

Wärmepumpen- und Kältetechnik I

Arbeitsmittel
Stand 2007

Kunz - Beratungen

Peter Kunz

Fuchshalde 15

8305 Dietlikon

Tel. 01 833 08 07

Fax. 01 833 79 65

Email info@kunz-beratungen.ch

Page www.kunz-beratungen.ch

Inhaltsverzeichnis

1	ÖKOLOGIE	4
2	DIE SITUATION	4
2.1	Begriffe	4
2.1.1	Ozonabbau-Potential ODP (Ozone depletion potential)	4
2.1.2	Treibhauspotential HGWP (Halocarbon global warming potential)	5
2.1.3	Treibhauspotential GWP (Global warming potential)	5
2.1.4	Bezug zur Kältetechnik	5
2.1.5	Die globale Erwärmung TEWI (total global warming impact)	5
3	ÜBERSICHT ÜBER DIE KÄLTEMITTEL	6
3.1	Das Ozonabbaupotential	7
3.2	Der Treibhauseffekt	7
3.3	Treibhausgase	7
4	DAS BUWAL NIMMT STELLUNG	8
4.1	Perfluoralkane	8
4.2	Höher fluorierte Alkane	8
4.3	USG und StoV (siehe auch: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_01.html)	9
4.4	LRV (siehe auch: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html)	9
4.5	VVS (siehe auch: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610.html)	10
4.6	Internationales	10
4.7	Schlussfolgerungen	10
5	DIE ARBEITSMITTEL (KÄLTEMITTEL)	10
5.1	Die ersten Kältemittel	11
5.2	Kältemittel auf der Basis von Methan oder Äthan	11
5.3	Herstellung	12
5.4	Kältemitteldreiecke	12
5.5	Methanderivate	13
5.6	Äthanderivate	14
5.7	Propanderivate	14

5.8	Gruppeneinteilung.....	15
5.9	Der Kältemittelschlüssel.....	22
5.10	Organische Einstoffkältemittel.....	22
5.11	Kältemittelmischungen und anorganische Kältemittel	25
5.11.1	Kältemittel der 400er Serie	25
5.11.2	Kältemittel der 500er Serie	26
5.11.3	Kältemittel der 700er Serie	26
5.12	Neue Kältemittel	27
6	EMPFEHLUNGEN	27
6.1	Neuanlagen	27
6.1.1	Tiefkühlanlagen	27
6.1.2	Normalkühlanlagen.....	27
6.1.3	Klimaanlagen.....	27
6.2	Bestehende Anlagen umrüsten.....	28
6.2.1	Normalkühlanlagen, Klimaanlagen.....	28
6.3	Allgemeines zum Umbau	29
7	KÄLTEÖL	30
7.1	Chlorierte Kältemittel	30
7.2	Leicht chlorierte Übergangskältemittel.....	30
7.3	Allgemein.....	30

1 Ökologie

Kältemittel und Kälteanlagen üben einen Einfluss auf das Ökosystem aus. Diese Beeinflussung wurde lange Zeit vernachlässigt oder verschwiegen. Während früher nur die physikalischen Eigenschaften der Kältemittel interessierten, müssen heute vor allem auch die chemischen betrachtet werden.

2 Die Situation

1977 wurde durch Maria Molina an einer amerikanischen Universität eine Studie in Angriff genommen, welche den Abbau der halogenisierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) in der Troposphäre beschreiben sollte. Diese Untersuchung stellte sich schon bald als langwierig heraus. Die FCKW's bauen sich in der Troposphäre nur sehr langsam ab, da sie zu stabil sind. Molina weitete nach dieser Erkenntnis seine Studie in die höhere Atmosphäre aus und entwickelte die Theorie über den FCKW-Abbau in der Stratosphäre. Dies führte ihn auf die Wechselwirkungen zwischen der Ozonschicht und dem Kältemittel. Nach dem ca. 30 Jahre dauernden Aufstieg in die Stratosphäre durchquert das FCKW auch die Ozonschicht, welche die UV-B-Strahlung von der Erdoberfläche fernhält. Danach kommt das FCKW in den Einflussbereich dieser energiereichen UV-B-Strahlung. Dieser vermag auch das stabile FCKW nicht zu trotzen, es wird abgebaut und das darin enthaltene Chlor freigesetzt. Als Katalysator wirkend, baut dieses Chlor nun Ozonmoleküle ab. Dummerweise wird das Chlor nach jedem Abbauprozess wieder frei, worauf es sich dem nächsten Ozonmolekül widmen kann. Man nimmt an, dass ein einziges Chlor-Atom auf diese Weise rund 100'000 Ozonmoleküle abbaut, bevor das Chlor anderweitig gebunden wird.

Neben diesem kritischen Ozonabbau ist schon länger bekannt, dass FCKW's auch stark treibhauseffektfördernd wirken. Die Wirkung ist rund 1'500 bis 4'000 mal stärker als beim Kohlendioxid.

2.1 Begriffe

Als Basisstoff für Messungen wurde das R11 gewählt, weil es nebst der Kältetechnik auch in der chem. Reinigung, Isolationstechnik und Kunststoffindustrie grosse Bedeutung hatte. Dem Stoff R11 wurde sowohl für den ODP wie auch HGWP der Wert „1“ zugewiesen.

2.1.1 Ozonabbau-Potential ODP (Ozone depletion potential)

Der ODP gibt an, wie stark ein Stoff in der Stratosphäre ozonabbauend wirkt. Da dem R11 willkürlich der Wert 1 zugewiesen wurde, sind alle Stoffe mit Werten unter 1 weniger ozonabbauend, Werte über 1 stärker ozonabbauend als R11. Der eigentlich kritische Stoff in den FCKW und HFCKW Molekülen (Begriffserklärung siehe Kapitel Gruppeneinteilung) ist das Chlor. Da sich freies Chlor als sehr reaktionsfreudiges Element sofort bindet, wirkt zum Beispiel Chlor aus Hallenbädern nie ozonabbauend. Es hat keine Chance, die Reise in die Stratosphäre ungebunden zu überstehen. Daher sind vor allem Stoffe gefährlich, welche das Chlor in ihrer Bindung in die Stratosphäre bringen, sich dort aber unter dem Einfluss der UV-Strahlung zersetzen. Diese Stoffe sind dann sozusagen „Transportunternehmen“ für das Chlor. Dann wird das Chlor genau dort frei, wo wir dies am wenigsten tolerieren können: mitten in der Ozonschicht.

2.1.2 Treibhauspotential HGWP (Halocarbon global warming potential)

Der HGWP, ebenfalls als Vergleichswert mit R11 ausgelegt, wird vor allem dort verwendet, wo man halogenisierte Stoffe vergleichen will. Daher wird in der Kältetechnik hauptsächlich der HGWP angegeben. Nicht zuletzt natürlich auch, weil seine bedeutend kleinere Zahl das Problem weniger dramatisch erscheinen lässt als bei dem auf das CO₂ bezogene GWP.

2.1.3 Treibhauspotential GWP (Global warming potential)

Auch das Kohlendioxid CO₂ wird als Basisstoff verwendet, welchem unter der Bezeichnung GWP der Wert „1“ zugewiesen wurde. Daher muss immer berücksichtigt werden, welcher Basisstoff einer Messung zugrunde liegt. Da die Messwerte aber sehr verschieden ausfallen, besteht keine Verwechslungsgefahr: z.B. R134a nach Methode „R11“: HGWP=0,3 ; nach Methode „Kohlendioxid“: GWP=1'500. Bei internationalen Vergleichen ist vor allem der GWP von Bedeutung, in der Kältetechnik der HGWP.

2.1.4 Bezug zur Kältetechnik

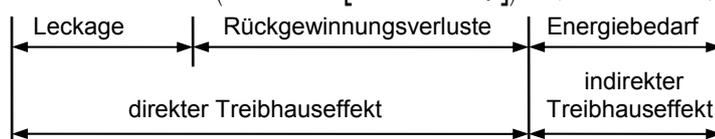
GWP, respektive HGWP und ODP haben nichts miteinander zu tun. Die Kältetechnik hat allerdings das Pech, bei beiden Effekten „die Finger im Spiel“ zu haben.

2.1.5 Die globale Erwärmung TEWI (total global warming impact)

Inzwischen ist eine Berechnungsmethode entwickelt worden, mit der die Auswirkungen auf den Treibhauseffekt beim Betrieb von Kälteanlagen/Wärmepumpen individuell beurteilt werden können.

Gegenüber dem GWP umfasst der TEWI auch Sekundäremissionen durch das Bereitstellen der Betriebsenergie.

$$TEWI = (GWP \cdot L \cdot n) + \left(GWP \cdot m \left[1 - \alpha_{recovery} \right] \right) + (n \cdot E_{annual} \cdot \beta)$$



GWP	= Treibhauspotential	CO ₂ -Äquivalent
L	= Leckrate pro Jahr	kg
n	= Betriebszeit der Anlage	Jahre
m	= Anlagenfüllmasse	kg
$\alpha_{recovery}$	= Recycling-Faktor	-
E_{annual}	= Energiebedarf pro Jahr	kWh
β	= CO ₂ -Emission pro kWh	Energie.Mix, standortabhängig

Der TEWI (total global warming impact) ist eine umfassende Annäherung, die umweltrelevante Belastung (globale Erwärmung) einer Verbindung bei ihrem Einsatz, hier als Kältemittel, zu bewerten. Der TEWI beinhaltet einen „direkten“ Beitrag durch die Umwelt entweichendes Kältemittel (unter der Annahme, dass durch Leckagen ein Anteil der Kältemittelfüllung einer Anlage entweicht) unter Einbeziehung des GWP's und einen „indirekten“ Erwärmungsbeitrag verursacht durch CO₂-Emissionen. Diese gründen sich auf der Bereitstellung von Energie zum Betrieb der Anlagen während ihrer erwarteten Betriebsdauer.

3 Übersicht über die Kältemittel

Bezeichn. (Ashray)	Gruppe	Ersatz für	ODP R11 = 1	GWP CO ₂ =1	Siedetemp. bei 1 bar	Gleit
FCKW Fluor- Chlor- Kohlenwasserstoffe						
H-FCKW hydrogenisierte Fluor- Chlor- Kohlenwasserstoffe						
R22	H-FCKW	R12, R502	0,05	1700	-40,8	0
R124	H-FCKW	R114	0,02	480	-11	0
R401A	H-FCKW	R12	0,03	1080	-33	6,4
R401B	H-FCKW	R12	0,035	1190	-35	6,0
R402A	H-FCKW	R502	0,02	2570	-49	2,0
R402B	H-FCKW	R502	0,03	2240	-47	2,3
R403A	H-FCKW	R502	0,04	2670	-50	2,4
R403B	H-FCKW	R502	0,03	3680	-51	1,2
R408A	H-FCKW	R502	0,026	3050	-44	0,6
R409A	H-FCKW	R12	0,05	1440	-34	8,1
H-FKW hydrogenisierte Fluor- Kohlenwasserstoffe						
R23	H-FKW	R13	0	12100	-82	0
R134a	H-FKW	R12, R22	0	1300	-26	0
R152a	H-FKW	R12, R22	0	140	-24	0
R227ea	H-FKW	R12, R114	0	3300	-16	0
R236fa	H-FKW	R114	0	8000	-1	0
R404A	H-FKW	R502	0	3750	-47	0,7
R407A	H-FKW	R502	0	1920	-46	6,6
R407B	H-FKW	R502	0	2560	-48	4,4
R407C	H-FKW	R22	0	1610	-44	7,4
R410A	H-FKW	R22	0	1890	-51	>0,2
R507	H-FKW	R502	0	3800	-47	0
KW reine Kohlenwasserstoffe						
R170	KW	R13, R503	0	3	-89	0
R290	KW	R22, R502	0	3	-42	0
R600a	KW	R12, R114	0	3	-12	0
R1270	KW	R22, R502	0	3	-48	0
Anorganische Kältemittel						
R717	NH ₃	R22, R502	0	0	-33	0
R718	H ₂ O	-	0	0	100	0
R744	CO ₂	diverse	0	1	-57	0

Diese Liste wird laufend nachgeführt.

Stand: August 2005

3.1 Das Ozonabbaupotential

Die Ozonschicht hat die Aufgabe, die energiereichen UV-B-Strahlen der Sonne abzuwehren. Durch einen chemischen Prozess, bei welchem auch das Ozon zerstört wird, wird die UV-B-Strahlung in Wärme umgewandelt. Daher stellt man in der Stratosphäre auch eine deutliche Erwärmung fest. Mit Hilfe eines sogenannten „Stosspartners“, welcher selbst chemisch nicht aktiv wird, bildet sich das Ozon von neuem aus molekularem Luftsauerstoff und einem einzelnen Sauerstoffatom. Ozon ist nichts anderes, als die Verbindung von drei Sauerstoffatomen zu einem Molekül.

In der Stratosphäre „opfert“ sich das Ozon und lässt sich abbauen, um so die UV-B-Strahlung in Wärme umzuwandeln. Es ist für unser Ökosystem von lebenswichtiger Bedeutung, dass dies 30 km über unseren Köpfen geschieht.

Da sich das Ozon mit Hilfe des Stosspartners wieder aufbaut, entsteht ein Gleichgewicht, welches sich in gewissen Grenzen selbst regulieren kann. Problematisch wird es aber, wenn durch einen Sekundärstoff, z.B. FCKW, eine Komponente eingeführt wird, welche kettenreaktionsmässig die Ozonschicht abbaut. Der Stosspartner ist dem nicht mehr gewachsen, die Folge sind starke Ozonausdünnungen, landläufig als „Ozonloch“ bekannt.

3.2 Der Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt ist neben der Ozonproblematik ein separates, ebenfalls globales Problem. Es betrifft das ganze Klima der Erde mit grossen Folgen. Ein Erwärmen der Erde würde ernste soziale Konsequenzen nach sich ziehen. Eine Veränderung des Klimas würde Ernterträge beeinträchtigen und möglicherweise zum Schmelzen der polaren Eiskappen führen, wodurch niedrig liegende Küstenregionen überschwemmt werden. Daraus ergeben sich Völkerwanderungen und damit einhergehend politische Streitigkeiten. In Ländern wie der Schweiz steigt vorerst die Permafrostzone, was zur Destabilisierung grosser Schuttmengen führt. Vermehrte Erdbeben und Murgänge sind die Folgen, was schon heute spürbar ist. Bei vielen Bauten in Höhen von ca. 3'000 m.ü.M müssen daher die Fundamente neu befestigt werden (Bergbahnen).

Ein Abschmelzen der Polkappen und grösseren Eisflächen würde zudem dem Golfstrom die „Antriebskraft“ nehmen, was in Europa schliesslich zu sibirischem Klima führen würde.

3.3 Treibhausgase

Das bedeutendste Treibhausgas ist Kohlendioxid CO_2 , das in grossen Mengen freigesetzt wird und in der Atmosphäre vorhanden ist. Andere Gase wie FCKW und viele der Ersatzstoffe sind ebenso Treibhausgase. Diese sind in sehr viel geringeren Konzentrationen vorhanden, besitzen jedoch einen bedeutend grösseren Effekt pro Masseneinheit (um den Faktor 1'500 bis 4'000).

Der Vergleich des GWP verschiedener Gase ist um einiges komplizierter als der Vergleich von ODP's. Zusätzlich zur Eigenschaft des betrachteten Gases Infrarot-Licht zu absorbieren, ist es unerlässlich, die durchschnittliche Verweildauer in der Atmosphäre mit einzubeziehen. Letzteres tritt in einer sehr grossen Bandbreite auf. CO_2 verweilt in der Atmosphäre über 500 Jahre, wogegen R 123 und R 152a eine berechnete atmosphärische Lebensdauer von weniger als 2 Jahre besitzen. R134a verweilt ca. 15 Jahre und gilt somit noch als persistenter Stoff. Obwohl Kohlendioxid die verwendete Basis für Vergleiche ist, kann es, da es keine begrenzte atmosphärische Lebensdauer besitzt, nicht umfassend mit anderen Treibhausga-

sen verglichen werden. Ein Vergleich mit R 11, das eine begrenzte atmosphärische Lebensdauer von 55 Jahren besitzt, ist daher praktikabler. Dieser Wert wird als HGWP bezeichnet. GWP's werden bezogen auf eine gewisse Zeitperiode ("Integration Time Horizons", ITH). Diese sind herkömmlich 20, 100 und 500 Jahre. In der Literatur angeführte Werte beziehen sich, wenn nicht anderweitig angegeben, auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Neben Kohlendioxid und verschiedenen fluorierten Gasen sind Methan und Ozon (in der Troposphäre) signifikante Treibhausgase.

4 Das BUWAL nimmt Stellung

Mitteilungen zur Stoffverordnung (StoV) und
zur Luftreinhalte-Verordnung (LRV) Nr. 2 (1994)

Persistente Stoffe:

Perfluorierte und andere höher fluorierte Verbindungen

Seit einiger Zeit werden auf dem schweizerischen Markt von verschiedenen Firmen vermehrt perfluorierte und andere höher fluorierte Stoffe propagiert, oft als Alternativen zu ozonschichtabbauenden Stoffen. Die Stoffverordnung (StoV) enthält keine direkten Vorschriften über diese naturfremden Substanzen, und auch in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) gibt es keine spezifischen Begrenzungen dazu.

4.1 Perfluoralkane

Bei den Perfluoralkanen handelt es sich in der Regel um kohlenstoffbasierte fluorierte Stoffe. Diese zeichnen sich durch sehr hohe chemische, physikalische und biologische Stabilität, sehr niedrige Löslichkeit in Wasser und sehr niedrige Toxizität gegenüber Lebewesen aus.

Aufgrund ihrer Eigenschaften sind diese Stoffe in der Umwelt äusserst langlebig und reichern sich demnach dort an. Sind sie einmal in die Atmosphäre gelangt, verteilen sie sich innerhalb von Jahren über den ganzen Globus und gelangen innerhalb von Jahrzehnten in die höheren Luftschichten (Stratosphäre ca. 12 - 50 km Höhe, Mesosphäre ca. 50 - 80 km Höhe, Thermosphäre oberhalb ca. 80 km Höhe). Die meisten Perfluoralkane werden erst oberhalb 50 - 100 km Höhe zersetzt. Man berechnet die mittlere Aufenthaltsdauer der Perfluoralkane in der Atmosphäre von mehreren hundert Jahren. Die Auswirkungen eines solchen Fremstoffeintrags auf die chemischen Vorgänge in dieser Höhe sind bisher unbekannt. Perfluoralkane sind zwar nicht ozonschichtabbauend, sie weisen jedoch ein sehr hohes Treibhauspotential, vergleichbar demjenigen der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), auf.

4.2 Höher fluorierte Alkane

Teilweise fluorierte Alkane haben je nach Art und Ausmass des Fluorgehaltes mehr oder weniger ähnliche Eigenschaften wie die Perfluoralkane:

- *Trifluormethan* = **FKW 23** *Halbwertszeit in der Atmosphäre ca. 300 Jahre*
- *Pentafluorethan* = **FKW 125** *ca. 30 Jahre*
- *1,1,1-Trifluorethan* = **FKW 143a** *ca. 40 Jahre*
- *Tetrafluorethan* = **FKW 134a** *ca. 15 Jahre.*

Auch viele neue Kältemittelmischungen der 400er und 500er Serie enthalten diese Stoffe, gehören also auch in die Gruppe „persistenter Stoffe“.

Mitteilungen zur Stoffverordnung (StoV)
vom 25. Juni 2004

siehe auch: <http://www.uvek.admin.ch>

Bewilligungspflicht für synthetische Kältemittel:
Übergangsfrist für Wärmepumpen im Wohnbereich

Der Bundesrat hat an seiner Sitzung am letzten Mittwoch das Datum der Bewilligungspflicht für Wärmepumpen im Wohnbereich vom 1. Januar 2004 auf den 1. Januar 2007 verschoben. Diese Übergangsfrist betrifft Wärmepumpen, die mit mehr als drei Kilogramm synthetischen Kältemitteln funktionieren und soll vor allem die Vollzugsbehörden entlasten.

Wärmepumpen für Wohnbauten funktionieren heute noch mit sogenannten in der Luft stabilen, synthetischen Kältemitteln. Diese wirken als langlebige Treibhausgase, wenn sie in die Atmosphäre gelangen. Im Rahmen einer Änderung der Stoffverordnung trat auf den 1. Januar 2004 eine allgemeine Bewilligungspflicht für Kälteanlagen mit mehr als drei Kilogramm synthetischen Kältemitteln in Kraft. Auch die Wärmepumpen fallen grundsätzlich unter diese Bestimmung. Wie der Bundesrat am Mittwoch, 23. Juni 2004, entschieden hat, soll die Bewilligungspflicht für industriell gefertigte und dauerhaft verschlossene Wärmepumpen für Wohnbauten neu erst ab 1. Januar 2007 in Kraft treten.

Der Grund für die Anpassung des Datums ist hauptsächlich die grosse Zahl von zu erwartenden Bewilligungsgesuchen für Wärmepumpen in Wohnbauten. Dies stellt die Vollzugsbehörden in den Kantonen vor kurzfristig schwer lösbare organisatorische Probleme: Eine EDV-Lösung für das Verfahren ist erst in Ausarbeitung. Gesamtschweizerisch werden pro Jahr in über 8000 Wohnbauten Wärmepumpen neu eingebaut oder ersetzt. Von der Übergangsfrist nicht betroffen sind Kälteanlagen in den Anwendungsbereichen Industriekälte, Gewerbekälte und Klimakälte.

4.3 USG und StoV (siehe auch: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_01.html)

Nach Umweltschutzgesetz (USG) dürfen Stoffe nicht für Verwendungen in den Verkehr gebracht werden, bei denen sie, ihre Folgeprodukte oder Abfälle bei vorschriftsgemässer Handhabung den Menschen oder seine natürliche Umwelt gefährden können. Der Hersteller oder der Importeur führt zu diesem Zwecke eine Selbstkontrolle durch (Art. 26). Im weiteren kann der Bundesrat insbesondere über Stoffe Vorschriften erlassen, die oder deren Folgeprodukte sich in der Umwelt anreichern können (Art. 29). Die Akkumulierbarkeit eines Stoffes ist also - auch unabhängig von der Verwendungsart - nach USG bereits ein wichtiges Kriterium zum Ergreifen von Massnahmen. Die Hersteller und Importeure sollten deshalb aufgrund der Selbstkontrolle freiwillig auf persistente Stoffe verzichten. Nur in wirklich speziellen Fällen dürfen sie in kleinen Mengen zur Anwendung gelangen. Sonst muss unweigerlich eine gesetzliche Regelung (Ergänzung der StoV) in die Wege geleitet werden.

4.4 LRV (siehe auch: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html)

Da Anhang 2 der LRV keine spezifischen Vorschriften für Anlagen enthält, in denen hochfluorierte Stoffe eingesetzt werden können, müssen solche Anlagen die Anforderungen von

Anhang 1 einhalten. In Anhang 1 LRV sind jedoch hochfluorierte Verbindungen nicht explizit aufgeführt, so dass Artikel 4 zur Anwendung gelangt, wonach die Vollzugsbehörde in eigener Kompetenz vorsorgliche Emissionsbegrenzungen festsetzt. Dabei richtet sie sich nach den Kriterien, wie sie in Artikel 4 Abs. 2 und 3 sowie in Anhang 1 Ziff. 3 Abs. 2 aufgeführt sind, wo insbesondere auch auf die Abbaubarkeit und Anreicherbarkeit als Kriterien für die Klassierung hingewiesen wird. In Anbetracht der ausgeprägten Persistenz und Anreicherbarkeit der höher und vollständig fluorierten Verbindungen empfehlen wir daher, diese Substanzen vorsorglich nach Anhang 1 Ziff. 71 Abs. 1 a) zu begrenzen.

4.5 VVS (siehe auch: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_610.html)

Nach Anhang 2 der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS) gelten perfluorierte Lösungsmittel als Sonderabfälle (Code 1215). Sie sind möglichst der Rezyklierung zuzuführen, da bei ihrer Verbrennung Probleme auftreten können.

4.6 Internationales

Bereits ist auch international die Diskussion über Restriktionen im Gange, u.a. im Rahmen der Klimakonvention, im Rahmen des Übereinkommens über grenzüberschreitende Luftverschmutzung und bei den Diskussionen über Alternativen zu ozonschichtabbauenden Stoffen.

4.7 Schlussfolgerungen

Wie oben dargestellt, gibt es starke ökologische Gründe, persistente organische Stoffe nicht einzusetzen. Das BUWAL zählt deshalb auf die betroffenen Wirtschaftskreise, dass sie freiwillig auf den Einsatz solcher Stoffe verzichten. Sollte sich zeigen, dass die Selbstbeschränkung nicht in genügendem Ausmass erfolgt, oder sollte aus einzelnen Bereichen der Wunsch nach einer allgemein verbindlichen Einschränkung oder einem Verbot kommen, wird das BUWAL die nötigen Massnahmen vorschlagen.

5 Die Arbeitsmittel (Kältemittel)

Durch die Physik wissen wir, dass jeder Stoff für den Aggregatzustandswechsel vom flüssigen in den dampfförmigen Zustand Energie benötigt, die sogenannte Verdampfungswärme. Diese entspricht der abzuführenden Energie beim Kondensieren dieses Stoffes. Daher liesse sich prinzipiell jeder Stoff als Kältemittel verwenden, der sich verdampfen und wieder kondensieren lässt. Wichtig dabei ist natürlich, dass dieser Stoff bei den dabei auftretenden Temperaturen und Drücken chemisch nicht zersetzt wird. Verschiedene weitere Forderungen haben die Zahl der in Frage kommenden Stoffe weiter eingeschränkt. Diese zusätzlichen Forderungen haben zur Entwicklung von speziellen Kältemitteln geführt.

Forderungen an ein modernes Kältemittel:

- innerhalb des Kältekreislaufes chemisch stabil
- darf das verwendete Kälteöl nicht angreifen
- verwendete Metalle und Dichtungen dürfen nicht angegriffen werden
- beständig bei allen herrschenden Drücken und Temperaturen
- Verflüssigung bei vertretbaren Drücken und Temperaturen
- Verdampfung nicht im Vakuum
- muss sich schnell vom Kälteöl lösen
- soll möglichst ungiftig sein
- soll möglichst unbrennbar sein
- soll sich in der Atmosphäre auf natürliche Weise abbauen.

5.1 Die ersten Kältemittel

Es gibt jedoch kein Kältemittel, welches alle Forderungen in idealer Weise vereinigen kann. Als Beispiel kann die erste und die letzte Forderung in dieser Aufzählung gelten. Ein reales Kältemittel stellt immer einen Kompromiss dar zwischen der Forderung nach chemischer Stabilität und der natürlichen Abbaubarkeit. Das heisst, das Kältemittel soll sich in der Atmosphäre (nach einer Leckage) abbauen, was natürlich im Kältesystem noch unerwünscht war.

Diese Anforderungen haben zur Entwicklung von speziellen Kältemitteln geführt. Die allerersten Versuche mit Kompressionskühlanlagen wurden 1834 vom Amerikaner Perkins mit **Äther** (Siedepunkt -25°C) als Kältemittel gefahren. Da diese Anlagen jedoch den Nachteil aufwiesen, gelegentlich zu explodieren, wurde schon bald nach anderen geeigneten Stoffen Ausschau gehalten. Die nächste Generation Kühlanlagen wurden mit **Schwefeldioxyd** SO_2 (Siedepunkt -10°C) oder mit **Methylchlorid** CH_3Cl betrieben.

Das Kältemittel, welches der Kältetechnik auf breiter Front zum Durchbruch verhalf, war das **Ammoniak** NH_3 (Siedepunkt -33°C). Die erste, auf Ammoniak basierende Anlage, wurde 1876 von Carl Linde vorgestellt. Ammoniakanlagen waren bedeutend sicherer als ihre Vorgänger. Da aber auch Ammoniak innerhalb der Luft zündbare Gemische bildet und zudem giftig ist (Giftklasse 2), wurde für den breiten kommerziellen Bereich nach ungiftigen und unbrennbaren Kältemitteln gesucht.

Als das R12 im Jahre 1928 erfunden wurde, erachtete man es als das perfekte Sicherheitskältemittel. Chemisch und thermisch stabil, ungiftig, unbrennbar und nicht explosiv. Darüber hinaus war es ein sehr gutes Kältemittel. Daher hatte das R12 und alle verwandten Verbindungen einen grossen Erfolg auf dem Weltmarkt. Dazu kam, dass sich diese Stoffe auch hervorragend als Zellgas in Isolierstoffen und zur technischen Reinigung als Entfettungsmittel eigneten.

Niemand kam damals auf die Idee, dass diese Stoffe bedrohliche Sekundäreffekte hervorrufen, welche erst Jahrzehnte nach den ersten Emissionen bemerkt würden.

Nach 1828 war man daher 1987 wieder gezwungen, Alternativstoffe zu suchen. Entscheidend ist, dass nach den ökologischen Erkenntnissen nun nicht mehr der Mensch als Einzelindividuum zu schützen ist, sondern das globale Ökosystem an sich. Daher kommen nun vermehrt Kältemittel auf den Markt, welche durchaus Giftig und/oder brennbar sein können, wenn sie sich biologisch abbauen lassen. Auch Ammoniak erlebt daher eine Renaissance.

5.2 Kältemittel auf der Basis von Methan oder Äthan

1928 gelang den Chemikern von General Motors ein entscheidender Durchbruch. Die Idee war, die leicht zu beschaffenden natürlichen Gase Methan und Äthan durch einen chemischen „Umbau“ unbrennbar zu machen. Erreicht wird dies durch das Ersetzen der brennbaren Wasserstoffatome im Molekül durch Chlor oder Fluor, manchmal auch durch Brom.

Das Molekül Methan besteht aus einem einzigen Atom Kohlenstoff in seinem Moleküllern. Ein Kohlenstoffatom besitzt vier "Arme", mit jedem kann es ein anderes Atom festhalten. Im Falle von Methan ist jeder Arm mit einem Wasserstoffatom bestückt.

Das Äthanmolekül ist ähnlich aufgebaut wie das Methan, nur dass im Moleküllern zwei Kohlenstoffatome sitzen. Diese halten sich mit je einem Arm gegenseitig, es bleiben noch 6 Arme für Wasserstoff übrig.

5.3 Herstellung

Der Wasserstoffanteil muss soweit reduziert werden, dass das neue Molekül nicht mehr brennbar ist. Als nicht brennbar im gesetzlichen Sinne gilt ein Gas, welches bei atmosphärischem Druck in keinem Mischungsverhältnis mit der Luft ein zündbares Gemisch bildet. Da aber das Kohlenstoffatom jeden seiner vier „Arme“ besetzt haben will, muss der Wasserstoff durch andere Elemente ersetzt werden. Als Ersatzelemente kommen nur Vertreter aus der Gruppe der sogenannten **Halogene** in Frage:

- **Chlor**
- **Fluor**
- **Brom**

Das Abtrennen von Wasserstoff und Ersetzen durch Halogene nennt man derivieren. Die so entstandenen Kältemittel dementsprechend Derivate. Ein weiteres Ziel der Derivation ist auch, ein Kältemittel auf die gewünschten physikalischen Eigenschaften (Verdampfungswärme, Siedepunkt, etc.) „hinzuzüchten“, damit es den gewünschten Arbeitsbereich möglichst optimal abdeckt.

5.4 Kältemitteldreiecke

Die folgenden Kältemitteldreiecke sollen die Verwandtschaft der organischen Kältemittel aufzeigen, basierend jeweils auf ihrem Ursprungsstoff:

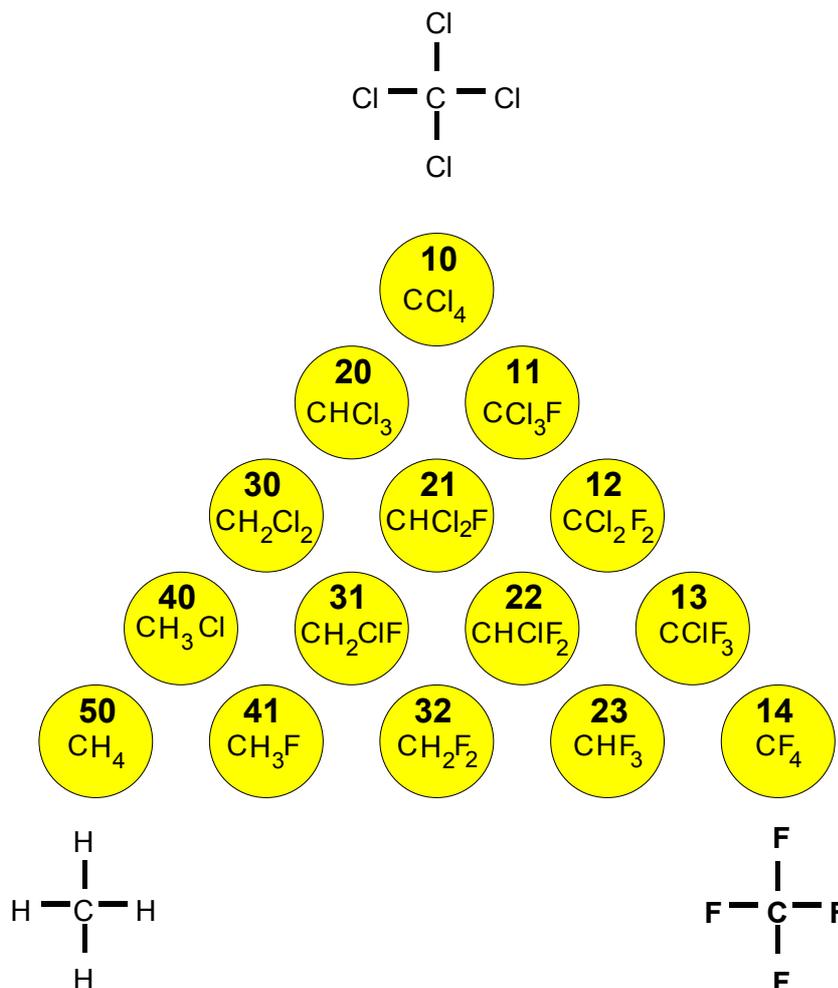
- **Methan**
- **Äthan**
- **Propan**

Als organisch gelten alle Kältemittel, die Kohlenstoff enthalten. Kohlenstoff ist der Schlüsselbaustein zu allem Leben. Darum wird die Kohlenstoffchemie als organische Chemie bezeichnet. Damit sind bis auf wenige Ausnahmen praktisch alle in der Praxis anzutreffenden Kältemittel organischer Natur.

5.5 Methanderivate

Dieses Dreieck enthält sämtliche Variationen der Methanderivate, welche mit Chlor und/oder Fluor möglich sind. Die Zahl in dem jeweiligen Molekül entspricht der R-Nummer. Darunter jeweils die chemische Formel.

Links unten ist der Ursprungsstoff, das Methan (R50). Vom Methan zur Dreiecksspitze verlaufend, wird dem Molekül ein weiteres Wasserstoffatom entfernt und durch ein Chlor ersetzt. Da sich maximal 4 Wasserstoffatome ersetzen lassen, besteht das Molekül nach vier-

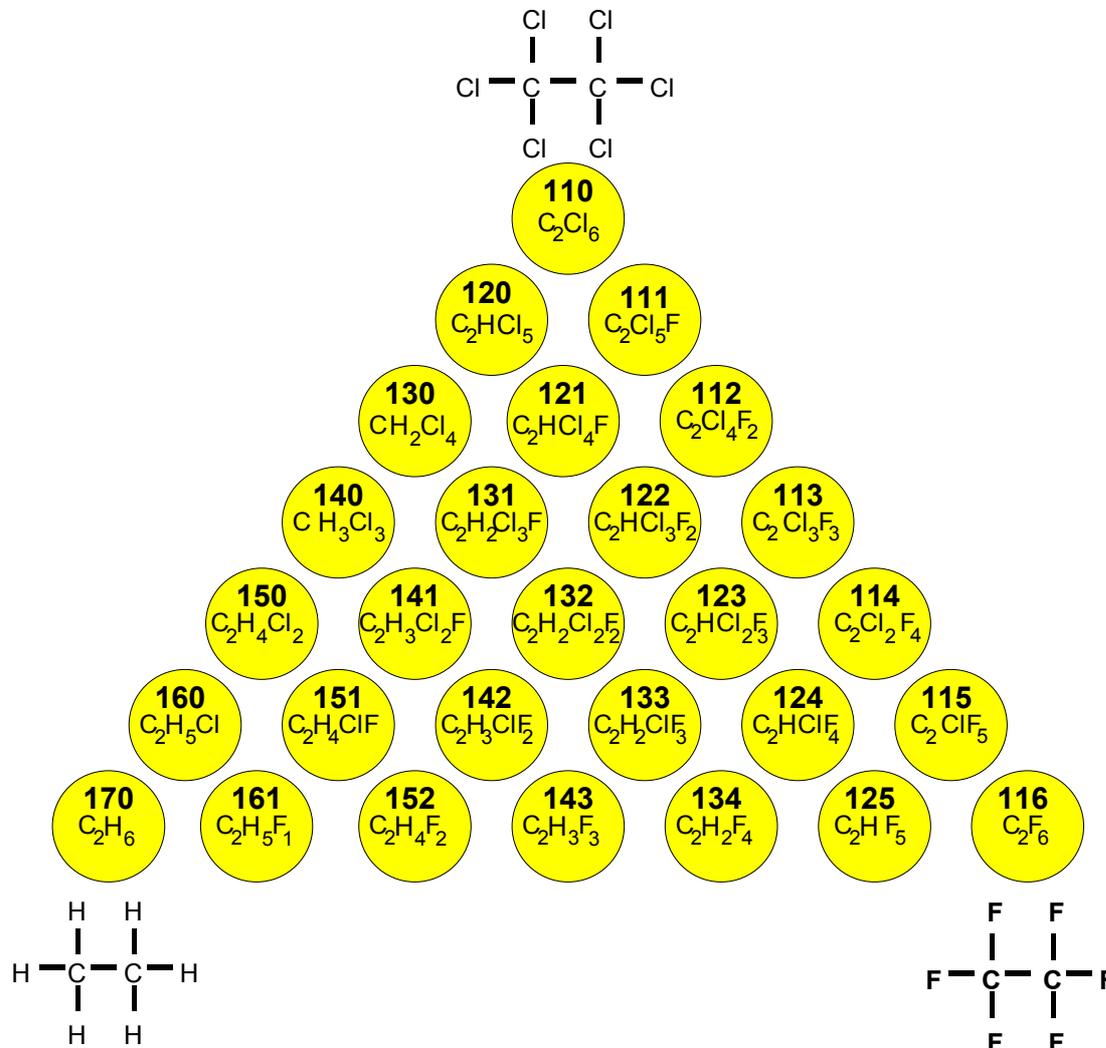


facher Wiederholung des Vorgangs nur noch aus dem Kohlenstoffkern und Chlor. Sinngemäss lässt sich das gleiche Verfahren auch zur rechten Ecke hin durchführen, nur dass jetzt der Wasserstoff durch Fluor ersetzt wird. Die drei Moleküle in der Mitte (R31, R21 und R22) entsprechen dabei Vertretern der H-FCKW-Gruppe, enthalten also Wasserstoff, Chlor und Fluor. Die Grundseite entspricht den chlorfreien, enthält also auch die H-FKW's. Die rechte Seite entspricht den stabilen, wasserstofffreien Molekülen, darin enthalten auch die FCKW's. Die linke Seite entspricht sinngemäss den fluorfreien Molekülen.

Als Langzeitalternativen werden vom Gesetzgeber nur noch die chlorfreien Moleküle angesehen.

5.6 Äthanderivate

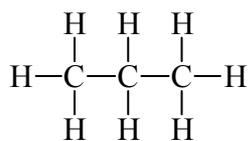
Ein gleiches Dreieck lässt sich auch mit den Äthanderivaten aufstellen. Durch die Basis mit 2 Kohlenstoffatomen ergeben sich bedeutend mehr Variationsmöglichkeiten.



Alles, was über die Methanderivate gesagt wurde, kann auch auf die Äthanderivate bezogen werden.

5.7 Propanderivate

Indem man die gleichen Regeln wie für Methan- und Äthanderivate befolgt, kann man auch für Propan ein Kältemitteldreieck aufstellen.



Der Aufbau des Propandreecks beinhaltet mehr Möglichkeiten als beim Äthan, da hier 8 Wasserstoffatome ersetzt werden können. Propanderivate spielen in der Kältetechnik nur eine untergeordnete Rolle, weshalb hier auf das Dreieck verzichtet wird. Propan als Reinstoff hingegen kann überall dort als Kältemittel eingesetzt werden, wo brennbare Stoffe erlaubt sind. Aufgrund seines Siedepunktes ist es besser einsetzbar als reines Methan oder Äthan.

5.8 Gruppeneinteilung

Aufbauend auf der bereits erklärten Regel kann man die Methan- und Äthanderivate in Gruppen einteilen. Man unterscheidet folgende Gruppen:

FCKW Fluor- Chlor- Kohlenwasserstoffe

Dem Grundmolekül wurde sämtlicher Wasserstoff entzogen und durch die Halogene Fluor, Chlor und/oder Brom ersetzt. Diese Gruppe nennt man daher auch **vollständig halogenisierte Kältemittel**. Ein FCKW-Molekül ist sehr stabil, daher nicht brennbar und ungiftig. Ab 1928 wurde aus diesem Grunde vor allem diese Kältemittelgruppe weiterentwickelt. Durch die enorme Stabilität werden aber solche Moleküle in der Troposphäre nicht abgebaut. Sie zersetzen sich erst innerhalb der Stratosphäre durch Einwirkung der dort herrschenden, energiereichen UV-B-Strahlung. Der „Ozonkiller“ Chlor wird nun gerade dort frei gesetzt, wo sich die Ozonschicht befindet. Deshalb gelten die FCKW's als **Ozonfeind Nr. 1**. Die Reise in die Ozonschicht dauert zwischen 15 bis 30 Jahren. Während dieser Zeit sind die FCKW's auch als Treibhausgas wirksam!

FCKW's sind in der Schweiz seit dem 1. 1. 1994 für Neuanlagen verboten. Erlaubt ist lediglich die Wartung bestehender Anlagen.

bekannte FCKW's:

- R 11
- R 12
- R 502

H-FCKW hydrogenisierte Fluor- Chlor- Kohlenwasserstoffe

Auch hier wird dem Grundmolekül Wasserstoff entnommen und durch Halogene ersetzt. Es verbleibt aber im Minimum ein Wasserstoffatom im Molekül (Wasserstoff = Hydrogen). Man nennt sie auch **teilhalogenisierte Kältemittel**. Wegen dem Wasserstoffanteil ist das Molekül weniger stabil. H-FCKW's bauen sich daher zum Teil bereits in der Troposphäre ab. Das Chlor wird dadurch von anderen Partnern gebunden und gelangt nicht in die Ozonschicht. Der ODP ist aus diesem Grund rund 10 bis 20 mal kleiner als bei einem reinen FCKW. Durch die geringere atmosphärische Verweilzeit wird auch der GWP von H-FCKW's geringer gegenüber von reinen FCKW's.

H-FCKW's sind in der Schweiz seit dem 1. 1. 2002 für Neuanlagen verboten. Erlaubt ist lediglich die Wartung bestehender Anlagen.

bekannte H-FCKW's:

- R 22
- R 401A
- R 401B
- R 402A
- R 408A

Das bekannteste Kältemittel aus dieser Gruppe, das R22, wurde ab 1988 vermehrt als Ausweichkältemittel in der Tief- und Normalkühlung, sowie in der Klimakühlung eingesetzt. Da dieses Kältemittel aber immer noch Chlor enthält, durfte es nie als echte Alternative betrachtet werden. Der Chloranteil indes ermöglicht eine einfache Umrüstung von FCKW auf H-FCKW. Der ODP vermindert sich dabei um ca. das 10-fache. Aus diesem Grund hat die Industrie typische Umrüstkältemittel auf der Basis von R 22 auf den Markt gebracht. Durch das Vermischen mit anderen Kältemitteln der Gruppe H-FKW oder H-FCKW wurden diese Umrüstkältemittel auf die physikalischen Daten der zu ersetzenden FCKW's getrimmt.

R 401:

Das Kältemittel R 401 ist ein Ersatz für bestehende R 12 Anlagen, bei denen ein Umbau auf R 134a nicht in Frage kommt. Zu beachten ist, dass dieses Kältemittel nicht für Neuanlagen verwendet werden soll. Die Mischbarkeit mit Mineralöl ist gut, dies wird aber mit einem gewissen Chloranteil erkauft. R 401A ist ein typisches Kompromisskältemittel. Der Vorteil liegt im leichteren Umrüsten von R 12 Anlagen begründet. Auch R 401 benötigt ein spezielles Kälteöl, das sich in der Regel aus ca. 70% Alkylbenzol und 30% Mineralöl zusammensetzt. Dadurch reicht in der Regel ein einmaliger Ölwechsel aus, die Umrüstung wird erleichtert. Bei Verdampfungstemperaturen von -23°C und darüber ergeben sich vergleichbare Leistungen wie bei R 12.

Bezeichnung	Bestandteile in vol. %		
	R 22	R 152a	R 124
R401A	53	13	34
R401	33	15	52
R401B	61	11	28

Einsatzgebiet: Umrüstungen von bestehenden R 12 Anlagen.
Siedepunkt: -33,8..-28,9 °C
Kälteöl: Mineral- und Alkylbenzolöl als Gemisch
ODP: 0,03
HGWP: 0,22
Gleit: 4,9K

R 402

Das Kältemittel R 402A ist ein Ersatz für bestehende R 502 Anlagen. Zu beachten ist, dass dieses Kältemittel nicht für Neuanlagen verwendet werden soll. Die Mischbarkeit mit Mineralöl ist gut, dies wird aber mit einem gewissen Chloranteil erkauft. R 402A ist ein typisches Kompromisskältemittel. Der Vorteil liegt im leichteren Umrüsten von R 502 Anlagen begründet. Auch R 402A benötigt ein spezielles Kälteöl, das sich in der Regel aus ca. 70% Alkylbenzol und 30% Mineralöl zusammensetzt. Dadurch reicht in der Regel ein einmaliger Ölwechsel aus, die Umrüstung wird erleichtert.

Bezeichnung	Bestandteile in vol. %		
	R 125	R 290	R 22
R402A	60	2	38
R402B	38	2	60

Einsatzgebiet: Umrüstungen von bestehenden R 502 Anlagen. Nur wenn eine Umrüstung auf chlorfreie Kältemittel nicht in Frage kommt.

Siedepunkt: -42,2..-42 °C
Kälteöl: Mineral- und Alkylbenzolöl als Gemisch
ODP: 0,02
HGWP: 0,63
Gleit: 1,6K

R 408A

Das Einsatzgebiet von R 408A entspricht dem von R402A. Es handelt sich dabei um ein Konkurrenzprodukt mit ähnlichen Eigenschaften aber anderer Zusammensetzung. Man kann sich also auf eines dieser beiden Kältemittel beschränken. Die Mischbarkeit mit Mineralöl ist gut, dies wird aber mit einem gewissen Chloranteil erkaufte. R 408A ist ein typisches Kompromisskältemittel. Der Vorteil liegt im leichteren Umrüsten von R 502 Anlagen begründet. Der Hersteller gibt sogar an, dass bei diesem Umrüstkältemittel die bestehende Mineralölfüllung nicht durch Alkylbenzolöl ergänzt werden muss. Schaden würde dies aber sicher nicht.

Bezeichnung	Bestandteile in vol. %		
	R 125	R 143a	R 22
R408A	7	46	47

Einsatzgebiet: Umrüstungen von bestehenden R 502 Anlagen. Nur wenn eine Umrüstung auf chlorfreie Kältemittel nicht in Frage kommt.
Siedepunkt: -44,5..-44 °C
Kälteöl: Mineral- und Alkylbenzolöl als Gemisch
ODP: 0,023
HGWP: 0,78
Gleit: 0,5K

H-FKW hydrogenisierte Fluor- Kohlenwasserstoffe

Sie entsprechen in ihrem Aufbau dem H-FCKW, nur dass jetzt als Ersatzelement für den Wasserstoff nur noch Fluor in Frage kommt. Es muss ebenfalls mindestens ein Wasserstoffatom im Molekül enthalten bleiben. Auch H-FKW's sind **teilhalogenisierte Kältemittel**. H-FKW's bauen sich wie die H-FCKW's zum grössten Teil in der Troposphäre ab. Der ODP ist zwingend 0, da das Molekül kein Chlor mehr enthält. Die atmosphärische Verweilzeit ist ähnlich den H-FCKW's und damit ist auch hier der GWP geringer als bei den reinen FCKW's.

H-FKW's werden als Alternativkältemittel anerkannt.

Für einige Anwendungen ist es die einzige, heute allgemein verfügbare Alternative. Langfristig sollen H-FKW's nur noch in Spezialbereichen eingesetzt werden. Im Moment überall dort, wo aus Sicherheitsgründen keine brennbaren oder giftigen Kältemittel eingesetzt werden können.

bekannte H-FKW's:

- R 134a
- R 227
- R 404A
- R 507A
- R 407C

R 134a:

Diese Kältemittel stellt momentan die einzige Alternative (Ausnahme: R 227) im Bereich der unbrennbaren Einstoffersatzkältemittel dar. Alle anderen gebräuchlichen H-FKW's sind Mischungen, die zudem einen gewissen Glide.

Arbeitshinweise:

Aufgrund der molekularen Struktur und des chemischen Verhaltens müssen Anlagen mit R 134a extrem sauber erstellt werden. Ein Formieren der Lötstellen ist eine unbedingte Forderung. Das Molekül ist kleiner als das R 12 Molekül, daher müssen spezielle Filtertrockner mit kleinerem Molekularsieb verwendet werden. Alle Werkzeuge, welche direkt mit chlorhaltigem Kältemittel in Berührung standen, dürfen für R 134a nicht mehr verwendet werden. Das thermodynamische Verhalten entspricht in etwa demjenigen von R 12. Ein spezifischer Leistungsverlust tritt bei Verdampfungstemperaturen unter -15°C auf.

Umbauhinweise:

R 134a weist eine sehr grosse Mischungslücke bei Verwendung von Mineralöl auf. Alle Neuanlagen werden mit Esteröl betrieben. Beim Umbau muss unter mehrmaligem Ölwechsel der Mineralölanteil auf ca. 1 vol. % reduziert werden. Dies wird erreicht, indem man das System während 3 bis 4 Ölwechseln weiterhin mit R 12 betreibt. Erst nach einiger Betriebszeit wird das R 12 durch R 134a ersetzt. Der Ölwechsel ist danach noch so oft zu wiederholen, bis der Restmineralölgehalt weniger als 1 vol. % beträgt. Der relativ grosse Aufwand steht nur bei grösseren Anlagen, die noch einige Betriebsjahre vor sich haben, in einer gesunden Relation zum Ertrag. Der mehrmalige Ölwechsel führt zu zusätzlichem Abfall, welcher mit dem R 12 entsorgt werden muss. Kleinere, insbesondere hermetische Systeme sollten dagegen auf R 401A umgebaut werden. Systeme, die kurz vor der Ausserbetriebsetzung stehen, sollten, unter Beibehaltung des Kältemittels, so gut wie möglich gewartet werden. Eine Umrüstung wird hier auf Grund des anfallenden Abfalls nicht empfohlen.

<i>Einsatzgebiet:</i>	<i>Neuanlagen oder Umrüstungen bis zu t_0 von -15°C.</i>
<i>Siedepunkt:</i>	<i>$-26,2^{\circ}\text{C}$</i>
<i>Kälteöl:</i>	<i>Ester- oder PAG-Öl erforderlich</i>
<i>ODP:</i>	<i>0 (kein Chlor)</i>
<i>HGWP:</i>	<i>0,35</i>

R 227:

Nebst R 134a im Moment die einzige Alternative im Bereich der unbrennbaren Einstoffersatzkältemittel. Dieses Kältemittel wurde von Hoechst im Markt eingeführt und soll vor allem bei Anlagen mit hohen Umgebungstemperaturen (Klimaanlagen für landwirtschaftliche Fahrzeuge, Hochtemperaturwärmepumpen etc.) eingesetzt werden. Als Besonderheit ist zu erwähnen, dass dieses Kältemittel eine der seltenen Propanderivate darstellt.

Als chlorfreies Kältemittel besteht eine grosse Mischungslücke in Verbindung mit Mineralöl. R 227 soll daher mit Esteröl betrieben werden.

<i>Einsatzgebiet:</i>	<i>Hochtemperaturanlagen:</i>	<i>Wärmepumpen, Klimaanlagen</i>
<i>Siedepunkt:</i>	<i>$-16,5^{\circ}\text{C}$</i>	
<i>Kälteöl:</i>	<i>Ester- oder modifizierte PAG-Öle</i>	
<i>ODP:</i>	<i>0</i>	
<i>HGWP:</i>	<i>0,6</i>	

R 404A:

Das Kältemittel R 404A ist ein vollwertiger Ersatz für R 502 in der Kategorie 1. Da dieses Kältemittel chlorfrei ist, gestaltet sich der Umbau aber relativ komplex. Man muss die gleichen Arbeitshinweise wie beim R 134a beachten.

Bezeichnung	Bestandteile in vol. %		
	R 125	R 143a	R 134a
R404A	44	52	4

Einsatzgebiet: Umrüstungen von R 502 Anlagen
Siedepunkt: -46,5..-46 °C
Kälteöl: Ester- oder modifizierte PAG-Öle
ODP: 0
HGWP: 0,8
Gleit: 0,5K

Da der Gleit mit 0,5K sehr gering ist, kann das Kältemittel als „quasi-azeotrop“ angesehen werden. Bei normaler Anwendung sind Entmischungsprobleme nicht zu erwarten. Trotzdem ist der Gleit aber grösser 0, die Faustregel „400er Kältemittel immer flüssig einfüllen“ gilt also auch hier.

R 507:

Das Kältemittel R 507 ist ein vollwertiger Ersatz für R 502 in der Kategorie 1. Da dieses Kältemittel chlorfrei ist, gestaltet sich der Umbau aber relativ komplex. Man muss die gleichen Arbeitshinweise wie beim R 134a beachten.

Bezeichnung	Bestandteile in vol. %	
	R 125	R 143a
R 507	50	50

Einsatzgebiet: Umrüstungen von R 502 Anlagen
Siedepunkt: -47,2 °C
Kälteöl: Ester- oder modifizierte PAG-Öle
ODP: 0
HGWP: 1,05

Der einzige Unterschied zum R 404A besteht in den 4% R 134a, welche beim R 507 fehlen. Dadurch wird das Kältemittel zugleich azeotrop und konnte daher in die 500er-Gruppe aufgenommen werden. Ein Nachteil ist der recht hohe GWP.

R 407C:

Das Kältemittel R 407C ist ein vollwertiger Ersatz für R 22 in der Kategorie 1. Für die Handhabung gelten die gleichen Richtlinien wie für die anderen chlorfreien Kältemittel.

Bezeichnung	Bestandteile in vol. %		
	R 125	R 134a	R 32
R 507	25	52	23

Einsatzgebiet: Neuanlagen für den Klimabereich
 Umrüstungen von R 502 Anlagen

Siedepunkt:	-44,3...-37,1 °C
Kälteöl:	Ester- oder modifizierte PAG-Öle
ODP:	0
HGWP:	0,38
Gleit:	7,2K

Der sehr hohe Gleit macht den Umgang mit diesem Kältemittel schwierig. Man muss die Regeln für das Arbeiten mit der 400er-Gruppe strikt einhalten. Bei richtig ausgelegten Wärmetauschern kann aber auch ein energetischer Vorteil gerade wegen des grossen Gleits erzielt werden. Ueber das Thema „Gleit und Wirkungsgrad“ gibt es diverse Studien, auf welche hier verwiesen wird.

Alle H-FKW's haben einen ODP von 0, da sie kein Chlor enthalten. Aufgrund des Fluoranteils ist aber der GWP bedeutend höher als bei den KW's. Trotzdem werden die H-FKW's der Kategorie 1 zugerechnet.

KW reine Kohlenwasserstoffe

Reine Kohlenwasserstoffe entsprechen dem Ursprungsstoff. Sie enthalten nur Kohlen- und Wasserstoff. Diese Kältemittel sind aber in jedem Fall brennbar. Sie zeichnen sich wegen ihrer geringen Stabilität (hoher Wasserstoffanteil) durch einen geringen GWP aus. Auch der ODP ist 0, da das Molekül kein Chlor enthält. KW's sind einfach und günstig zu beschaffen, da sie auf natürliche Art gewonnen werden.

KW's werden vom Gesetzgeber als Langzeiteratzkältemittel anerkannt.

Sie dürfen eingesetzt werden, wenn entweder die Mengen sehr klein sind (z.B. Kleinkühlgeräte, Haushaltskühlschränke, Wärmepumpen) oder wenn die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden.

bekannte KW's:

- R 600a	(Isobutan)
- R 290	(Propan)

Die brennbaren Kältemittel entsprechen in ihrer Struktur genau den Gasen, welche schon in der Natur vorkommen. Zu diesem Vorteil kommt noch die Tatsache, dass diese Stoffe einen sehr tiefen Treibhauseffekt aufweisen. Das Ozonabbaupotential ist Null.

Sicherheitshinweise:

Bei Arbeiten muss der Raum gut belüftet sein. Da diese Kältemittel wie ihre halogenierten Abkömmlinge schwerer als Luft sind, sammeln sie sich am Boden. Feuerlöscher in Griffnähe halten. Den Arbeitsort mit Hinweisschildern markieren. Striktes Rauchverbot. Da Propan unter die Druckgeräterichtlinie PED 97/23/EC fällt, werden künftig wohl kaum Verdichter für R290 erhältlich sein.

R 600a:

Das Kältemittel R 600a ist auch als **Isobutan** bekannt. Es eignet sich besonders für kleinere Leistungen im Plusbereich. Speziell in Haushaltskühlschränken wird es vermehrt eingesetzt. Es gilt zu beachten, dass Isobutanfüllungen nicht abgesaugt werden sollen.

<i>Einsatzgebiet:</i>	<i>Kühlschränke</i>
<i>Siedepunkt:</i>	<i>-11,7 °C</i>
<i>Kälteöl:</i>	<i>Ester- oder modifizierte PAG-Öle</i>
<i>ODP:</i>	<i>0</i>
<i>HGWP:</i>	<i>< 0,01</i>
<i>Zündgrenze:</i>	<i>1,8 - 8,4 Vol %</i>
<i>Zündtemperatur:</i>	<i>476°C</i>

Butan ist neben Methan in Erdgasen enthalten und fällt in grossen Mengen bei der Kohlehydrierung an. Es wird als Flüssiggas auch in Haushalt und Gewerbe als Brenngas eingesetzt.

R 290:

Das Kältemittel R 290 ist auch als **Propan** bekannt. Propan ist ein natürliches Gas, welches sich als Kältemittel besonders im Bereich vom R 22 einsetzen lässt, also für Klima-, Kühl- und Tiefkühlanlagen sowie für Wärmepumpen geeignet ist.

<i>Einsatzgebiet:</i>	<i>Plus- und Minusbereich</i>
<i>Siedepunkt:</i>	<i>-42 °C</i>
<i>Kälteöl:</i>	<i>Ester- oder modifizierte PAG-Öle</i>
<i>ODP:</i>	<i>0</i>
<i>HGWP:</i>	<i>< 0,01</i>
<i>Zündgrenze:</i>	<i>1,8 - 8,4 Vol %</i>
<i>Zündtemperatur:</i>	<i>476°C</i>

Da Propananlagen meistens grössere Mengen Kältemittel enthalten als vergleichsweise Isobutananlagen, muss der Sicherheit hier besonders Aufmerksamkeit geschenkt werden. Isobutananlagen sollten möglichst im Freien stehen, so dass sich bei einer Leckage das Kältemittel nicht in einer Senke sammeln kann. Anlagen im Gewerbebereich müssen die Vorschriften einhalten. Direktverdampfung mit „Kundenkontakt“ muss vermieden werden. In solchen Fällen soll auf ein Sekundärkühlnetz zurückgegriffen werden.

Die Kohlenwasserstoffe werden wahrscheinlich in Zukunft immer öfters eingesetzt werden. Verschiedene Probleme, wie z. B. die Sicherheitsvorkehrungen für brennbare Stoffe, werden mit neuen Anlagekonzepten angegangen. Bereits ausgeführte Konzepte:

- Sekundärkreislauf mit Sole
- Sekundärkreislauf mit Flow-Ice (Latentwärme)
- Aufstellung der Anlage im Freien (Wärmepumpen)

5.9 Der Kältemittelschlüssel

Im vorherigen Kapitel war von den Kältemitteldreiecken die Rede. Jedem möglichen Kältemittel wurde dabei eine Nummer zugeordnet. Die Zuordnung dieser Nummer obliegt gewissen Gesetzmässigkeiten, welche von der **Ashray - Kommission** ausgearbeitet wurden. Daher nennt man diese Nummer auch Ashray-Bezeichnung.

5.10 Organische Einstoffkältemittel

Mit Hilfe dieses Schlüssels kann man die genaue Molekülzusammensetzung bestimmen.

R R=Refrigerant

Der Buchstabe R kommt aus dem Englischen und bedeutet "Refrigerant", \Rightarrow Kältemittel.

1 Anzahl der Kohlenstoffatome minus 1
weglassen wenn Zahl=0

Die erste Ziffer ist um 1 kleiner als die effektiv enthaltene Kohlenstoffanzahl. Man muss also 1 Atom addieren, um die tatsächliche Kohlenstoffatomanzahl zu erhalten.

1 Anzahl der Wasserstoffatome plus 1

Die zweite Ziffer ist um 1 grösser als die effektiv enthaltene Anzahl Wasserstoffatome. Man muss also 1 Atom subtrahieren, um die tatsächliche Wasserstoffanzahl zu erhalten.

5 Anzahl der Fluoratome

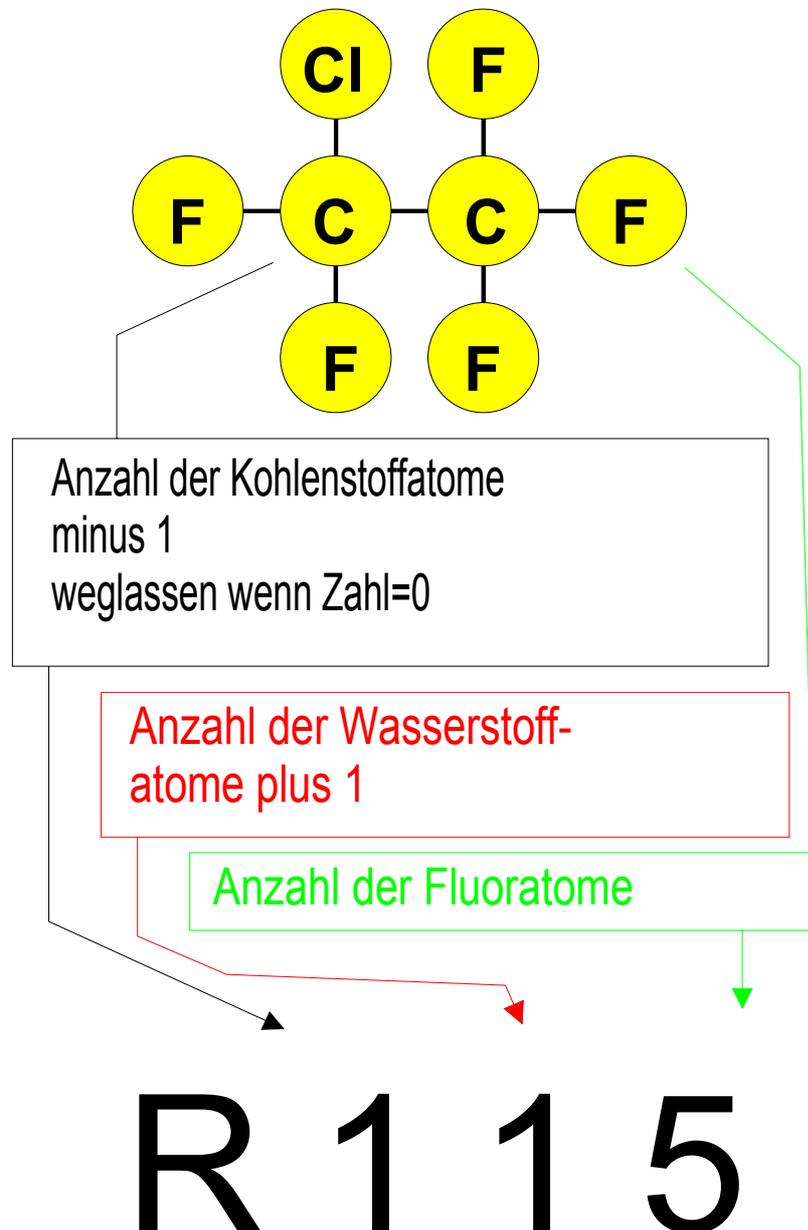
Die dritte Ziffer gibt direkt die Anzahl der Fluoratome an.

Es ist zu beachten, dass gemäss dieser Definition die erste Zahl zu „0“ werden kann. dies geschieht immer dann, wenn am molekularen Aufbau nur ein Kohlenstoffatom beteiligt ist. Es handelt sich dabei entsprechend um alle Methanderivate. Ist aber die erste Zahl Null, so wird sie weggelassen. Alle **zweistelligen** Bezeichnungen (R12, R22 etc.) müssen also Methanderivate sein, alle dreiziffrigen mit einer „1“ als erste Ziffer demgegenüber Äthanderivate.

Wird nach diesen Regeln aus der Abkürzung die Strukturformel aufgezeichnet, so werden alle frei bleibenden Arme durch Chlor besetzt. Bleibt kein Arm frei, ist das Kältemittel chlorfrei.

Dieser Schlüssel bestimmt also direkt den Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Fluorgehalt. Indirekt lässt sich daraus auch der Chlorgehalt bestimmen.

Beispiel R 115:



Zuerst wird der zentrale Kohlenstoffanteil bestimmt. Durch Subtraktion von „1“ erhält man die erste Zahl des Schlüssels.

Jedes Kohlenstoffatom bindet immer 4 andere Atome an sich. Natürlich können sie sich auch gegenseitig „die Hand“ geben. Diese Regel wird schon durch die Grundgase Methan, Äthan, Propan, Butan und Isobutan bestätigt. Werden nun alle Arme durch die Atome gemäss den letzten zwei Ziffern bestückt, so kann es sein, dass ein oder mehrere Arme frei bleiben. Alle freien Arme werden mit Chlor bestückt. Bei Kenntnis der Strukturformel kann man so den Chloranteil bestimmen, obschon im Schlüssel keine Ziffer für das Chlor bestimmt ist.

Sollte ausnahmsweise ein anderes Atom den oder die freien Plätze einnehmen, so muss dies explizit hinter dem Schlüssel angegeben werden.

Beispiel: **R 13B1**

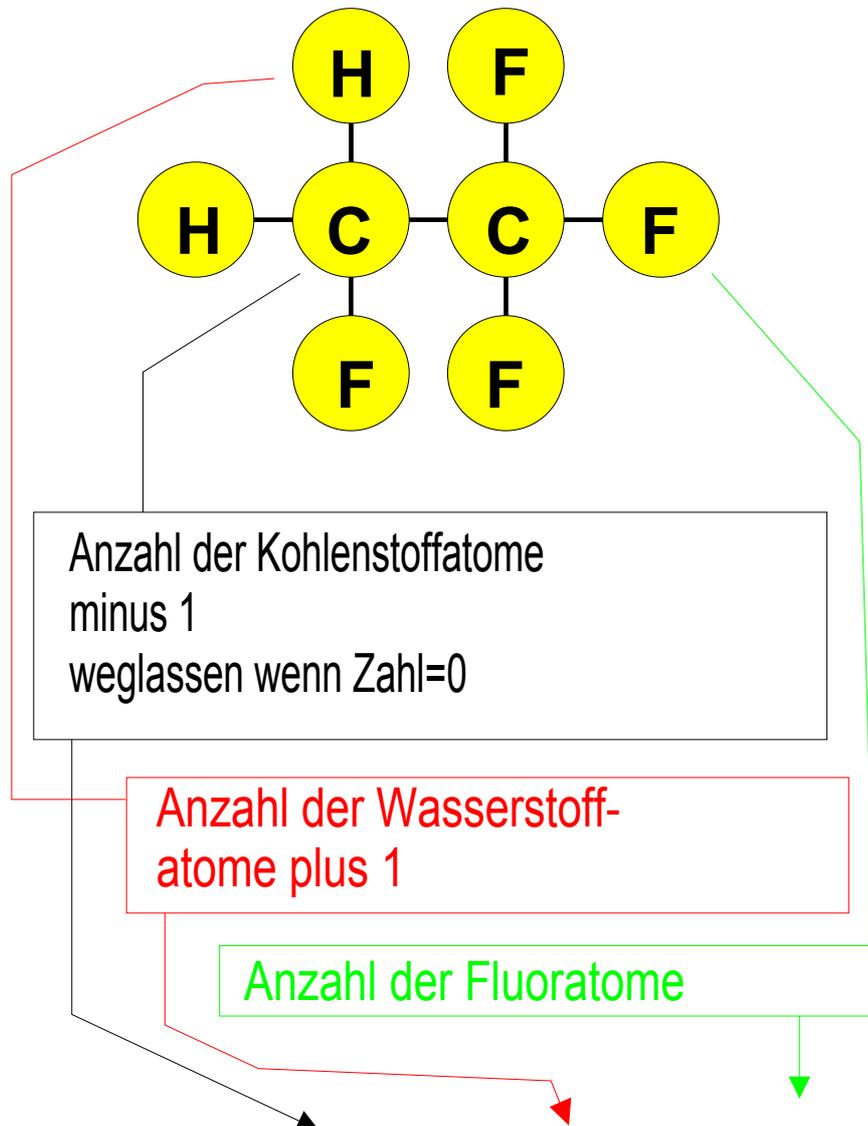
Wird dieses Molekül gemäss Schlüsseldefinition bestimmt, so ergäbe sich:

- 1 Kohlenstoffatom
- 0 Wasserstoffatom
- 3 Fluoratome

Ein Arm bleibt unbesetzt, also würde dieser mit 1 Chloratom bestückt. Die Bezeichnung „B1“ besagt jetzt aber, dass dieser Arm ausnahmsweise Mit Brom anstelle von Chlor besetzt wird. Würde es nur „R13“ heissen, so wäre ein Chloratom an diesem Arm.

Bleibt nach dem Aufschlüsseln kein Arm mehr frei, so handelt es sich um ein chlorfreies Molekül.

Beispiel R 134a:



R 1 3 4

Das kleine „a“ hinter der Bezeichnung steht für „asymmetrisch“ und gibt einen zusätzlichen Hinweis in welcher Reihenfolge die Atome um den Kohlenstoffkern gruppiert sind. Für die Kältetechnik ist dies nicht relevant, möglicherweise verliert sich dieses „a“ mit den Jahren.

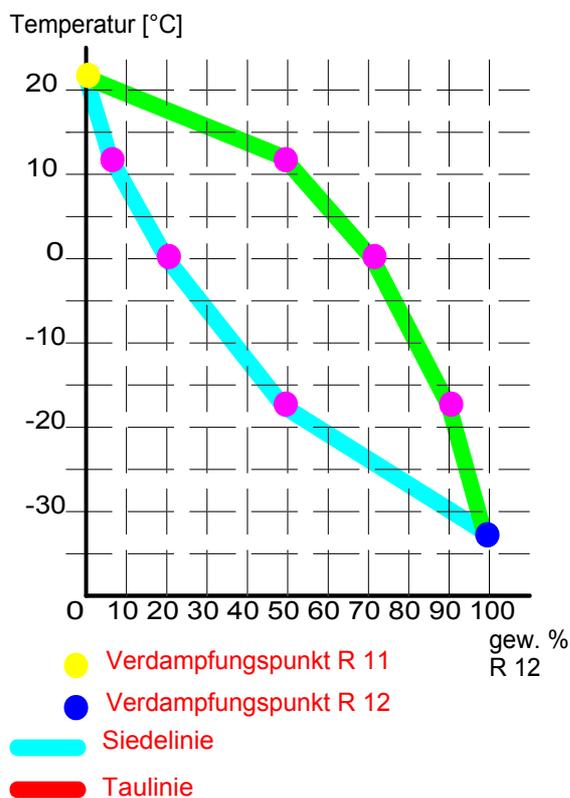
5.11 Kältemittelmischungen und anorganische Kältemittel

Alle Kältemittel, die nicht direkt in diesen Schlüssel passen, wurden in weitere Gruppen unterteilt:

- **Serie 400** Kältemittelmischungen
- **Serie 500** azeotrope Kältemittelmischungen
- **Serie 700** anorganische Kältemittel

5.11.1 Kältemittel der 400er Serie

Die 400er Reihe ist die jüngste Einteilung. Aufgrund ihres Ozonabbau- und Treibhauspotentials mussten Ersatzkältemittel für die FCKW's gefunden werden. Nicht für jeden Bereich war dies aber innerhalb der Methan- und Äthan-derivate möglich. Auch fand man nicht immer azeotrope Mischungen (Siehe „Kältemittel der 500er Serie“). Einzig die nicht azeotropen (zeotropen) Mischungen blieben übrig. Diese wurden aber vor 1992 wegen der Probleme bei der Handhabung nicht eingesetzt. Werden zwei Kältemittel mit unterschiedlichen Siedepunkten miteinander vermischt, so kann man diese leicht trennen, indem man die Mischung auf eine Temperatur bringt, die zwischen den Siedepunkten der Komponenten liegt. Die eine Komponente liegt nun gasförmig vor und kann abgesogen werden, wogegen die andere als Flüssigkeit vorliegt und somit im Behälter bleibt.



Als Beispiel sehen wir hier eine Mischung von R12 und R11:

Beim Verdampfen wechselt zuerst diese Kältemittelkomponente den Aggregatzustand, die den tieferen Siedepunkt besitzt, erst danach die zweite. Wir erhalten also ein Verdampfungsband anstelle des Verdampfungspunktes. Dieses Band wird

Als Beispiel sehen wir hier eine Mischung von R12 und R11:

Beim Verdampfen wechselt zuerst diese Kältemittelkomponente den Aggregatzustand, die den tieferen Siedepunkt besitzt, erst danach die zweite. Wir erhalten also ein Verdampfungsband anstelle des Verdampfungspunktes. Dieses Band wird

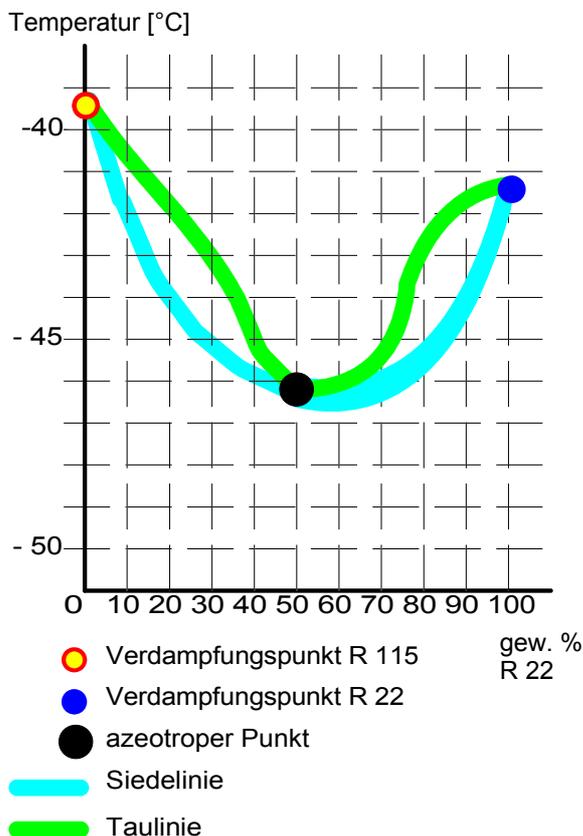
Gleit genannt. Je grösser dieser Gleit wird, um so problematischer ist der Umgang mit der Mischung. Bei Leckagen kann das Mischungsverhältnis verändert werden, da die beiden Komponenten nicht gleichzeitig verdampfen.

400er Kältemittel können prinzipiell sowohl als FCKW, H-FCKW oder H-FKW's auftreten. Man muss aber unbedingt folgende Grundregel beachten:

Auf Grund der unterschiedlichen Komponentensiedepunkte müssen diese Kältemittel unbedingt flüssig eingefüllt werden. Als wichtige charakteristische Grösse der 400er-Kältemittel ist der Gleit zu beachten.

5.11.2 Kältemittel der 500er Serie

Auch bei den 500er Kältemitteln handelt es sich um Mischungen, allerdings spezielle. Es dürfen nur Kältemittelmischungen in die 500er Gruppe aufgenommen werden, die keinen Gleit aufweisen, sich nach aussen also wie Einstoffkältemittel verhalten. Erreicht hat man dies durch die Paarung geeigneter Kältemitteltypen, bei denen die Moleküle fast wie Puzzle-



teile ineinander passen. Wir wissen, ein Puzzle kann an zwei Ecken ergriffen und angehoben werden, ohne dass es auseinanderfällt. Wenn die Kältemittelmoleküle derart ineinanderpassen, dann zieht ein Molekül das nächste hinter sich her, obschon dessen Siedepunkt noch gar nicht erreicht wäre. Dies funktioniert immer nur bei einem ganz bestimmten Mischungsverhältnis. Die Tau- und Siedelinie berühren sich dort in einem Punkt. Dieser Punkt wird azeotroper Punkt genannt. Kältemittelmischungen mit einem azeotropen Punkt werden **azeotrope Kältemittel** genannt.

Beispiel R502.

Es besteht zu:

- 48,8 gew.-% R22
- 51,2 gew.-% R115

In diesem Mischungsverhältnis bildet dieses Kältemittel den azeotropen Punkt. Herausragend ist ebenfalls, dass der Siedepunkt der Mischung unter den Siedepunkten der Einzelkomponenten liegt.

Azeotrope Kältemittelmischungen sind genau so einfach in der Handhabung wie Einstoffkältemittel.

5.11.3 Kältemittel der 700er Serie

Nun musste noch eine Gruppe geschaffen werden für alle Kältemittel, die nicht auf Kohlenstoff basieren. Diese Kältemittel nennt man **anorganische** Kältemittel. Die Nummern ergeben sich aus der ersten Zahl (7) und der Massenzahl des entsprechenden Moleküls.

Beispiel:

- **R 717** Ammoniak NH_3
- **R 718** Wasser H_2O
- **R 744** Kohlendioxyd CO_2

5.12 Neue Kältemittel

Die Forderung für die Praxis ist klar. Ein zeitgemässes Kältemittel muss folgende Eigenschaften aufweisen:

- **Der ODP muss bei einem echten Ersatz „0“ sein**
- **Der GWP soll so nahe wie möglich bei „0“ sein**

Die Ersatzstoffe müssen natürlich die physikalischen Bedingungen innerhalb des Kältekreislaufes erfüllen. Die verfügbaren Stoffe innerhalb der Methan- und Aetherderivate sind jedoch beschränkt. Nur für den Plusbereich konnte noch ein Einstoffkältemittel gefunden werden. Moderne Kältemittel müssen obengenannte Eigenschaften aufweisen.

6 Empfehlungen

Die Empfehlungen, die zum heutigen Zeitpunkt gegeben werden können, richten sich einerseits nach maximaler ökologischer Akzeptanz, andererseits nach dazu benötigtem Aufwand und anfallendem Abfall für Neuanlagen, insbesondere aber auch für Umrüstungen.

6.1 Neuanlagen

Generell sollen Neuanlagen nur noch mit chlorfreien und mit fluorfreien Kältemitteln geplant werden.

Bei den folgenden Empfehlungen wird vorausgesetzt, dass die vorangegangenen Kapitel studiert wurden und die Anforderungen bekannt sind.

6.1.1 Tiefkühlanlagen

Die Verfügbarkeit von **R 404A** und **R 507** machen ein weiteres Einsetzen von R 22 im Tiefbereich überflüssig. Mit den nötigen Sicherheitsvorkehrungen können solche Anlagen auch mit Propan **R 290** ausgeführt werden. Hierbei ist den thermischen Verhältnisse bei hohen Druckhuben Aufmerksamkeit zu schenken. Unter Umständen die Anlage zweistufig ausführen, was zugleich eine bessere Leistungsziffer zur Folge hat.

6.1.2 Normalkühlanlagen

Falls es sich um eine indirekte Kühlanlage grosser Leistung handelt, kann **R 717** (Ammoniak) eingesetzt werden. Auf jeden Fall aber nur, wenn die ausführende Firma über entsprechende Erfahrungen verfügt. Erste Ammoniakversuche sollte man mit einem erfahrenen Partner realisieren.

Anlagen mit Kundenkontakt (z. B. Supermarkt) können mit **R 134a** realisiert werden. Für grosse Leistungen ist der Einsatz von 134a unter Umständen nicht ökonomisch (grosse Leitungsquerschnitte). Für diese Fälle darf auch im Normalkühlbereich auf **R 404A** oder **R 507** zurückgegriffen werden. In Zukunft soll aber auch im Normalkühlbereich das Isobutan **R 600a** oder Propan **R 290** eingesetzt werden. Wie bei Ammoniakanlagen sollte hier der Einsatz eines Sekundärkreislaufes geprüft werden. Dieser Sekundärkreislauf kann mit geeigneten Flüssigkeiten, aber auch mit der neuen Latentenergietechnik **Flow-Ice** ausgerüstet werden.

6.1.3 Klimaanlage

In kleineren Klimaanlage kann prinzipiell **R 134a** eingesetzt werden. Für den üblichen Bereich, welcher bisher von R 22 abdeckt wurde, ist das **R 407C** ein idealer Stoff. Man muss

dem grossen Gleit aber Rechnung tragen! Es ergibt sich allerdings auch ein Vorteil. Bei geeigneten Verdampfern kann die Leistungsziffer gerade wegen des grossen Gleits besser werden. Wie bei Ammoniakanlagen sollte hier der Einsatz eines Sekundärkreislaufes geprüft werden.

6.2 Bestehende Anlagen umrüsten

Die Wahl des Ersatzkältemittels richtet sich nach Grösse der Anlage und zu erwartender Restlebensdauer. Wegen des anfallenden Abfalls ist eine Umrüstung nicht immer zu empfehlen, insbesondere wenn die Anlage nur noch kurze Zeit in Betrieb bleibt.

Anlagen mit tiefen Verdampfungstemperaturen müssen exakter Umgebaut werden als solche im Klimabereich, da die Mischbarkeit der Kälteöle bei tiefen Temperaturen abnimmt. Während bei einem Umbau von R 12 auf R 134a rund 5% Mineralölanteil im Esteröl tolerierbar sind, so darf es von R 502 auf R 507 nur noch knapp 1% sein.

Es soll auch beachtet werden, dass nicht sogenannte „Problemanlagen“ umgebaut werden. Anlagen, die schon im normalen Betrieb Schwierigkeiten machten, werden dies nach dem Umbau in verstärktem Masse tun.

Falls die entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden können, darf durchaus auch ein Umbau auf reine KW's ins Auge gefasst werden.

6.2.1 Normalkühlanlagen, Klimaanlage

Normalkühlanlagen und Klimaanlage, die mit R22 realisiert wurden, sollten auf kein momentan erhältliches Ersatzkältemittel umgerüstet werden. Ein Umbau auf R407C ist zum momentanen Zeitpunkt nicht sinnvoll.

Ein Umbau ist aber bei R12 - Anlagen möglich. Kleinere Systeme unter 1kW Anschlussleistung und solche mit begrenzter Einsatzdauer sollten so gut wie möglich hermetisiert und gewartet werden. Durch den anfallenden Abfall ist ein Umbau solcher Systeme auch in ökologischer Hinsicht nicht sinnvoll. Hat das System aber eine gewisse Grösse und Restlebensdauer, muss die beste Umbauvariante eruiert werden:

Umbau auf R 134a:

Da sich das R134a nicht mit chlorhaltigen Kältemitteln verträgt und bei Verwendung mit Mineralöl eine grosse Mischungslücke aufweist, muss sowohl das R12 wie auch das Mineralöl zu praktisch 100% aus dem System entfernt werden. Gerade beim Öl ist dies nicht ganz einfach, was zu anfallendem Altöl in Höhe des sechsfachen Systemölinhaltes führen kann. Darum wird ein Umbau auf R134a nur empfohlen, wenn es sich um einen offenen oder halbermetischen Kompressor handelt und die Restlebensdauer noch mindestens 5 Jahre beträgt. Der Umbau wird folgendermassen vollzogen:

- *Öfüllung so gut wie möglich entfernen*
- *Ölmenge durch Esteröl ersetzen*
- *R 12 absaugen, System auf minimal 0,1bar evakuieren*
- *Filtertrockner und gegebenenfalls Expansionsventile ersetzen*
- *R 134a einfüllen*
- *Ölwechsel wiederholen, bis Mineralölgehalt < 1%*

Der Umbau gilt als relativ arbeitsaufwändig und ergibt beträchtlichen Abfall. Es ist daher sowohl in ökologischer wie auch ökonomischer Hinsicht für jede Anlage individuell abzuklären, ob ein solcher Umbau sinnvoll ist.

Umbau auf R 404A:

Der Umbau gestaltet sich einfacher als bei R134a.

Der Umbau gestaltet sich sinngemäss wie von R502 auf R402A:

- *Systemwerte festhalten*
- *Füllung absaugen (auf ca. 0,2bar absolut)*
- *Kälteöl teilweise entfernen*
- *Entfernte Ölmenge durch Alkylbenzolöl ersetzen*
- *Filtertrockner und gegebenenfalls Expansionsventile ersetzen*
- *System evakuieren*
- *System füllen mit R 401*

Umbau auf R 600a (Isobutan):

Umbauten auf R600a wurden bis heute eher versuchsweise gemacht. Trotzdem sollte diese Möglichkeit durchaus in Betracht gezogen werden. Mit Vorteil wählt man eine Anlage in Betriebsnähe. In jedem Fall müssen vorher die Komponentenhersteller konsultiert werden.

Bei einem Umbau von einem unbrennbaren auf ein brennbares Kältemittel müssen unbedingt die notwendigen Sicherheitsmassnahmen für den Umbau und den späteren Betrieb ergriffen werden.

6.3 Allgemeines zum Umbau

Die physikalischen Daten der Ersatzkältemittel wurden so gewählt, dass die zu ersetzenden Stoffe möglichst ideal abgelöst werden. Daher können die Leitungen und die Komponenten meistens übernommen werden. Es gilt aber zu beachten, dass die entsprechenden Hersteller auf Freigabe ihrer Komponenten hin anzusprechen sind. Gerade bei offenen Kompressoren muss oftmals die Stopfbuchse ersetzt werden. Kommen im Kältesystem flexible Teilstücke (Schläuche) vor, muss unbedingt abgeklärt werden, ob diese für das neue Kältemittel entsprechend diffusionsfest sind. Oftmals wird bei solchen Leitungen vom Lieferanten ein sogenannter „Umbaukit“ angeboten. Bestehende Expansionsventile funktionieren auch nach dem Umbau. Trotzdem, als energetisch optimierte Anlagen können nur solche gelten, bei denen angepasste Expansionsventile zum Einsatz kommen.

7 Kälteöl

Welches Kälteöl eignet sich nun für welche Kältemittel

7.1 Chlorierte Kältemittel

Beispiel: R 12, R 502, R 22 etc.

Mineralöl

Das Mineralöl stellte während Jahrzehnten das meistverwendete Kälteöl dar. Wichtig ist, dass es immer trocken und nicht mit Additiven versetzt ist. Für eine gute Mischbarkeit mit dem Kältemittel ist das Mineralöl auf chlorierte Stoffe angewiesen. Da aus ökologischer Sicht diese Kältemittel aber nicht mehr eingesetzt werden, wird dieses Kälteöl in Zukunft keine grosse Rolle mehr spielen.

7.2 Leicht chlorierte Übergangskältemittel

Beispiel: R 401A, R 402A, R 408A etc.

Alkylbenzolöl Mineralöl (als Mischung)

Der einzige Grund, Umrüstkältemittel zu chlorieren, bestand darin, eine gute Mischbarkeit mit dem Kälteöl zu gewährleisten. Allerdings: je weniger Chlor das Kältemittel enthält, um so schlechter wird die Mischbarkeit. Dadurch wird ein schlecht dimensioniertes Rohrsystem oft zur Ölfalle. Die leicht chlorierten Übergangskältemittel enthalten nur noch sehr wenig Chlor. Dadurch kann die Mischbarkeit mit dem Mineralöl schon so schlecht werden, dass Ölverlagerungen auftreten. Aus diesem Grund wird von den Händlern empfohlen, bei der Umrüstung das Mineralöl zusätzlich mit einem Alkylbenzolölanteil zu versetzen. Dadurch wird die Mischbarkeit wieder besser. Chlorfreie Kältemittel

Beispiel: R 134a, R 404A, R 407C, R 507, R 290, R 600a etc.

Esteröl modifizierte PAG - Öle

Mit den Esterölen steht der Branche ein ausgezeichnetes Kälteöl für chlorfreie Kältemittel zur Verfügung. Die Schmier- und Mischungseigenschaften sind sehr gut. Zu beachten ist, dass sowohl Ester- als auch PAG-Öl wasseranziehend wirkt. Das Öl ist daher immer unter Atmosphärenausschluss aufzubewahren. Da diese Eigenschaft beim PAG-Öl stärker ausgeprägt ist, wird dieses Öl nur noch selten verwendet. Meistens ist das Esteröl die bessere Alternative.

7.3 Allgemein

Damit eine Umrüstung erst möglich wird, müssen die Öle „abwärtskompatibel“ sein. Das heisst, Sie können eine R 12 Anlage mit Ester- oder Alkylbenzolöl betreiben, eine R134a Anlage jedoch nicht mit Mineralöl.