	0.8126	1.4952
-39	1.555	0.675	98.15	1.482	10.19	153.31	312.28	158.97	0.8175	1.4946
-38	1.626	0.677	94.10	1.478	10.63	154.45	312.84	158.39	0.8224	1.4941
-37	1.699	0.678	90.25	1.474	11.08	155.59	313.40	157.81	0.8272	1.4936
-36	1.774	0.680	86.58	1.470	11.55	156.73	313.96	157.22	0.8321	1.4932
-35	1.853	0.682	83.10	1.467	12.03	157.88	314.51	156.63	0.8370	1.4927
-34	1.934	0.684	79.78	1.463	12.53	159.03	315.07	156.04	0.8418	1.4923
-33	2.017	0.685	76.62	1.459	13.05	160.18	315.62	155.44	0.8466	1.4918
-32	2.104	0.687	73.62	1.455	13.58	161.34	316.17	154.83	0.8514	1.4914
-31	2.193	0.689	70.75	1.451	14.13	162.50	316.72	154.22	0.8562	1.4910

Sol Kane® 125

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-30	2.285	0.691	68.02	1.447	14.70	163.66	317.27	153.61	0.8610	1.4907
-29	2.380	0.693	65.42	1.443	15.29	164.83	317.82	152.99	0.8658	1.4903
-28	2.478	0.695	62.93	1.439	15.89	166.00	318.36	152.36	0.8706	1.4900
-27	2.580	0.697	60.56	1.436	16.51	167.17	318.90	151.73	0.8754	1.4896
-26	2.684	0.699	58.30	1.432	17.15	168.35	319.45	151.10	0.8801	1.4893
-25	2.791	0.700	56.13	1.428	17.81	169.53	319.99	150.46	0.8848	1.4890
-24	2.902	0.702	54.07	1.424	18.50	170.71	320.53	149.81	0.8896	1.4887
-23	3.016	0.704	52.09	1.420	19.20	171.90	321.06	149.16	0.8943	1.4885
-22	3.134	0.706	50.20	1.416	19.92	173.09	321.60	148.50	0.8990	1.4882
-21	3.255	0.708	48.40	1.411	20.66	174.29	322.13	147.84	0.9037	1.4879
-20	3.379	0.711	46.67	1.407	21.43	175.48	322.66	147.18	0.9083	1.4877
-19	3.507	0.713	45.01	1.403	22.22	176.69	323.19	146.51	0.9130	1.4875
-18	3.639	0.715	43.43	1.399	23.03	177.89	323.72	145.83	0.9177	1.4873
-17	3.774	0.717	41.91	1.395	23.86	179.10	324.24	145.15	0.9223	1.4871
-16	3.913	0.719	40.45	1.391	24.72	180.31	324.77	144.46	0.9269	1.4869
-15	4.056	0.721	39.05	1.387	25.61	181.52	325.29	143.76	0.9316	1.4867
-14	4.203	0.723	37.72	1.382	26.51	182.74	325.80	143.07	0.9362	1.4865
-13	4.354	0.726	36.43	1.378	27.45	183.96	326.32	142.36	0.9408	1.4863
-12	4.509	0.728	35.20	1.374	28.41	185.18	326.83	141.65	0.9454	1.4862
-11	4.668	0.730	34.02	1.370	29.40	186.41	327.34	140.94	0.9500	1.4860
-10	4.831	0.732	32.88	1.365	30.41	187.64	327.85	140.22	0.9546	1.4859
-9	4.999	0.735	31.79	1.361	31.46	188.87	328.36	139.49	0.9591	1.4857
-8	5.171	0.737	30.74	1.357	32.53	190.10	328.86	138.76	0.9637	1.4856
-7	5.347	0.740	29.73	1.352	33.64	191.34	329.36	138.02	0.9683	1.4855
-6	5.528	0.742	28.76	1.348	34.77	192.58	329.86	137.27	0.9728	1.4854
-5	5.713	0.744	27.83	1.343	35.93	193.83	330.35	136.52	0.9774	1.4853
-4	5.903	0.747	26.93	1.339	37.13	195.08	330.84	135.77	0.9819	1.4852
-3	6.097	0.750	26.07	1.334	38.36	196.33	331.33	135.00	0.9864	1.4851
-2	6.297	0.752	25.24	1.330	39.63	197.58	331.82	134.23	0.9910	1.4850
-1	6.501	0.755	24.44	1.325	40.92	198.84	332.30	133.46	0.9955	1.4849
0	6.710	0.757	23.66	1.320	42.26	200.00	332.78	132.78	1.0000	1.4848
1	6.924	0.760	22.92	1.316	43.63	201.36	333.25	131.89	1.0045	1.4847
2	7.143	0.763	22.20	1.311	45.04	202.63	333.72	131.09	1.0090	1.4846
3	7.368	0.766	21.51	1.306	46.48	203.90	334.19	130.29	1.0135	1.4845
4	7.597	0.768	20.85	1.301	47.97	205.17	334.65	129.48	1.0180	1.4844
5	7.832	0.771	20.20	1.297	49.49	206.45	335.11	128.66	1.0225	1.4844
6	8.072	0.774	19.58	1.292	51.06	207.73	335.57	127.84	1.0270	1.4843
7	8.318	0.777	18.99	1.287	52.67	209.02	336.02	127.01	1.0315	1.4842
8	8.569	0.780	18.41	1.282	54.32	210.30	336.47	126.17	1.0360	1.4841
9	8.826	0.783	17.85	1.277	56.02	211.60	336.91	125.32	1.0405	1.4840
10	9.088	0.786	17.31	1.272	57.77	212.89	337.35	124.46	1.0450	1.4840
11	9.356	0.789	16.79	1.267	59.56	214.19	337.79	123.59	1.0495	1.4839
12	9.631	0.793	16.29	1.262	61.40	215.50	338.21	122.72	1.0540	1.4838
13	9.911	0.796	15.80	1.256	63.29	216.81	338.64	121.83	1.0585	1.4837
14	10.197	0.799	15.33	1.251	65.24	218.12	339.06	120.94	1.0630	1.4836
15	10.489	0.803	14.87	1.246	67.24	219.44	339.47	120.03	1.0676	1.4835
16	10.787	0.806	14.43	1.241	69.29	220.76	339.88	119.12	1.0721	1.4834
17	11.092	0.810	14.01	1.235	71.40	222.09	340.28	118.19	1.0766	1.4833
18	11.403	0.813	13.59	1.230	73.57	223.43	340.68	117.25	1.0811	1.4832
19	11.721	0.817	13.19	1.224	75.80	224.77	341.07	116.30	1.0857	1.4831

Solkane® 125

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
20	12.045	0.821	12.81	1.219	78.09	226.11	341.45	115.34	1.0902	1.4830
21	12.376	0.824	12.43	1.213	80.45	227.47	341.83	114.37	1.0948	1.4828
22	12.713	0.828	12.07	1.207	82.87	228.83	342.20	113.38	1.0993	1.4827
23	13.058	0.832	11.71	1.201	85.37	230.19	342.57	112.37	1.1039	1.4825
24	13.409	0.836	11.37	1.196	87.93	231.57	342.92	111.36	1.1085	1.4824
25	13.767	0.841	11.04	1.190	90.57	232.95	343.27	110.32	1.1131	1.4822
26	14.132	0.845	10.72	1.184	93.29	234.34	343.61	109.27	1.1177	1.4820
27	14.505	0.849	10.41	1.178	96.09	235.74	343.95	108.21	1.1223	1.4818
28	14.885	0.854	10.10	1.171	98.97	237.14	344.27	107.13	1.1269	1.4816
29	15.273	0.858	9.81	1.165	101.94	238.56	344.59	106.03	1.1316	1.4813
30	15.667	0.863	9.52	1.159	105.00	239.99	344.89	104.91	1.1362	1.4811
31	16.070	0.868	9.25	1.152	108.16	241.42	345.19	103.76	1.1409	1.4808
32	16.480	0.873	8.98	1.146	111.41	242.87	345.48	102.60	1.1456	1.4805
33	16.899	0.878	8.71	1.139	114.77	244.33	345.75	101.42	1.1504	1.4802
34	17.325	0.883	8.46	1.132	118.23	245.80	346.02	100.21	1.1551	1.4799
35	17.759	0.889	8.21	1.125	121.81	247.28	346.27	99.98	1.1599	1.4795
36	18.201	0.894	7.97	1.118	125.51	248.78	346.51	97.73	1.1646	1.4792
37	18.652	0.900	7.73	1.111	129.33	250.29	346.73	96.45	1.1694	1.4788
38	19.111	0.906	7.50	1.104	133.28	251.81	346.95	95.13	1.1743	1.4783
39	19.579	0.912	7.28	1.096	137.37	253.35	347.15	93.79	1.1791	1.4778
40	20.056	0.918	7.06	1.089	141.61	254.90	347.33	92.42	1.1840	1.4773
41	20.541	0.925	6.85	1.081	146.00	256.47	347.49	91.02	1.1889	1.4768
42	21.036	0.932	6.64	1.073	150.56	258.06	347.64	89.58	1.1938	1.4762
43	21.539	0.939	6.44	1.065	155.29	259.67	347.77	88.11	1.1988	1.4756
44	22.052	0.947	6.24	1.056	160.22	261.29	347.88	86.59	1.2038	1.4749
45	22.574	0.954	6.05	1.048	165.34	262.93	347.97	85.04	1.2088	1.4741
46	23.106	0.962	5.86	1.039	170.68	264.60	348.03	83.44	1.2139	1.4734
47	23.647	0.971	5.67	1.030	176.25	266.28	348.07	81.79	1.2190	1.4725
48	24.199	0.980	5.49	1.021	182.08	267.98	348.08	80.10	1.2241	1.4716
49	24.761	0.989	5.31	1.011	188.19	269.71	348.07	78.35	1.2293	1.4706
50	25.333	0.999	5.14	1.001	194.60	271.47	348.01	76.55	1.2345	1.4695
51	25.915	1.009	4.97	0.991	201.34	273.24	347.92	74.68	1.2397	1.4683
52	26.508	1.021	4.80	0.980	208.46	275.05	347.79	72.75	1.2450	1.4670
53	27.112	1.032	4.63	0.969	215.99	276.87	347.62	70.74	1.2503	1.4656
54	27.728	1.045	4.46	0.957	224.00	278.73	347.39	68.66	1.2557	1.4640
55	28.355	1.059	4.30	0.945	232.55	280.62	347.10	66.48	1.2611	1.4623
56	28.993	1.073	4.14	0.932	241.73	282.53	346.74	64.21	1.2666	1.4604
57	29.644	1.090	3.97	0.918	251.66	284.48	346.30	61.81	1.2721	1.4583
58	30.307	1.107	3.81	0.903	262.50	286.46	345.75	59.29	1.2776	1.4558
59	30.984	1.127	3.64	0.887	274.48	288.48	345.08	56.60	1.2832	1.4530
60	31.673	1.150	3.47	0.870	287.93	290.52	344.24	53.71	1.2889	1.4498
61	32.377	1.175	3.30	0.851	303.42	292.61	343.17	50.56	1.2946	1.4458
62	33.095	1.206	3.11	0.829	322.02	294.73	341.74	47.01	1.3003	1.4409

12.2.4 Solkane® 143a

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-70	0.299	0.814	657.92	1.228	1.52	103.87	346.34	242.47	0.5991	1.7908
-69	0.318	0.816	622.02	1.225	1.61	105.25	346.99	241.74	0.6052	1.7882
-68	0.337	0.818	588.45	1.223	1.70	106.61	347.63	241.02	0.6112	1.7856
-67	0.358	0.820	557.02	1.220	1.80	107.97	348.28	240.31	0.6173	1.7830
-66	0.379	0.821	527.59	1.218	1.90	109.31	348.92	239.61	0.6234	1.7805
-65	0.402	0.823	500.01	1.215	2.00	110.65	349.57	238.92	0.6294	1.7781
-64	0.425	0.825	474.15	1.213	2.11	111.97	350.21	238.24	0.6355	1.7757
-63	0.450	0.826	449.88	1.210	2.22	113.29	350.85	237.56	0.6415	1.7733
-62	0.475	0.828	427.08	1.207	2.34	114.61	351.49	236.88	0.6475	1.7710
-61	0.502	0.830	405.67	1.205	2.47	115.92	352.14	236.22	0.6536	1.7688
-60	0.530	0.832	385.53	1.202	2.59	117.23	352.78	235.55	0.6596	1.7666
-59	0.560	0.834	366.59	1.200	2.73	118.53	353.42	234.89	0.6656	1.7644
-58	0.590	0.835	348.77	1.197	2.87	119.83	354.06	234.23	0.6716	1.7623
-57	0.622	0.837	331.98	1.194	3.01	121.12	354.70	233.57	0.6776	1.7602
-56	0.656	0.839	316.15	1.192	3.16	122.42	355.33	232.91	0.6835	1.7582
-55	0.690	0.841	301.23	1.189	3.32	123.71	355.97	232.26	0.6895	1.7562
-54	0.726	0.843	287.15	1.186	3.48	125.01	356.61	231.60	0.6955	1.7542
-53	0.764	0.845	273.86	1.184	3.65	126.30	357.24	230.94	0.7014	1.7523
-52	0.803	0.847	261.31	1.181	3.83	127.59	357.88	230.29	0.7074	1.7504
-51	0.844	0.849	249.45	1.178	4.01	128.89	358.51	229.62	0.7133	1.7486
-50	0.886	0.851	238.23	1.176	4.20	130.18	359.14	228.96	0.7192	1.7468
-49	0.931	0.852	227.62	1.173	4.39	131.48	359.77	228.30	0.7251	1.7450
-48	0.976	0.854	217.57	1.170	4.60	132.78	360.40	227.63	0.7310	1.7433
-47	1.024	0.856	208.06	1.168	4.81	134.08	361.03	226.95	0.7369	1.7416
-46	1.073	0.858	199.05	1.165	5.02	135.38	361.66	226.28	0.7428	1.7399
-45	1.124	0.860	190.51	1.162	5.25	136.69	362.28	225.60	0.7487	1.7383
-44	1.177	0.863	182.40	1.159	5.48	138.00	362.91	224.91	0.7545	1.7367
-43	1.232	0.865	174.71	1.157	5.72	139.31	363.53	224.22	0.7603	1.7351
-42	1.289	0.867	167.41	1.154	5.97	140.63	364.15	223.52	0.7662	1.7336
-41	1.349	0.869	160.48	1.151	6.23	141.95	364.77	222.82	0.7720	1.7321
-40	1.410	0.871	153.89	1.148	6.50	143.27	365.39	222.11	0.7778	1.7306
-39	1.473	0.873	147.63	1.146	6.77	144.60	366.00	221.40	0.7836	1.7292
-38	1.539	0.875	141.68	1.143	7.06	145.94	366.62	220.68	0.7894	1.7277
-37	1.606	0.877	136.01	1.140	7.35	147.28	367.23	219.95	0.7951	1.7263
-36	1.676	0.879	130.61	1.137	7.66	148.62	367.84	219.22	0.8009	1.7250
-35	1.749	0.882	125.48	1.134	7.97	149.97	368.45	218.48	0.8066	1.7236
-34	1.823	0.884	120.58	1.131	8.29	151.32	369.06	217.73	0.8123	1.7223
-33	1.901	0.886	115.92	1.129	8.63	152.68	369.66	216.98	0.8180	1.7210
-32	1.980	0.888	111.47	1.126	8.97	154.04	370.26	216.22	0.8237	1.7198
-31	2.063	0.891	107.23	1.123	9.33	155.41	370.86	215.45	0.8294	1.7185
-30	2.148	0.893	103.18	1.120	9.69	156.79	371.46	214.68	0.8351	1.7173
-29	2.235	0.895	99.31	1.117	10.07	158.16	372.06	213.89	0.8407	1.7161
-28	2.326	0.898	95.62	1.114	10.46	159.55	372.65	213.10	0.8464	1.7150
-27	2.419	0.900	92.09	1.111	10.86	160.94	373.24	212.31	0.8520	1.7138
-26	2.515	0.902	88.72	1.108	11.27	162.33	373.83	211.50	0.8576	1.7127
-25	2.613	0.905	85.50	1.105	11.70	163.73	374.42	210.69	0.8633	1.7116
-24	2.715	0.907	82.41	1.102	12.13	165.14	375.00	209.87	0.8689	1.7105
-23	2.820	0.910	79.46	1.099	12.58	166.55	375.59	209.04	0.8744	1.7094
-22	2.928	0.912	76.64	1.096	13.05	167.96	376.16	208.20	0.8800	1.7084
-21	3.039	0.915	73.94	1.093	13.53	169.38	376.74	207.36	0.8856	1.7074

Solkane® 143a

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-20	3.153	0.917	71.35	1.090	14.02	170.81	377.31	206.51	0.8911	1.7063
-19	3.270	0.920	68.86	1.087	14.52	172.24	377.88	205.65	0.8967	1.7053
-18	3.391	0.922	66.49	1.084	15.04	173.67	378.45	204.78	0.9022	1.7044
-17	3.515	0.925	64.20	1.081	15.58	175.11	379.02	203.91	0.9077	1.7034
-16	3.643	0.928	62.02	1.078	16.12	176.55	379.58	203.03	0.9132	1.7025
-15	3.774	0.930	59.92	1.075	16.69	178.00	380.14	202.14	0.9187	1.7015
-14	3.908	0.933	57.90	1.072	17.27	179.45	380.69	201.24	0.9242	1.7006
-13	4.046	0.936	55.97	1.069	17.87	180.91	381.24	200.33	0.9296	1.6997
-12	4.188	0.939	54.11	1.065	18.48	182.37	381.79	199.42	0.9351	1.6988
-11	4.334	0.941	52.32	1.062	19.11	183.84	382.34	198.50	0.9406	1.6979
-10	4.483	0.944	50.61	1.059	19.76	185.31	382.88	197.57	0.9460	1.6971
-9	4.636	0.947	48.96	1.056	20.42	186.78	383.42	196.64	0.9514	1.6962
-8	4.793	0.950	47.37	1.053	21.11	188.26	383.95	195.69	0.9569	1.6954
-7	4.954	0.953	45.85	1.049	21.81	189.74	384.48	194.74	0.9623	1.6946
-6	5.119	0.956	44.38	1.046	22.53	191.23	385.01	193.79	0.9677	1.6937
-5	5.289	0.959	42.97	1.043	23.27	192.71	385.53	192.82	0.9731	1.6929
-4	5.462	0.962	41.61	1.039	24.03	194.21	386.05	191.85	0.9785	1.6921
-3	5.640	0.965	40.30	1.036	24.82	195.70	386.57	190.86	0.9839	1.6914
-2	5.822	0.968	39.03	1.033	25.62	197.20	387.08	189.87	0.9893	1.6906
-1	6.008	0.971	37.82	1.029	26.44	198.71	387.58	188.88	0.9946	1.6898
0	6.199	0.975	36.65	1.026	27.29	200.00	388.08	188.08	1.0000	1.6890
1	6.394	0.978	35.51	1.023	28.16	201.72	388.58	186.86	1.0054	1.6883
2	6.594	0.981	34.42	1.019	29.05	203.24	389.07	185.84	1.0107	1.6875
3	6.799	0.985	33.37	1.016	29.96	204.75	389.56	184.81	1.0161	1.6868
4	7.008	0.988	32.36	1.012	30.90	206.27	390.04	183.77	1.0214	1.6860
5	7.222	0.991	31.38	1.009	31.87	207.80	390.52	182.72	1.0268	1.6853
6	7.441	0.995	30.43	1.005	32.86	209.32	390.99	181.67	1.0321	1.6846
7	7.665	0.999	29.52	1.001	33.88	210.86	391.46	180.60	1.0375	1.6838
8	7.894	1.002	28.64	0.998	34.92	212.39	391.92	179.53	1.0428	1.6831
9	8.128	1.006	27.78	0.994	35.99	213.93	392.37	178.45	1.0482	1.6824
10	8.367	1.009	26.96	0.991	37.09	215.47	392.82	177.35	1.0535	1.6816
11	8.611	1.013	26.16	0.987	38.22	217.01	393.27	176.25	1.0589	1.6809
12	8.861	1.017	25.39	0.983	39.38	218.56	393.70	175.14	1.0642	1.6802
13	9.116	1.021	24.65	0.979	40.57	220.12	394.14	174.02	1.0696	1.6795
14	9.376	1.025	23.93	0.976	41.79	221.67	394.56	172.89	1.0749	1.6787
15	9.642	1.029	23.23	0.972	43.05	223.24	394.98	171.74	1.0803	1.6780
16	9.914	1.033	22.56	0.968	44.34	224.80	395.39	170.59	1.0856	1.6773
17	10.191	1.037	21.90	0.964	45.66	226.37	395.79	169.42	1.0910	1.6766
18	10.474	1.041	21.27	0.960	47.02	227.95	396.19	168.24	1.0964	1.6758
19	10.763	1.046	20.66	0.956	48.41	229.53	396.58	167.04	1.1017	1.6751
20	11.058	1.050	20.06	0.952	49.85	231.12	396.96	165.84	1.1071	1.6743
21	11.358	1.055	19.49	0.948	51.32	232.71	397.33	164.62	1.1125	1.6736
22	11.665	1.059	18.93	0.944	52.84	234.31	397.69	163.38	1.1179	1.6728
23	11.978	1.064	18.39	0.940	54.39	235.91	398.05	162.13	1.1233	1.6720
24	12.297	1.068	17.86	0.936	55.99	237.53	398.40	160.87	1.1287	1.6712
25	12.623	1.073	17.35	0.932	57.63	239.14	398.73	159.59	1.1341	1.6705
26	12.954	1.078	16.86	0.927	59.32	240.77	399.06	158.29	1.1396	1.6697
27	13.293	1.083	16.38	0.923	61.06	242.41	399.38	156.97	1.1450	1.6688
28	13.638	1.088	15.91	0.919	62.85	244.05	399.69	155.64	1.1505	1.6680
29	13.989	1.094	15.46	0.914	64.69	245.70	399.98	154.28	1.1560	1.6672

Solkane® 143a

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
30	14.348	1.099	15.02	0.910	66.58	247.36	400.27	152.90	1.1614	1.6663
31	14.713	1.104	14.59	0.906	68.53	249.04	400.54	151.51	1.1670	1.6654
32	15.085	1.110	14.18	0.901	70.53	250.72	400.81	150.09	1.1725	1.6645
33	15.464	1.116	13.77	0.896	72.60	252.41	401.06	148.64	1.1780	1.6636
34	15.850	1.122	13.38	0.892	74.72	254.12	401.29	147.18	1.1836	1.6627
35	16.244	1.128	13.00	0.887	76.92	255.84	401.52	145.68	1.1891	1.6617
36	16.644	1.134	12.63	0.882	79.17	257.57	401.73	144.16	1.1947	1.6607
37	17.052	1.140	12.27	0.877	81.50	259.32	401.93	142.61	1.2004	1.6597
38	17.468	1.147	11.92	0.872	83.91	261.08	402.11	141.03	1.2060	1.6587
39	17.891	1.153	11.58	0.867	86.39	262.85	402.27	139.42	1.2117	1.6576
40	18.322	1.160	11.24	0.862	88.95	264.65	402.42	137.77	1.2174	1.6565
41	18.761	1.167	10.92	0.857	91.60	266.46	402.55	136.09	1.2231	1.6554
42	19.207	1.174	10.60	0.851	94.33	268.29	402.66	134.38	1.2288	1.6542
43	19.662	1.182	10.29	0.846	97.16	270.14	402.76	132.62	1.2346	1.6530
44	20.125	1.190	9.99	0.841	100.09	272.01	402.83	130.83	1.2404	1.6518
45	20.596	1.198	9.70	0.835	103.12	273.90	402.89	128.99	1.2462	1.6505
46	21.075	1.206	9.41	0.829	106.27	275.81	402.92	127.10	1.2520	1.6492
47	21.563	1.214	9.13	0.823	109.53	277.75	402.92	125.17	1.2579	1.6478
48	22.060	1.223	8.86	0.817	112.91	279.71	402.91	123.19	1.2639	1.6463
49	22.565	1.233	8.59	0.811	116.42	281.70	402.86	121.16	1.2698	1.6448
50	23.079	1.242	8.33	0.805	120.08	283.72	402.79	119.07	1.2758	1.6432
51	23.603	1.252	8.07	0.799	123.88	285.76	402.69	116.93	1.2818	1.6416
52	24.135	1.263	7.82	0.792	127.85	287.84	402.55	114.72	1.2879	1.6399
53	24.677	1.273	7.58	0.785	131.99	289.94	402.38	112.44	1.2940	1.6381
54	25.228	1.285	7.34	0.778	136.32	292.08	402.18	110.09	1.3001	1.6362
55	25.789	1.297	7.10	0.771	140.85	294.26	401.93	107.67	1.3063	1.6342
56	26.359	1.309	6.87	0.764	145.60	296.47	401.64	105.17	1.3125	1.6321
57	26.940	1.323	6.64	0.756	150.60	298.71	401.30	102.59	1.3188	1.6299
58	27.530	1.337	6.42	0.748	155.86	301.00	400.91	99.91	1.3251	1.6275
59	28.132	1.352	6.20	0.740	161.42	303.33	400.46	97.13	1.3315	1.6250
60	28.743	1.368	5.98	0.731	167.31	305.70	399.95	94.25	1.3379	1.6224
61	29.366	1.385	5.76	0.722	173.58	308.11	399.36	91.25	1.3443	1.6195
62	30.000	1.403	5.55	0.713	180.27	310.57	398.69	88.11	1.3508	1.6164
63	30.645	1.423	5.33	0.703	187.46	313.08	397.92	84.84	1.3574	1.6131
64	31.302	1.445	5.12	0.692	195.23	315.64	397.04	81.40	1.3640	1.6095
65	31.971	1.469	4.91	0.681	203.70	318.25	396.02	77.77	1.3706	1.6055
66	32.653	1.496	4.69	0.668	213.03	320.92	394.83	73.91	1.3773	1.6010
67	33.347	1.527	4.47	0.655	223.48	323.64	393.42	69.78	1.3841	1.5959
68	34.056	1.562	4.25	0.640	235.46	326.42	391.71	65.29	1.3909	1.5900
69	34.778	1.604	4.00	0.624	249.75	329.26	389.54	60.28	1.3978	1.5827

12.2.5 Solkane® 152a

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-60	0.150	0.923	1764.96	1.083	0.57	103.16	462.78	359.62	0.6006	2.2884
-59	0.160	0.925	1663.90	1.081	0.60	104.73	463.55	358.82	0.6077	2.2841
-58	0.170	0.927	1569.62	1.079	0.64	106.29	464.32	358.02	0.6149	2.2799
-57	0.181	0.928	1481.62	1.077	0.67	107.85	465.08	357.23	0.6220	2.2758
-56	0.193	0.930	1399.42	1.075	0.71	109.41	465.85	356.44	0.6291	2.2718
-55	0.205	0.932	1322.58	1.073	0.76	110.97	466.62	355.65	0.6362	2.2678
-54	0.217	0.933	1250.71	1.072	0.80	112.53	467.39	354.86	0.6433	2.2639
-53	0.231	0.935	1183.44	1.070	0.84	114.09	468.16	354.07	0.6503	2.2600
-52	0.245	0.937	1120.44	1.068	0.89	115.65	468.93	353.27	0.6573	2.2563
-51	0.259	0.938	1061.40	1.066	0.94	117.21	469.69	352.48	0.6644	2.2525
-50	0.274	0.940	1006.03	1.064	0.99	118.77	470.46	351.69	0.6714	2.2489
-49	0.290	0.942	954.07	1.062	1.05	120.33	471.23	350.90	0.6784	2.2453
-48	0.307	0.944	905.29	1.060	1.10	121.89	471.99	350.10	0.6853	2.2417
-47	0.325	0.945	859.46	1.058	1.16	123.45	472.76	349.31	0.6923	2.2383
-46	0.343	0.947	816.38	1.056	1.22	125.01	473.52	348.51	0.6992	2.2348
-45	0.362	0.949	775.87	1.054	1.29	126.57	474.28	347.71	0.7061	2.2315
-44	0.383	0.951	737.73	1.052	1.36	128.14	475.05	346.91	0.7130	2.2282
-43	0.404	0.952	701.82	1.050	1.42	129.71	475.81	346.10	0.7199	2.2249
-42	0.425	0.954	667.99	1.048	1.50	131.27	476.57	345.30	0.7268	2.2217
-41	0.448	0.956	636.10	1.046	1.57	132.85	477.33	344.49	0.7336	2.2186
-40	0.472	0.958	606.02	1.044	1.65	134.42	478.09	343.67	0.7405	2.2155
-39	0.497	0.960	577.63	1.042	1.73	135.99	478.85	342.86	0.7473	2.2124
-38	0.523	0.962	550.81	1.040	1.82	137.57	479.61	342.04	0.7541	2.2094
-37	0.550	0.963	525.49	1.038	1.90	139.15	480.36	341.21	0.7609	2.2065
-36	0.578	0.965	501.56	1.036	1.99	140.73	481.12	340.39	0.7676	2.2036
-35	0.607	0.967	478.92	1.034	2.09	142.32	481.87	339.55	0.7744	2.2007
-34	0.638	0.969	457.51	1.032	2.19	143.91	482.63	338.72	0.7811	2.1979
-33	0.669	0.971	437.24	1.030	2.29	145.50	483.38	337.88	0.7878	2.1951
-32	0.702	0.973	418.04	1.028	2.39	147.09	484.13	337.04	0.7945	2.1924
-31	0.736	0.975	399.85	1.026	2.50	148.69	484.88	336.19	0.8012	2.1897
-30	0.772	0.977	382.61	1.024	2.61	150.29	485.62	335.34	0.8078	2.1871
-29	0.808	0.979	366.26	1.022	2.73	151.89	486.37	334.48	0.8145	2.1845
-28	0.847	0.981	350.74	1.020	2.85	153.50	487.11	333.62	0.8211	2.1820
-27	0.886	0.983	336.01	1.018	2.98	155.11	487.86	332.75	0.8277	2.1795
-26	0.927	0.985	322.02	1.016	3.11	156.72	488.60	331.88	0.8343	2.1770
-25	0.970	0.987	308.73	1.013	3.24	158.34	489.34	331.00	0.8409	2.1746
-24	1.014	0.989	296.10	1.011	3.38	159.96	490.08	330.11	0.8474	2.1722
-23	1.060	0.991	284.09	1.009	3.52	161.59	490.81	329.23	0.8540	2.1698
-22	1.107	0.993	272.66	1.007	3.67	163.21	491.55	328.33	0.8605	2.1675
-21	1.156	0.995	261.79	1.005	3.82	164.85	492.28	327.43	0.8670	2.1652
-20	1.207	0.997	251.43	1.003	3.98	166.48	493.01	326.53	0.8735	2.1629
-19	1.259	0.999	241.57	1.001	4.14	168.12	493.74	325.62	0.8800	2.1607
-18	1.313	1.001	232.17	0.999	4.31	169.76	494.46	324.70	0.8864	2.1586
-17	1.369	1.003	223.21	0.997	4.48	171.41	495.19	323.78	0.8929	2.1564
-16	1.427	1.006	214.66	0.994	4.66	173.06	495.91	322.85	0.8993	2.1543
-15	1.487	1.008	206.51	0.992	4.84	174.71	496.63	321.92	0.9057	2.1522
-14	1.548	1.010	198.73	0.990	5.03	176.37	497.35	320.98	0.9121	2.1501
-13	1.612	1.012	191.31	0.988	5.23	178.03	498.06	320.03	0.9185	2.1481
-12	1.677	1.014	184.21	0.986	5.43	179.70	498.78	319.08	0.9248	2.1461
-11	1.745	1.017	177.43	0.984	5.64	181.37	499.49	318.12	0.9312	2.1442

Solkane® 152a

Release 1.02

t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
-10	1.815	1.019	170.96	0.981	5.85	183.04	500.20	317.16	0.9375	2.1422
-9	1.887	1.021	164.76	0.979	6.07	184.72	500.90	316.19	0.9438	2.1403
-8	1.961	1.023	158.84	0.977	6.30	186.40	501.61	315.21	0.9501	2.1385
-7	2.038	1.026	153.17	0.975	6.53	188.08	502.31	314.23	0.9564	2.1366
-6	2.116	1.028	147.75	0.973	6.77	189.77	503.01	313.24	0.9627	2.1348
-5	2.198	1.031	142.55	0.970	7.02	191.46	503.70	312.24	0.9689	2.1330
-4	2.281	1.033	137.58	0.968	7.27	193.16	504.40	311.24	0.9752	2.1312
-3	2.367	1.035	132.81	0.966	7.53	194.86	505.09	310.23	0.9814	2.1295
-2	2.455	1.038	128.24	0.964	7.80	196.56	505.77	309.21	0.9876	2.1277
-1	2.546	1.040	123.86	0.961	8.07	198.27	506.46	308.19	0.9938	2.1260
0	2.640	1.043	119.66	0.959	8.36	200.00	507.14	307.14	1.0000	2.1244
1	2.736	1.045	115.63	0.957	8.65	201.69	507.82	306.13	1.0062	2.1227
2	2.835	1.048	111.76	0.955	8.95	203.41	508.49	305.09	1.0123	2.1211
3	2.936	1.050	108.05	0.952	9.25	205.13	509.17	304.04	1.0185	2.1195
4	3.041	1.053	104.49	0.950	9.57	206.85	509.83	302.98	1.0246	2.1179
5	3.148	1.055	101.06	0.948	9.89	208.58	510.50	301.92	1.0308	2.1163
6	3.258	1.058	97.77	0.945	10.23	210.31	511.16	300.85	1.0369	2.1148
7	3.371	1.060	94.61	0.943	10.57	212.05	511.82	299.77	1.0430	2.1132
8	3.487	1.063	91.57	0.941	10.92	213.79	512.48	298.69	1.0491	2.1117
9	3.606	1.066	88.65	0.938	11.28	215.53	513.13	297.60	1.0551	2.1102
10	3.728	1.068	85.84	0.936	11.65	217.28	513.78	296.50	1.0612	2.1088
11	3.853	1.071	83.13	0.934	12.03	219.03	514.42	295.40	1.0673	2.1073
12	3.981	1.074	80.53	0.931	12.42	220.78	515.07	294.29	1.0733	2.1059
13	4.113	1.077	78.02	0.929	12.82	222.54	515.70	293.17	1.0793	2.1045
14	4.248	1.079	75.61	0.926	13.23	224.30	516.34	292.04	1.0854	2.1031
15	4.386	1.082	73.28	0.924	13.65	226.06	516.97	290.90	1.0914	2.1017
16	4.528	1.085	71.04	0.922	14.08	227.83	517.59	289.76	1.0974	2.1003
17	4.673	1.088	68.89	0.919	14.52	229.60	518.22	288.61	1.1034	2.0990
18	4.821	1.091	66.80	0.917	14.97	231.38	518.83	287.46	1.1094	2.0976
19	4.973	1.094	64.80	0.914	15.43	233.16	519.45	286.29	1.1154	2.0963
20	5.129	1.097	62.86	0.912	15.91	234.94	520.06	285.12	1.1214	2.0950
21	5.289	1.100	60.99	0.909	16.40	236.73	520.66	283.94	1.1273	2.0937
22	5.452	1.103	59.19	0.907	16.89	238.52	521.26	282.75	1.1333	2.0924
23	5.619	1.106	57.45	0.904	17.41	240.31	521.86	281.55	1.1392	2.0911
24	5.790	1.109	55.77	0.902	17.93	242.11	522.45	280.34	1.1452	2.0898
25	5.964	1.112	54.15	0.899	18.47	243.91	523.04	279.13	1.1511	2.0886
26	6.143	1.115	52.58	0.897	19.02	245.71	523.62	277.91	1.1571	2.0873
27	6.326	1.118	51.07	0.894	19.58	247.52	524.20	276.67	1.1630	2.0861
28	6.512	1.122	49.61	0.892	20.16	249.34	524.77	275.43	1.1689	2.0849
29	6.703	1.125	48.19	0.889	20.75	251.15	525.34	274.18	1.1749	2.0837
30	6.898	1.128	46.83	0.886	21.36	252.97	525.90	272.92	1.1808	2.0825
31	7.098	1.132	45.50	0.884	21.98	254.80	526.45	271.65	1.1867	2.0813
32	7.301	1.135	44.23	0.881	22.61	256.63	527.00	270.37	1.1926	2.0801
33	7.509	1.138	42.99	0.878	23.26	258.46	527.55	269.08	1.1985	2.0789
34	7.722	1.142	41.79	0.876	23.93	260.30	528.09	267.79	1.2044	2.0777
35	7.939	1.145	40.63	0.873	24.61	262.15	528.62	266.48	1.2103	2.0765
36	8.160	1.149	39.51	0.870	25.31	264.00	529.15	265.16	1.2162	2.0754
37	8.386	1.152	38.42	0.868	26.03	265.85	529.67	263.82	1.2221	2.0742
38	8.617	1.156	37.37	0.865	26.76	267.71	530.19	262.48	1.2281	2.0731
39	8.852	1.160	36.35	0.862	27.51	269.57	530.70	261.13	1.2340	2.0719

Solkane® 152a

Release 1.02

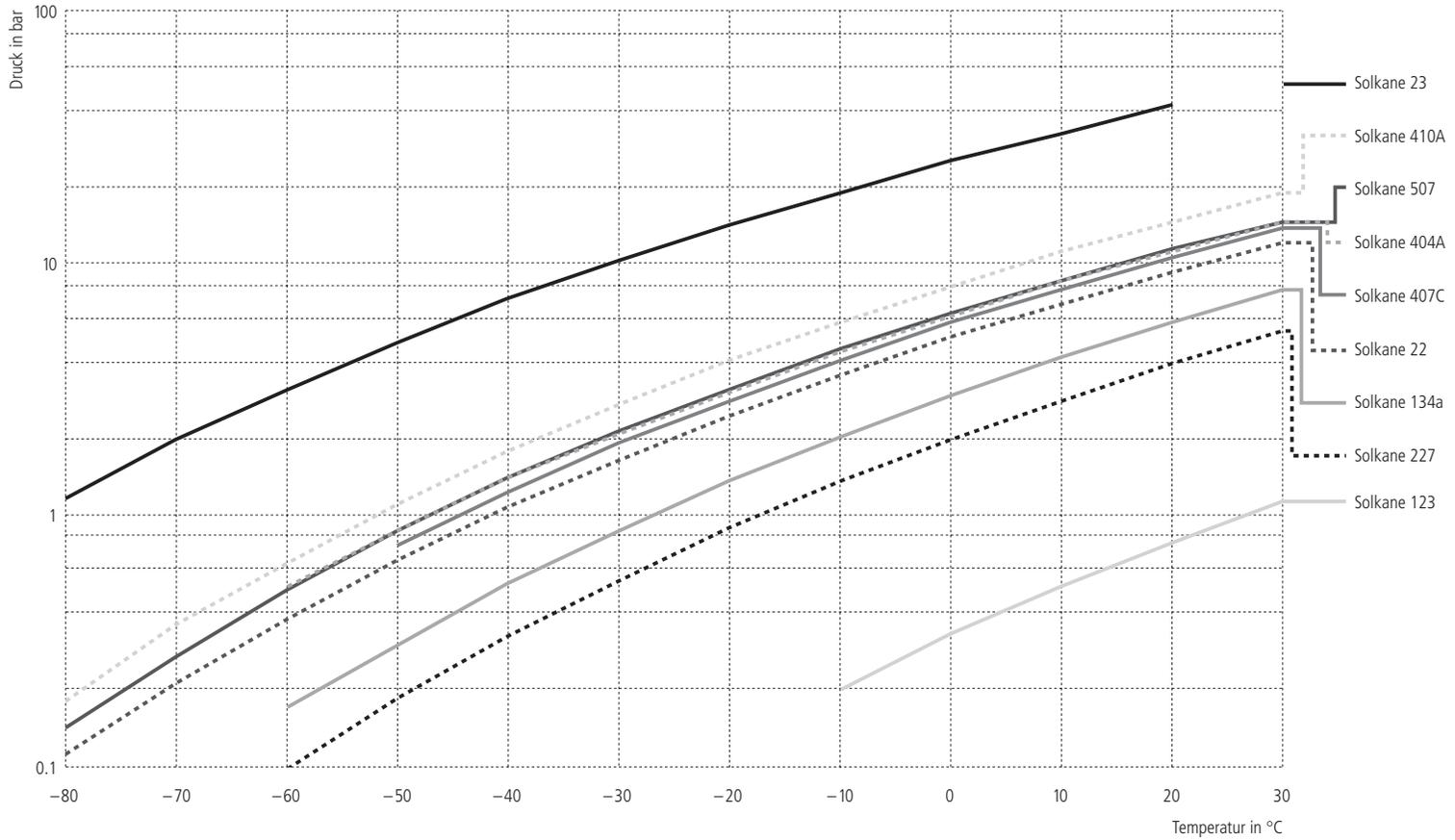
t [°C]	p [bar]	v' [dm ³ /kg]	v'' [dm ³ /kg]	ρ' [kg/dm ³]	ρ'' [kg/m ³]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	r [kJ/kg]	s' [kJ/kg·K]	s'' [kJ/kg·K]
40	9.093	1.164	35.36	0.859	28.28	271.44	531.20	259.76	1.2399	2.0708
41	9.338	1.167	34.41	0.857	29.06	273.31	531.70	258.39	1.2458	2.0696
42	9.588	1.171	33.48	0.854	29.87	275.19	532.19	257.00	1.2517	2.0685
43	9.843	1.175	32.58	0.851	30.70	277.07	532.67	255.60	1.2576	2.0673
44	10.103	1.179	31.71	0.848	31.54	278.96	533.14	254.18	1.2635	2.0662
45	10.368	1.183	30.86	0.845	32.41	280.86	533.61	252.75	1.2694	2.0651
46	10.639	1.187	30.04	0.842	33.29	282.76	534.07	251.31	1.2753	2.0639
47	10.914	1.191	29.24	0.839	34.20	284.67	534.53	249.85	1.2812	2.0628
48	11.195	1.195	28.47	0.837	35.13	286.59	534.97	248.38	1.2872	2.0616
49	11.482	1.200	27.72	0.834	36.08	288.51	535.41	246.90	1.2931	2.0605
50	11.774	1.204	26.99	0.831	37.06	290.44	535.84	245.40	1.2990	2.0594
51	12.071	1.208	26.28	0.828	38.05	292.37	536.26	243.88	1.3050	2.0582
52	12.374	1.213	25.59	0.825	39.08	294.32	536.67	242.35	1.3109	2.0571
53	12.683	1.217	24.92	0.821	40.13	296.27	537.07	240.80	1.3169	2.0559
54	12.997	1.222	24.27	0.818	41.20	298.23	537.46	239.24	1.3228	2.0547
55	13.317	1.227	23.64	0.815	42.30	300.20	537.85	237.65	1.3288	2.0536
56	13.643	1.231	23.03	0.812	43.43	302.17	538.22	236.05	1.3348	2.0524
57	13.975	1.236	22.43	0.809	44.58	304.16	538.59	234.43	1.3407	2.0512
58	14.313	1.241	21.85	0.806	45.77	306.15	538.94	232.79	1.3467	2.0500
59	14.657	1.246	21.29	0.803	46.98	308.15	539.29	231.13	1.3527	2.0488
60	15.007	1.251	20.74	0.799	48.22	310.17	539.62	229.45	1.3588	2.0476
61	15.363	1.256	20.20	0.796	49.50	312.19	539.94	227.75	1.3648	2.0464
62	15.726	1.262	19.68	0.793	50.81	314.22	540.25	226.03	1.3708	2.0452
63	16.095	1.267	19.18	0.789	52.15	316.27	540.55	224.28	1.3769	2.0439
64	16.471	1.272	18.68	0.786	53.53	318.32	540.83	222.51	1.3829	2.0426
65	16.853	1.278	18.20	0.782	54.94	320.39	541.11	220.72	1.3890	2.0414
66	17.242	1.284	17.73	0.779	56.39	322.47	541.37	218.90	1.3951	2.0401
67	17.637	1.290	17.28	0.775	57.87	324.56	541.62	217.06	1.4012	2.0388
68	18.039	1.295	16.83	0.772	59.40	326.66	541.85	215.19	1.4073	2.0374
69	18.448	1.302	16.40	0.768	60.97	328.78	542.07	213.29	1.4135	2.0361
70	18.864	1.308	15.98	0.765	62.58	330.91	542.27	211.36	1.4196	2.0347
71	19.287	1.314	15.57	0.761	64.23	333.06	542.46	209.40	1.4258	2.0333
72	19.717	1.321	15.17	0.757	65.93	335.21	542.63	207.42	1.4320	2.0319
73	20.154	1.327	14.78	0.753	67.68	337.39	542.79	205.40	1.4382	2.0305
74	20.599	1.334	14.39	0.750	69.48	339.58	542.92	203.35	1.4444	2.0290
75	21.051	1.341	14.02	0.746	71.33	341.78	543.04	201.26	1.4507	2.0275
76	21.510	1.348	13.66	0.742	73.23	344.01	543.15	199.14	1.4570	2.0260
77	21.977	1.355	13.30	0.738	75.19	346.25	543.23	196.98	1.4632	2.0244
78	22.452	1.363	12.95	0.734	77.20	348.50	543.29	194.79	1.4696	2.0228
79	22.934	1.371	12.61	0.730	79.28	350.78	543.33	192.55	1.4759	2.0211
80	23.424	1.379	12.28	0.725	81.42	353.07	543.35	190.27	1.4823	2.0195
81	23.922	1.387	11.96	0.721	83.63	355.39	543.34	187.95	1.4886	2.0177
82	24.429	1.395	11.64	0.717	85.91	357.72	543.31	185.59	1.4951	2.0160
83	24.943	1.404	11.33	0.712	88.26	360.08	543.26	183.18	1.5015	2.0142
84	25.465	1.413	11.03	0.708	90.69	362.45	543.17	180.72	1.5080	2.0123
85	25.996	1.422	10.73	0.703	93.20	364.85	543.06	178.22	1.5144	2.0104
86	26.536	1.431	10.44	0.699	95.80	367.27	542.92	175.65	1.5210	2.0084
87	27.083	1.441	10.15	0.694	98.49	369.71	542.75	173.04	1.5275	2.0063
88	27.640	1.452	9.87	0.689	101.28	372.18	542.55	170.37	1.5341	2.0042
89	28.206	1.462	9.60	0.684	104.18	374.67	542.30	167.63	1.5407	2.0020

Solkane® 152a

Release 1.02

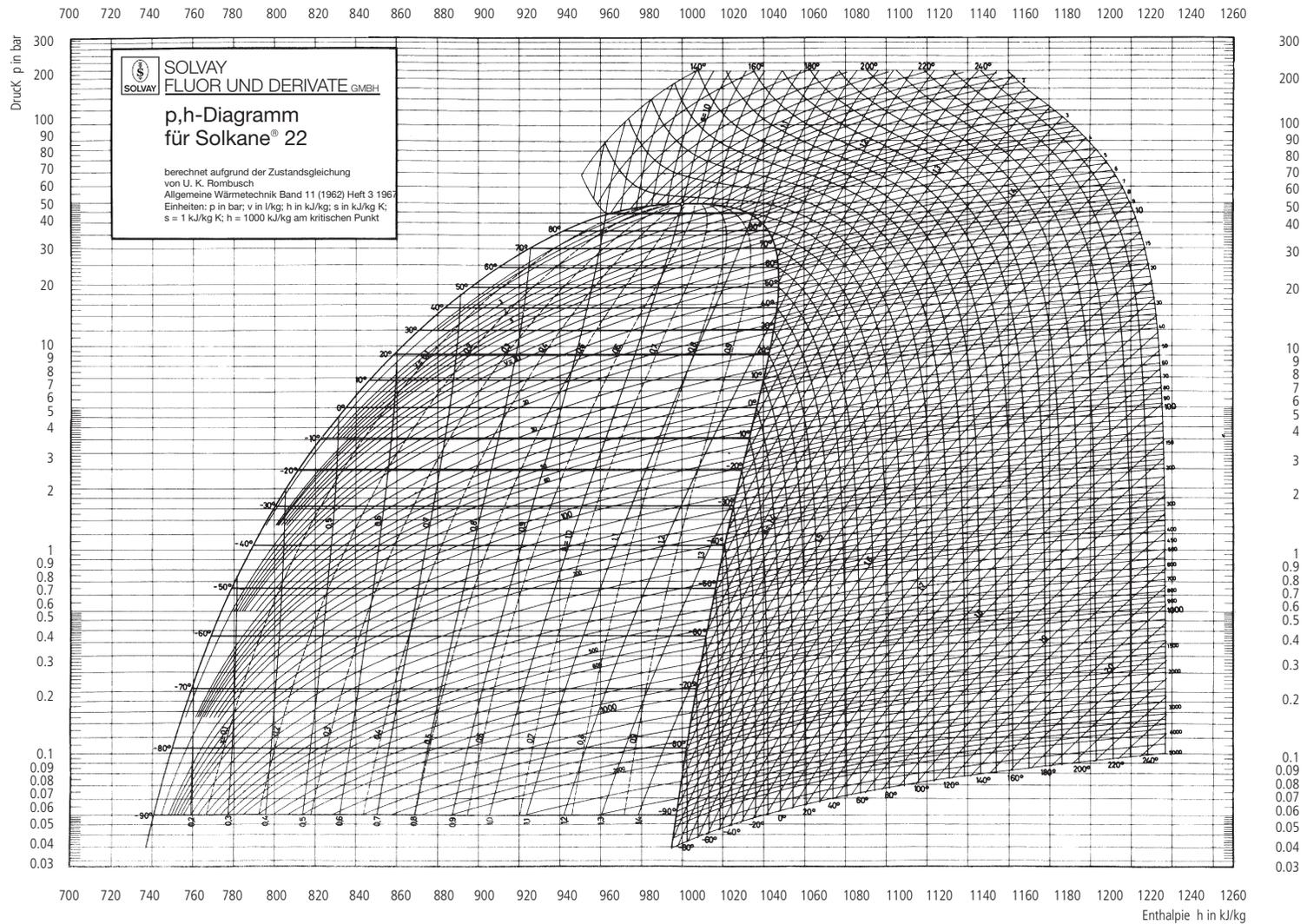
t	p	v'	v''	ρ'	ρ''	h'	h''	r	s'	s''
[°C]	[bar]	[dm ³ /kg]	[dm ³ /kg]	[kg/dm ³]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg·K]
90	28.780	1.473	9.33	0.679	107.18	377.19	542.03	164.83	1.5473	1.9998
91	29.363	1.485	9.07	0.674	110.30	379.74	541.71	161.97	1.5540	1.9974
92	29.956	1.497	8.81	0.668	113.55	382.31	541.34	159.04	1.5607	1.9950
93	30.558	1.509	8.55	0.663	116.93	384.91	540.94	156.03	1.5674	1.9924
94	31.170	1.522	8.30	0.657	120.47	387.54	540.48	152.94	1.5742	1.9898
95	31.791	1.536	8.05	0.651	124.16	390.19	539.96	149.77	1.5810	1.9870
96	32.422	1.550	7.81	0.645	128.03	392.88	539.39	146.51	1.5878	1.9841
97	33.064	1.565	7.57	0.639	132.08	395.60	538.75	143.15	1.5947	1.9810
98	33.715	1.582	7.33	0.632	136.35	398.36	538.05	139.69	1.6016	1.9778
99	34.377	1.599	7.10	0.626	140.86	401.14	537.26	136.12	1.6086	1.9744
100	35.050	1.617	6.87	0.619	145.62	403.96	536.38	132.43	1.6155	1.9708
101	35.733	1.636	6.64	0.611	150.68	406.81	535.41	128.60	1.6226	1.9670
102	36.428	1.657	6.41	0.603	156.08	409.70	534.33	124.62	1.6296	1.9628
103	37.134	1.680	6.18	0.595	161.87	412.63	533.11	120.48	1.6368	1.9584
104	37.852	1.704	5.95	0.587	168.11	415.60	531.75	116.15	1.6439	1.9536
105	38.583	1.732	5.72	0.578	174.89	418.60	530.20	111.60	1.6511	1.9484
106	39.326	1.762	5.48	0.568	182.35	421.64	528.43	106.79	1.6583	1.9427
107	40.082	1.796	5.25	0.557	190.64	424.73	526.39	101.66	1.6656	1.9362
108	40.852	1.835	5.00	0.545	200.04	427.86	523.99	96.13	1.6729	1.9289
109	41.637	1.881	4.74	0.532	210.99	431.03	521.09	90.06	1.6803	1.9203

13 Dampfdruck-Diagramm

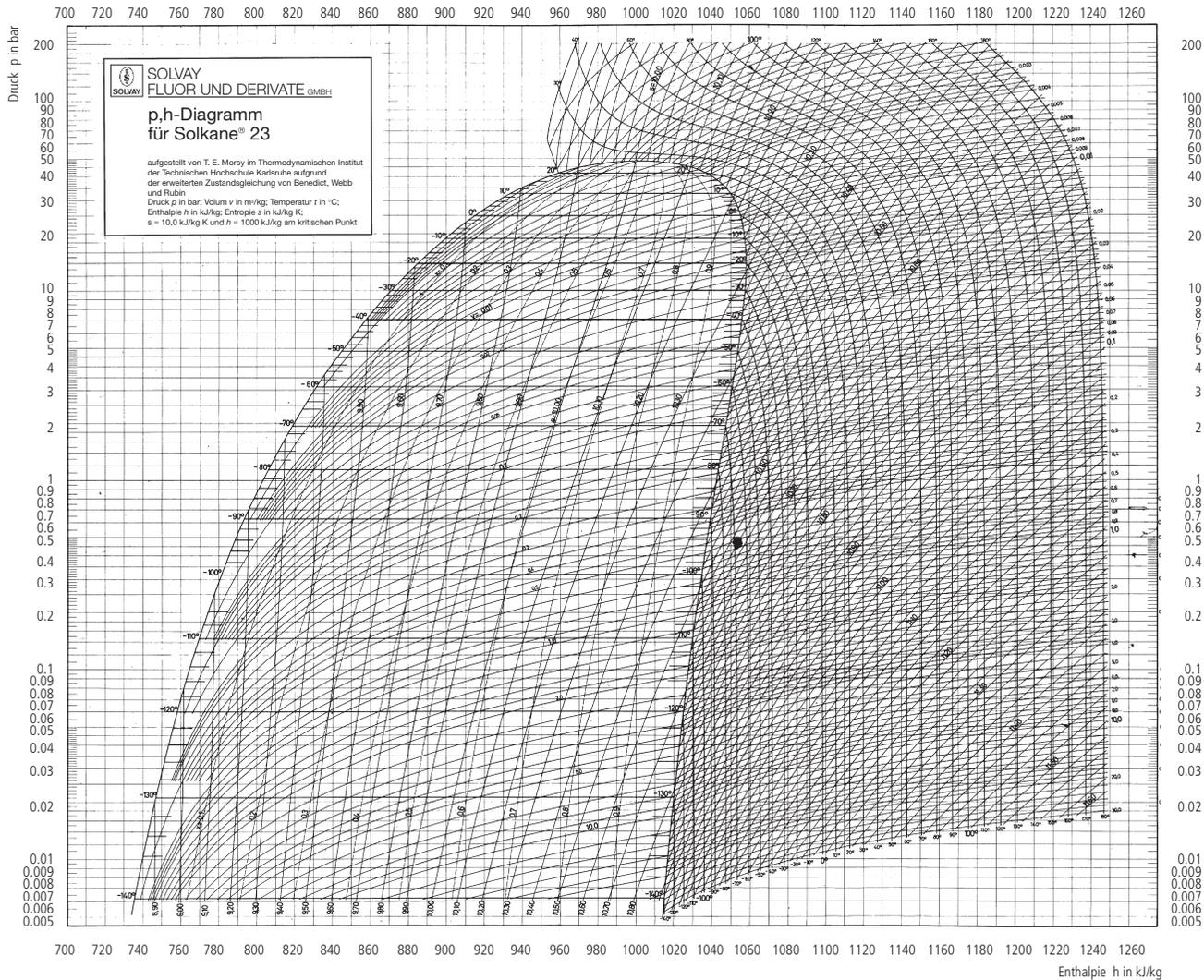


14 Mollier-Diagramme

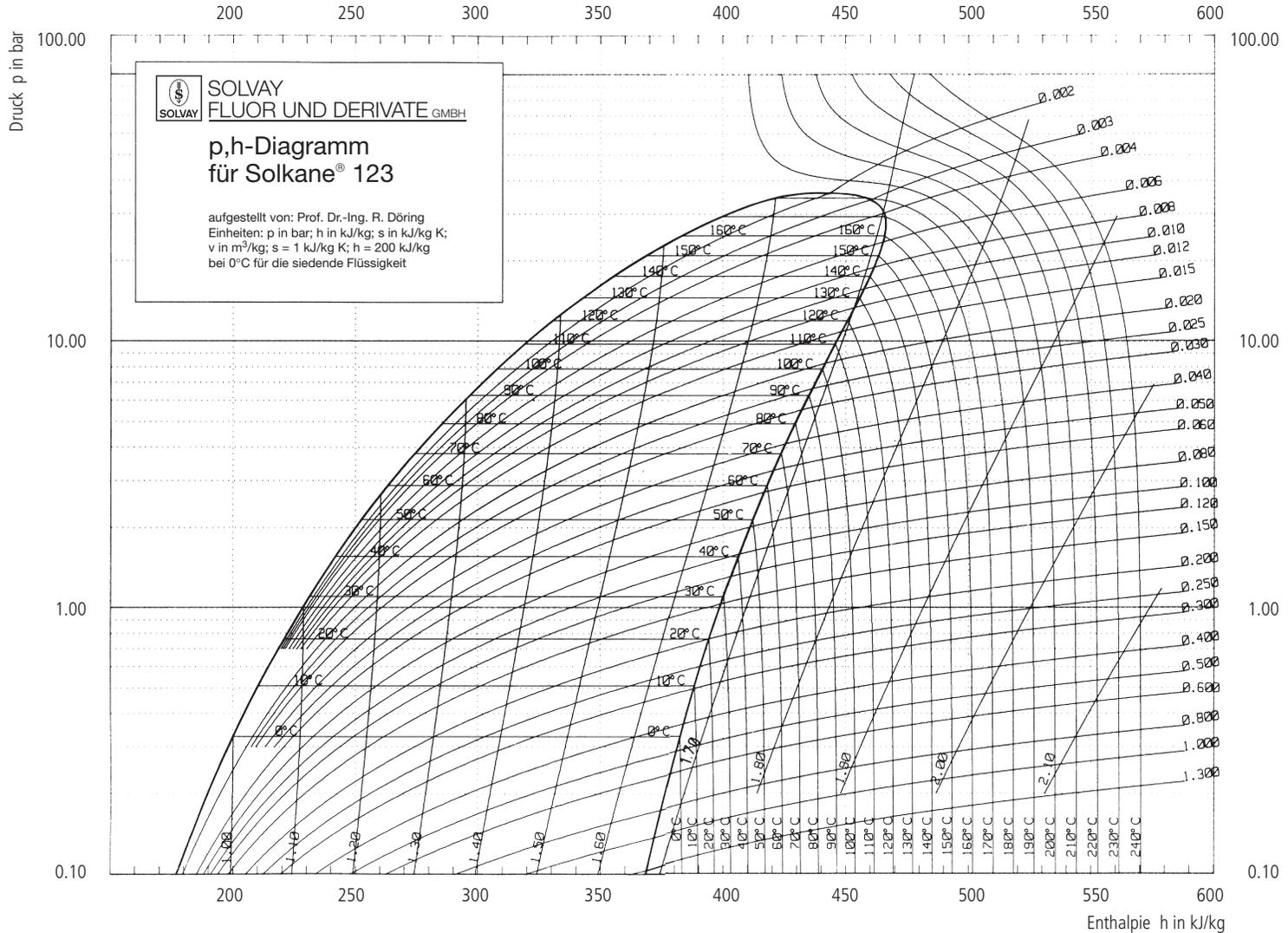
14.1.1 Solkane® 22



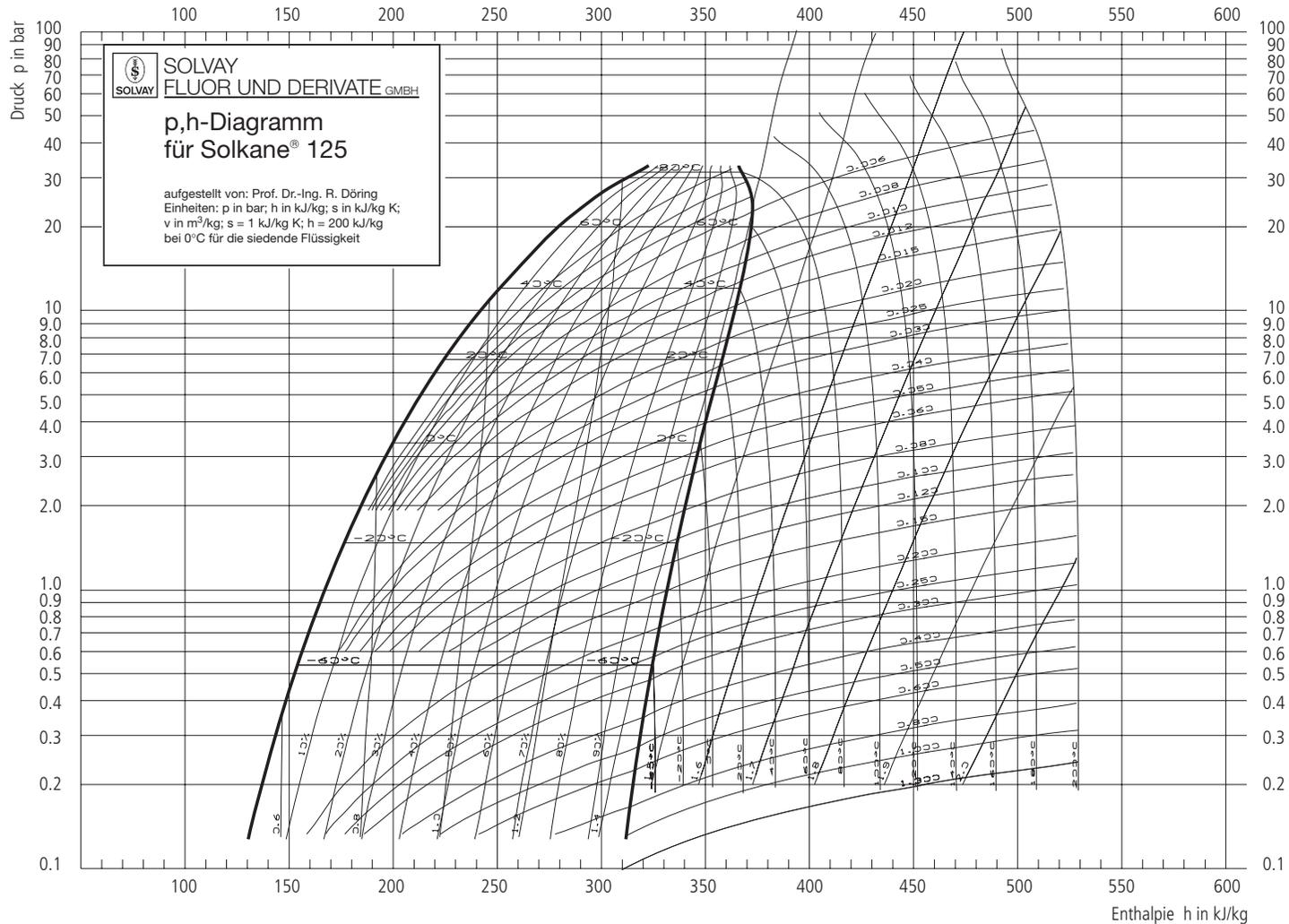
14.1.2 Solkane® 23



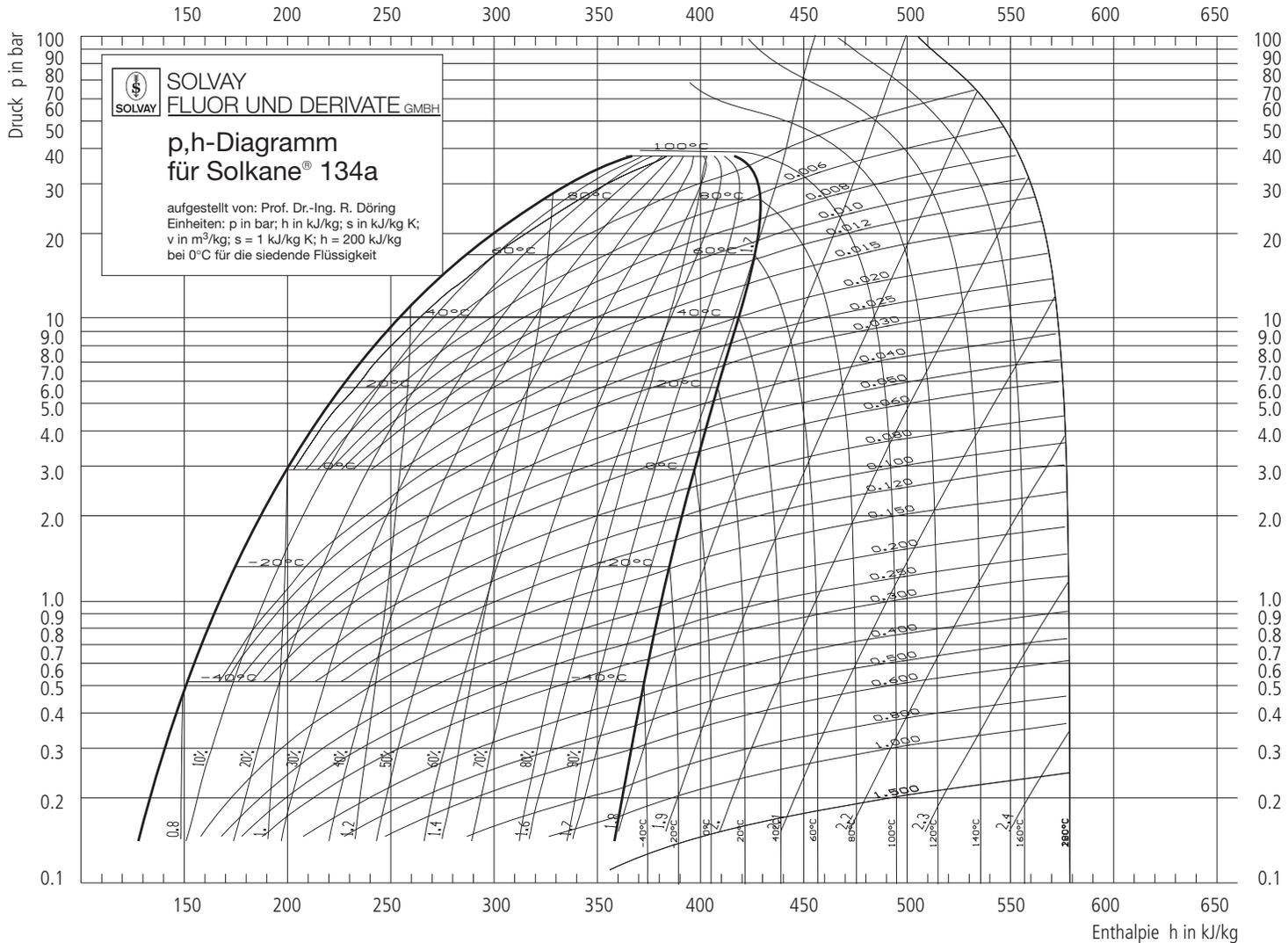
14.1.3 Solkane® 123



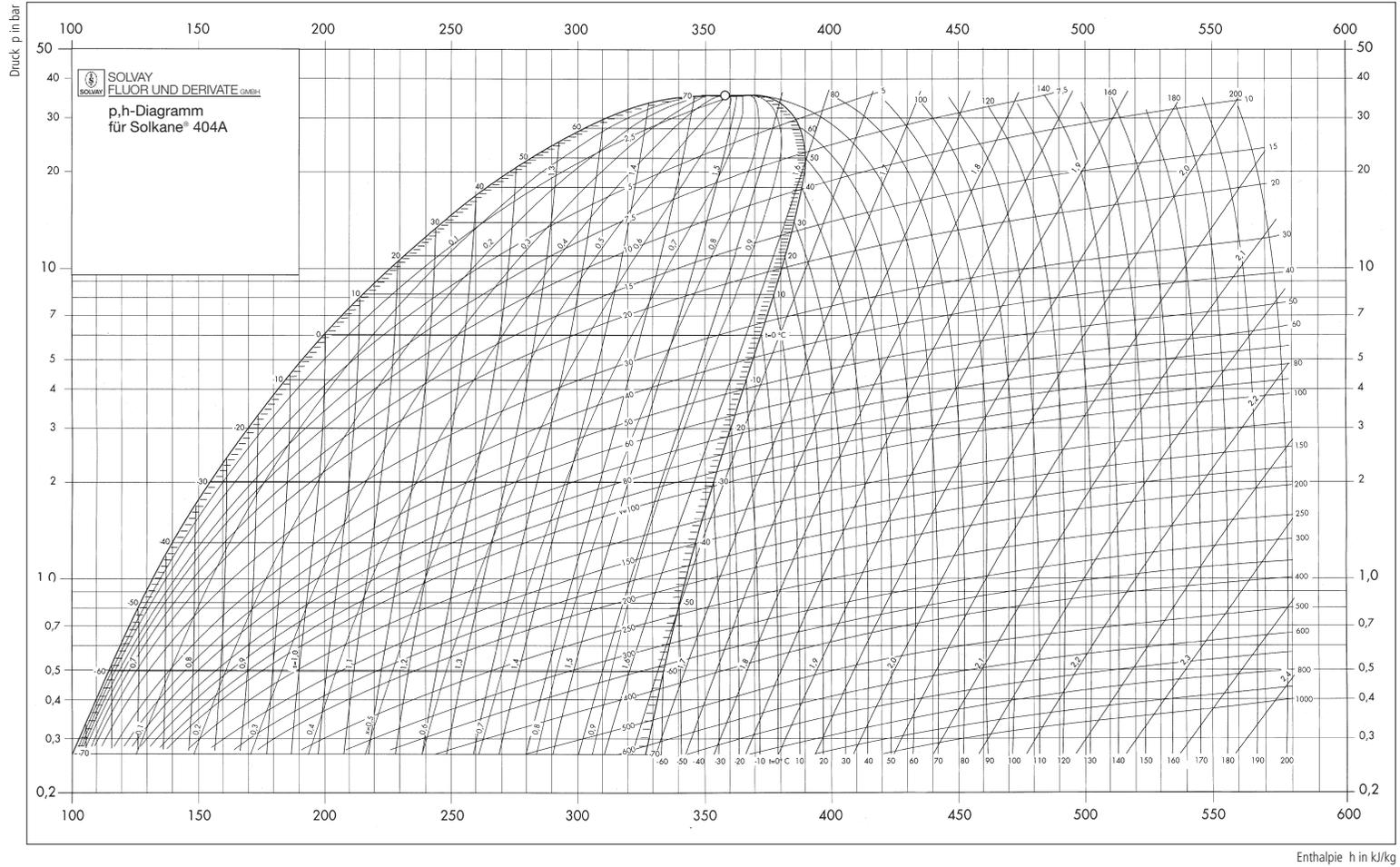
14.1.4 Solkane® 125



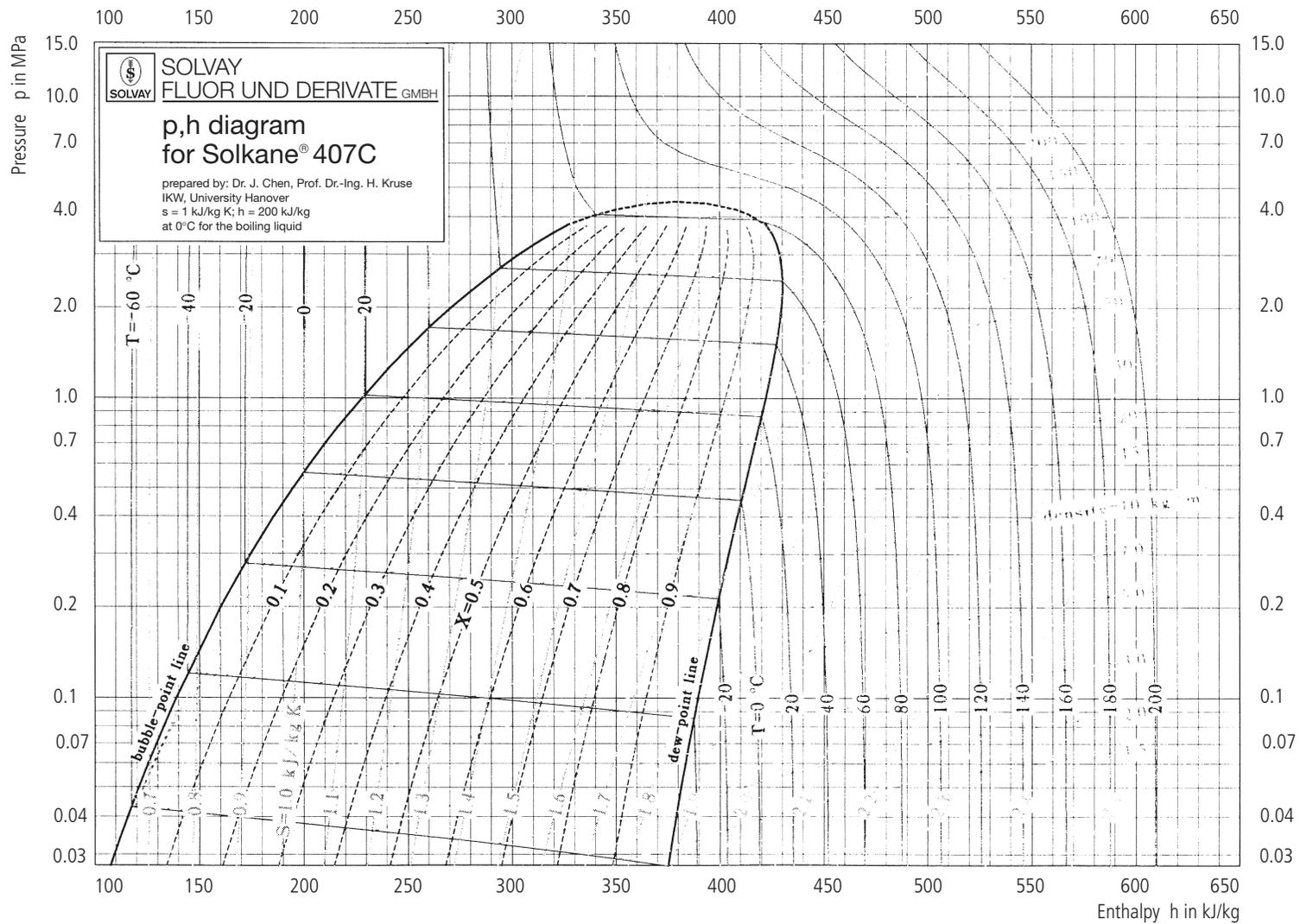
14.1.5 Solkane® 134a



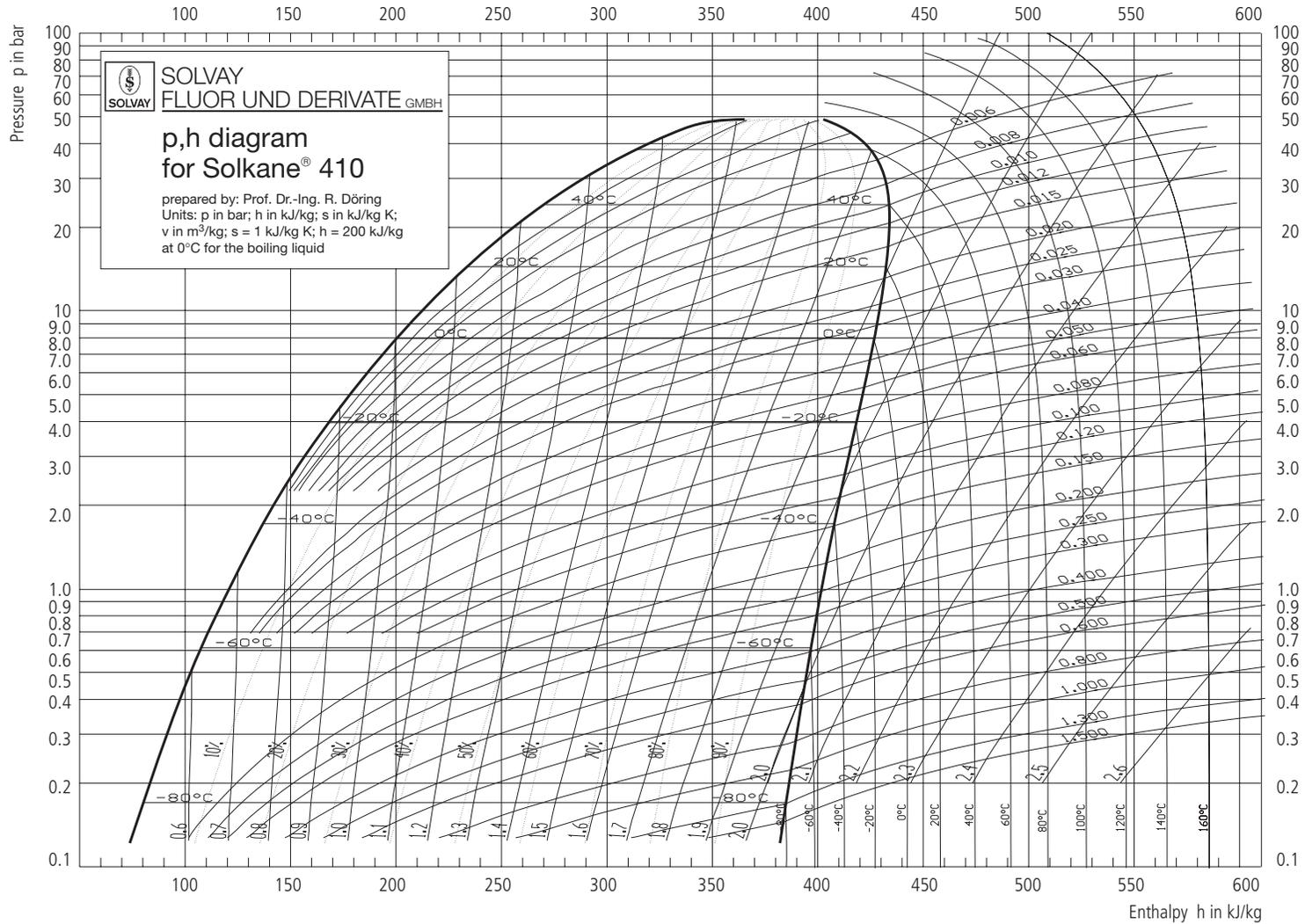
14.1.6 Solkane® 404A



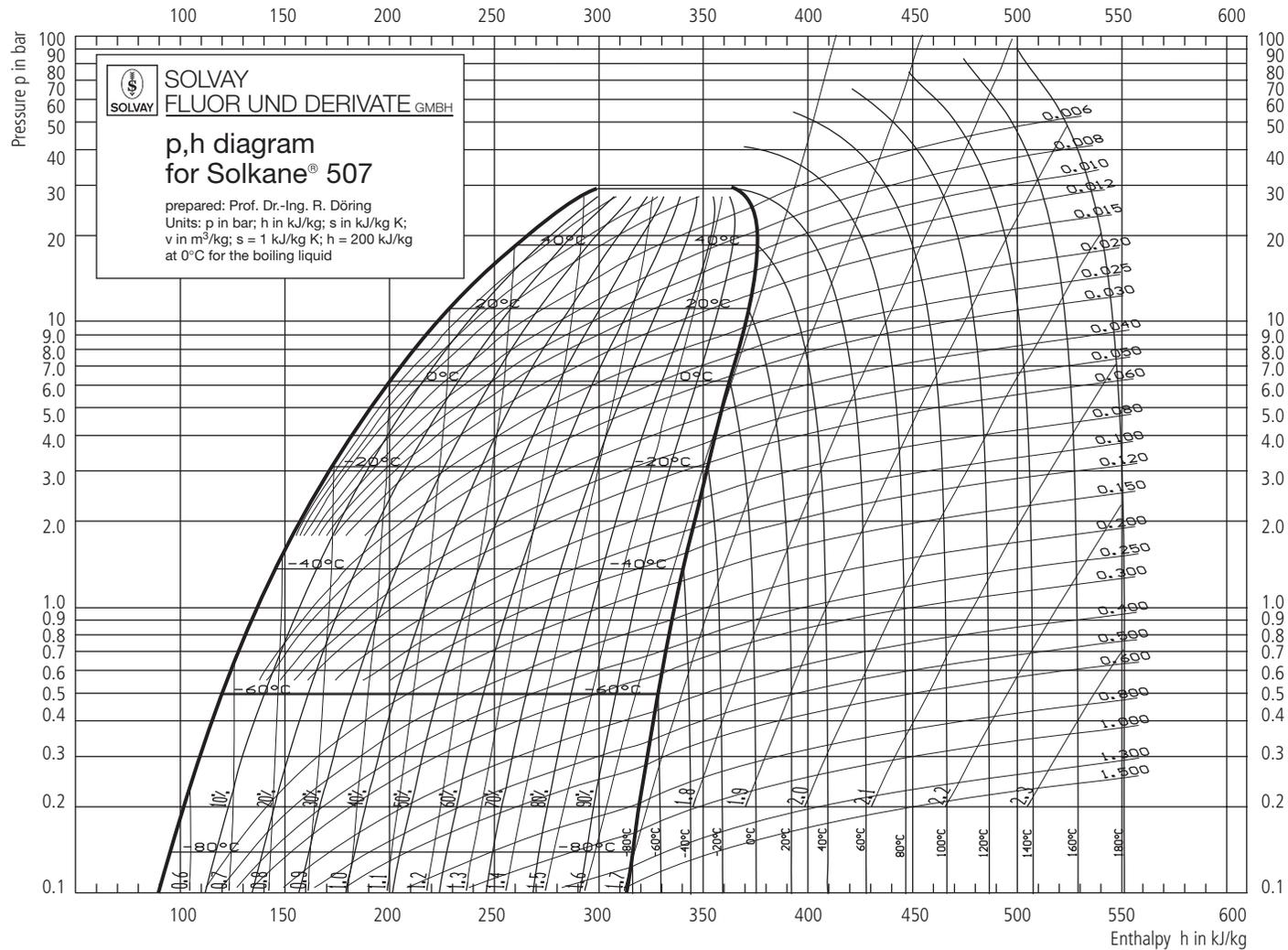
14.1.7 Solkane® 407C



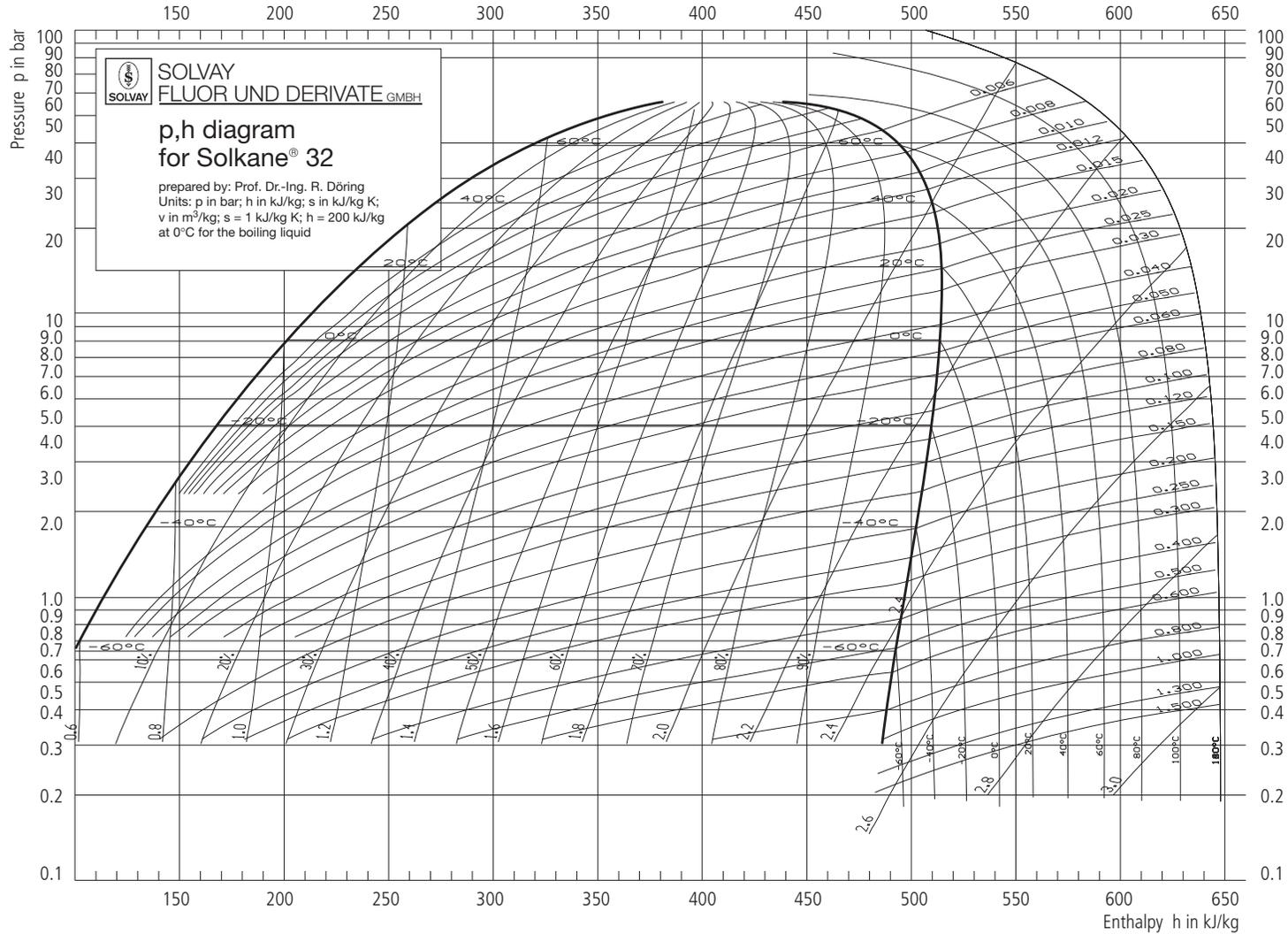
14.1.8 Solkane® 410



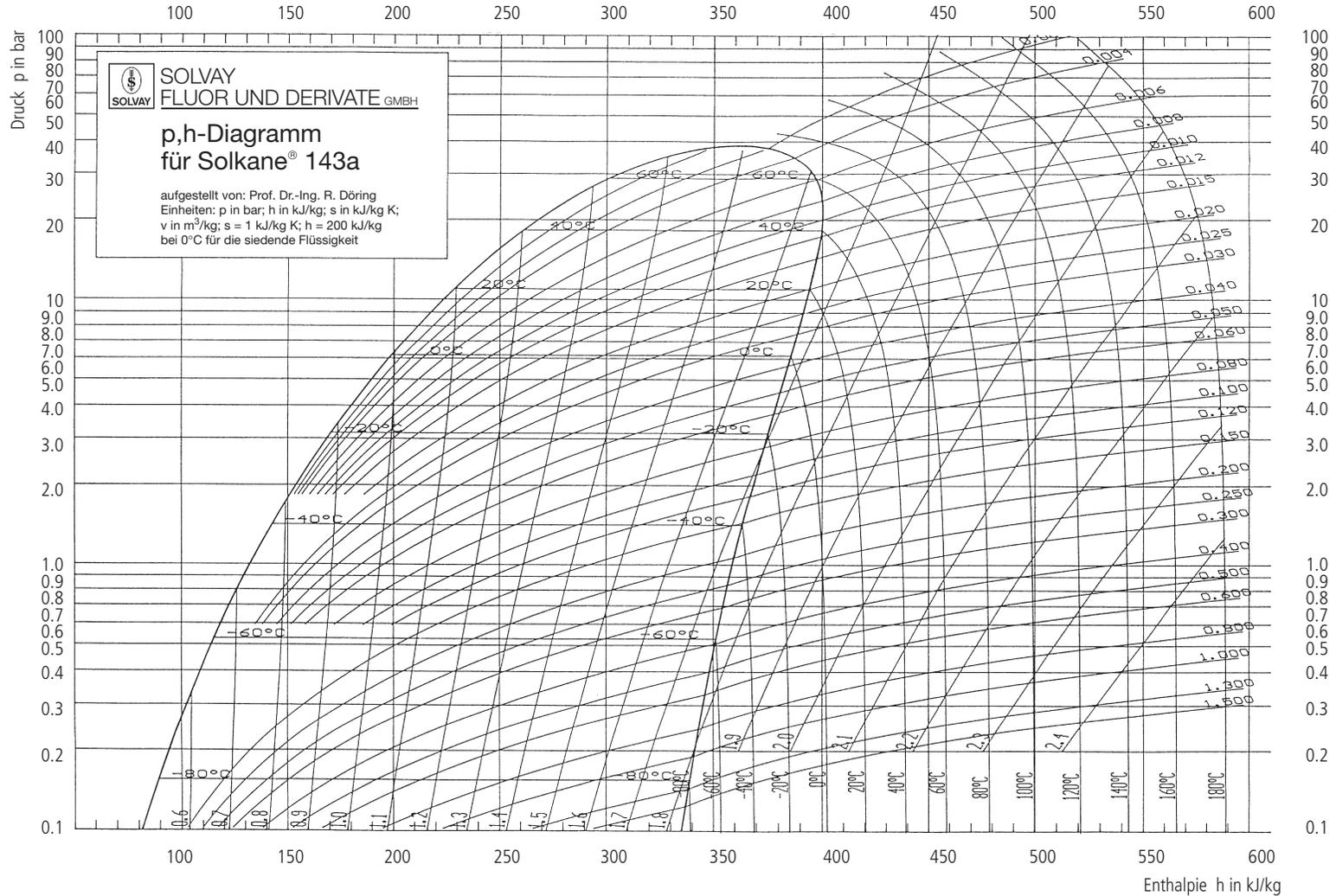
14.1.9 Solkane® 507



14.2.1 Solkane® 32



14.2.2 Solkane® 143a



14.2.3 Solkane® 152a

