

GREENPEACE STUDIE

Keine Entwarnung für Ozonschicht und Klima

Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW

Winfried Schwarz/André Leisewitz
Öko-Recherche. Büro für Umweltforschung- und beratung
Frankfurt am Main

Herausgeber: Greenpeace e.V., 20450 Hamburg, Stand 5/1995

Vorwort: Kein FCKW-Ausstieg um den Preis des FKW-Einstiegs!

Liebe Leserinnen, liebe Leser!

Das Thema FCKW ist doch erledigt. Warum also schon wieder eine Studie von Greenpeace dazu?

Wir präsentieren diese FCKW/FKW-Verbrauchsprognose 1995, welche das Büro für Umweltforschung und -beratung "Öko-Recherche" (Winfried Schwarz und André Leisewitz), die frühere Rechercheabteilung des Verlags der ökologischen Briefe, in unserem Auftrag erstellt hat, keineswegs aus reinem Spaß. Dafür sind die jährlich noch immer größer werdenden Ozonlöcher in der Stratosphäre ebenso zu ernst wie die bereits in Gang gekommene und fortschreitende weltweite Erwärmung durch Treibhausgase.

Wir bestreiten nicht, daß der FCKW-Ausstieg vorankommt, und wir freuen uns über jedes klimaneutral ersetzte Molekül: Während 1990 in Deutschland einschließlich der ehemaligen DDR etwa 50 000 Tonnen voll- und teilhalogenierte FCKW verbraucht wurden, sind es 1995 nur noch 12 000 Tonnen. Damit sind wir jedoch nicht bei Null. Erst im Jahr 2000 ist damit zu rechnen, daß bei Dämmschäumen, in der Kälte-Klimatechnik und in den Asthmasprays keine ozonschichtschädigenden Stoffe mehr zum Neueinsatz kommen.

Während dieses Ziel beim Dämmschaum durch klimaneutrale Ersatzstoffe erreicht werden dürfte, steuern Kälte-Klimatechnik und Asthmasprayabfüller auf dauerhaften FCKW-Ersatz durch die starken Treibhausgase aus der Gruppe der FKW zu. (Sie erinnern sich vielleicht: Die FKW, Fluorkohlenwasserstoffe - ohne C, also ohne Chlor - sind die "offiziellen" FCKW-Ersatzstoffe aus der Retorte der Chemieindustrie. Obwohl sie, ebenso wie FCKW, enorme Treibhauspotentiale haben, ist ihr "Vorteil", daß sie den bisherigen FCKW-Lieferanten auch den Zukunftsmarkt der Ersatzstoffe sichern sollen.) Nicht nur Greenpeace, auch die Klima-Enquetekommission des Bundestags hat bereits 1990 erklärt: FKW sollen nur als Übergangsstoffe infragekommen, und auch nur dann, wenn keine klimaneutralen Ersatzmittel oder -verfahren zur Verfügung stehen. Diese gibt es jedoch. Bereits jetzt für nahezu alle, und innerhalb der nächsten fünf Jahre für effektiv alle kältetechnischen und medizinischen Anwendungen. In der Kältetechnik seien hier u.a. Kohlenwasserstoffe, Ammoniak, Kohlendioxid, Zeolith-Wasser benannt, welche bei gewerblicher Anwendung und beim Fahrzeugklima die FCKW ohne gleichzeitigen Einstieg in die FKW-Kühlung ablösen können. Im medizinischen Bereich stehen ebenfalls neue Applikationsverfahren (Pulverinhalation) vor der Einführung, die den Asthmakranken wirksam helfen ohne sie zu ungewollter Mitwirkung an der globalen Erwärmung zu nötigen.

Der Treibhausbeitrag der im Inland 1995 verbrauchten FKW entspricht 12 bis 14 Mio. CO₂-äquivalenten Tonnen (vor allem in Autoklimaanlagen und Montageschäumen). Sollte die Chemische Industrie erfolgreich ihre FKW in Kältetechnik und Asthma-

sprays unterbringen, stiege der Treibhausbeitrag der FCKW-Ersatzstoffe um 20 bis 25 Mio. CO₂-äquivalente Tonnen an, auf insgesamt etwa 40 Mio. Tonnen.

Ein solcher mit einem FKW-Einstieg gekoppelter FCKW-Ausstieg ist das, was wir angesichts der weltweit gebotenen scharfen Reduktion aller Treibhausgas-Emissionen am wenigsten brauchen können. Und gerade die industrialisierten Länder stehen hier in einer besonderen Verpflichtung. Daß klimaneutrale Alternativen gegen die Geschäftsinteressen der Chemieindustrie durchsetzbar sind, ist bei der von Greenpeace geförderten Einführung des FKW-freien Kühlschranks deutlich geworden. Unsere Organisation wird daher auch künftig klimaneutrale FCKW-Ersatzverfahren und -stoffe anstelle von FKW unterstützen. Nicht nur in der Kältetechnik! Immerhin trüge die von den großen Pharmakonzernen geplante Umstellung der Asthmasprays von FCKW auf FKW hierzulande immer noch das Zwei- bis Dreifache zum Treibhauseffekt bei wie sämtliche fünfzig Müllverbrennungsanlagen.

Wir beharren darauf: Totaler und schnellstmöglicher FCKW-Ausstieg. Aber kein Einstieg in die klimaschädigenden FKW!

Hamburg, im Mai 1995

Wolfgang Lohbeck

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	V
Tabellen- und Bilderverzeichnis	VII
Einleitung: Keine Entwarnung für Ozonschicht und Klima	1
Verbrauchsprognose FCKW, H-FCKW, FKW für 1995	2
Schadenspotential der FCKW, H-FCKW und FKW des Jahres 1995	3
Verbrauch und Emission. Abgrenzung	5
Berechnungsgrundlagen für ODP und GWP	6
Kapitel I Kälte- und Klimatechnik	7
Die alten Kältemittel	7
Das Schicksal von FKW-134a	7
Die neuen Kältemischungen (Blends)	7
Haupttrends	9
"Retrofits"	9
Der Kältemittelverbrauch 1995	10
Zur Nachfüll-Versorgung bestehender Kälteanlagen mit ODP-Kältemitteln	11
1 Hausgeräte	13
1.1 Haushaltskühlgeräte	13
1.2 Wärmepumpen	14
2 Gewerbekälte	15
2.1 Supermärkte	15
2.2 Sonstige Gewerbekälte	16
2.3 Der Kältemittelverbrauch bei der gewerblichen Nutzung	16
3 Industriekälte	18
4 Fahrzeugklima (mobile Klimaanlage)	21
4.1 Pkw-Klimaanlagen	21
4.2 Bus- und Lkw-Klima	23
4.3 Eisenbahnklima	25
4.4 Schiffsklima	25
5 Gebäude- und Raumklima	26
5.1 Großklimaanlagen	26
5.2 Mittlere Klimaanlage	27
5.3 Raumklimageräte	28
6 Transportkälte	28
6.1 Kühlcontainer	29
6.2 Kühl-Lkw	30
6.3 Kühlwaggons	31
6.4 Kühlschiffe	32
6.5 Seefischereifahrzeuge	32

Kapitel II	Kunststoffschäumung	33
1	Polyurethanschaum	35
1.1	Weichschaum	35
1.2	Integralschaum	35
1.3	Hartschaum für Bauzwecke	35
1.3.1	Dämmplatten	35
1.3.2	PU-Sandwichplatten	36
1.3.3	Gießschaum	36
1.3.4	Spritzschaum	37
1.3.5	Montageschaum	37
1.4	Hartschaum bei Kühlmöbeln und Transportkälte	38
1.4.1	Kühlmöbel und Kühlzellen	38
1.4.2	Transport-Kälte­dämmung	39
2	Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)	39
Kapitel III	Asthmasprays	41
1	Ein veraltetes Privileg	41
2	Über 25 Mio. verordnete Spraydosen jährlich für Asthmakranke	43
3	Umweltverträgliche Pulverinhalation - wirklich zu kompliziert?	44
4	Bequemer Umstiegsversuch auf Treibhausgase 134a oder 227	45
5	Neue Chancen aus Skandinavien für Pulverinhalation	46
Kapitel IV	FCKW und Tetrachlorkohlenstoff für Laborzwecke	48
Kapitel V	Die Jahresemissionen von Alt-FCKW Hartschaumausgasung, Kältemittel bei Anlagenverschrottung, illegale Halonentsorgung	50
1	Hartschaum: 1 300 Jahrestonnen Ausgasung von Alt-FCKW	50
2	Kältemittel: 1 500 Jahrestonnen FCKW-Verluste bei der Anlagenverschrottung	51
3	Halonentsorgung: Emissionennur schwer schätzbar, aber besorgniserregend (Schätzung: 200 Tonnen)	53
Kapitel VI	Für weitergehenden Schutz von Ozonschicht und Klima	55
Anhang		
Gesamttabelle FCKW-, H-FCKW- und FKW-Verbrauch 1995		56
Abkürzungen	57	
Regulierungsstand für ozonschichtschädigende Stoffe in Deutschland 1995		58

Tabellen- und Bilderverzeichnis

Tabellen

	Seite
Tab. 1: Inländischer Kältemittelbedarf der gesamten Kältetechnik (ohne NH ₃) - Schätzwerte für 1995 in Tonnen	11
Tab. 2: Inländischer Kältemittelbedarf für Hausgeräte 1995 in Tonnen	13
Tab. 3: Prognose der Kältemittelverbräuche für Hausgeräte - Schätzwerte 1995 in Tonnen	14
Tab. 4: Inländischer Kältemittelbedarf für Gewerbekälte 1995 in Tonnen (o. NH ₃)	15
Tab. 5: Inländischer Kältemittelbedarf für Industriekälte 1995 in Tonnen (o. NH ₃)	18
Tab. 6: Verbrauchsprognose Kältemittel nach Industriebereichen - Schätzwerte 1995 in Tonnen (ohne NH ₃)	20
Tab. 7: Inländischer Kältemittelbedarf für Fahrzeugklima 1995 in Tonnen	21
Tab. 8: Auswahl Klimaanlage-Füllmengen und Klimatisierungsquoten 1994	22
Tab. 9: Inländ. FKW-134a-Abfüllmengen Pkw-Klimaanlagen nach Herstellern	22
Tab. 10: Verbrauchsprognose für Kältemittel für Fahrzeugklima - Schätzwerte 1995 in Tonnen	24
Tab. 11: Inländischer Kältemittelbedarf stationärer Klimaanlage 1995 in Tonnen	26
Tab. 12: Prognose Kältemittelverbräuche stationäres Klima (o. NH ₃) - Schätzwerte 1995 in Tonnen	27
Tab. 13: Inländischer Kältemittelbedarf für Transportkühlung 1995 in Tonnen	28
Tab. 14: Prognose für Kältemittelverbräuche nach Transportformen - Schätzwerte 1995 in Tonnen	30
Tab. 15: Inländischer Bedarf von H-FCKW und FKW zum Schäumen von Kunststoff - 1995 in Tonnen	34
Tab. 16: Verbrauch von PU-Hartschaum für Bauzwecke 1995 (o. Montagesch.)	35
Tab. 17: Treibmittel für PU-Hartschaum für Bauzwecke 1995 (o. Montagesch.)	36
Tab. 18: Treibmittel für Montageschaum 1995	38
Tab. 19: Treibmittel für Kühl-Dämmschaum 1995 (ohne Kühlhäuser)	39
Tab. 20: Treibmittel für Dämmschaum aus extrudiertem Polystyrol 1995	39
Tab. 21: Inländischer Verbrauch von FCKW als Aerosol-Treibgas 1995 in Tonnen	42
Tab. 22: Inländischer Bedarf von FCKW und Tetra für Laborzwecke 1995	49
Tab. 23: Altemissionen bei Verschrottung und ungeordneter Entsorgung - Schätzwerte für 1995 in metr. Tonnen	50
Tab. 24: Vergleich der Emissionen 1995 mit dem Jahresverbrauch 1995	55
Gesamttabelle Verbrauch, Ozonschicht-Zerstörungs-Potential und Treibhauseffekt der FCKW, H-FCKW und FKW 1995	56

Bilder

	Seite
Bild 1. Verbrauch FCKW, H-FCKW und FKW 1995. Prognose in metr. Tonnen	2
Bild 2. Beitrag zur Zerstörung der Ozonschicht - in ODP-gew. Tonnen	4
Bild 3. Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP 20) - in Mio. CO ₂ -Tonnen	5
Bild 4. Chlorfreie Mischungen für R 22 und R 502: 407C und 404A	8
Bild 5. FCKW, H-FCKW, FKW als Kältemittel. Verbrauch 1995 in metr. Tonnen	10
Bild 6. R 12 und R 134a-Emissions-Modell bis 2005 aus Pkw-Klimaanlagen	23
Bild 7. Treibmittel für PU- und XPS-Schaum. Verbrauch in metr. Tonnen	33
Bild 8. FCKW in Asthma-Dosieraerosolen. Verbrauch 1995 in metr. Tonnen	41
Bild 9. FCKW-Verbrauch inländischer Aerosolabfüller. Gesamtverbrauch 1995	43
Bild 10. Inlands-Verkaufsanteile an Spray-FCKW. Gesamtabsatz 1993	44
Bild 11. FCKW für Laborzwecke 1995. Verbrauch in metr. Tonnen	48

Einleitung: Keine Entwarnung für Ozonschicht und Klima

In ihrem Bericht über Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht (Bundestags-Drucksache 12/8555, 05.10.94, Vorbem.) erklärt die Bundesregierung stolz, daß ab 1995 das Kapitel "Produktion und Verwendung vollhalogenierter FCKW" endgültig geschlossen sei. Denn mit Ausnahme bestimmter medizinischer Sprays dürften FCKW "nur noch in Form von Recyclingware bei der Wartung bestehender Kälteanlagen verwendet werden". Wörtlich ist die Rede sogar von einer "Erfolgsstory des deutschen Ausstiegs aus FCKW und Halonen, die ja nicht nur ozonschichtschädigende Stoffe, sondern auch sehr wirksame Treibhausgase sind".

Warum Klaus Töpfer diese Vorbemerkung nicht mehr unterzeichnet hat, mag mit seiner Strafversetzung ins Bauministerium zu tun haben. Die Nichtunterschrift bewahrt ihn allerdings auch vor gewissen Peinlichkeiten. Denn der suggerierte Eindruck, daß ab 1995 von deutschem Boden kein neuer Angriff auf die uns vor der UV-Strahlung schützende Ozonschicht der Stratosphäre mehr ausginge und auch das Klima vor Aufheizung durch FCKW und ihre synthetischen Ersatzstoffe verschont bliebe, ist schlichtweg eine Irreführung.

Abgesehen von dem bedeutsamen Umstand, daß gewaltige Mengen der vor 1995 produzierten und freigesetzten FCKW noch bis zu zehn Jahren unterwegs sein werden, bis sie die Ozonschicht überhaupt erreichen, um dann dort noch weitere hunderte Jahre fortzuexistieren, emittieren auch 1995 noch tausende Tonnen Alt-FCKW aus Hartschäumen und Kälteanlagen - sowohl während des Gebrauchs als auch - vor allem - bei ihrer ungeordneten Entsorgung. Letzteres trifft auch auf die Halone (Feuerlöschmittel) zu, bei denen die Bundesregierung selber im Textteil ihres Berichts eine "Diskrepanz" zwischen bekannter Einsatz- und bekannter Entsorgungsmenge zugeben muß. Was heißt diese "Diskrepanz" aber anderes als Emission?

Doch nicht nur das: **Auch 1995 werden noch über 12 000 Tonnen von ozonschichtschädigenden voll- und teilhalogenierten FCKW und darüberhinaus über 4 000 Tonnen treibhauswirksamer FKW neu verbraucht.**

Ihr Schädigungspotential gegenüber der Ozonschicht entspricht **2 672 Tonnen FCKW-11** und ihr zusammengefaßter Beitrag zum Treibhauseffekt **69,4 Mio. Tonnen CO₂**. Gegenüber 1990 ist das beim ODP (Ausgangswert 35 000 ODP-gew. Tonnen für ganz Deutschland) zwar ein durchaus erfreulicher Rückgang - vor allem infolge des Ersatzes von FCKW-11, FCKW-113 und Halonen - auf 7,6 Prozent und beim GWP (Ausgangswert 240 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente) auf 29 Prozent. (Der weitaus schwächere Rückgang beim Treibhauseffekt hängt mit der partiellen Umstellung von FCKW auf chlor-, aber nicht GWP-freie FKW zusammen.) Dennoch geben die 1995 neuverbrauchten Mengen keinen Anlaß zur Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima - und schon gar nicht zu politischem Jubel.

In den ersten vier Kapiteln vorliegender Studie wird der Versuch unternommen, auf Basis schriftlicher und mündlicher Daten von Herstellern, Händlern, Anwendern und Behörden in den Bereichen Kältetechnik, Hartschaum, Asthmatherapie und Labor den **Jahresverbrauch** von FCKW, H-FCKW und FKW für 1995 abzuschätzen. Das fünfte Kapitel behandelt zusätzlich die **Emissionen** von Alt-FCKW und Halonen bei der ungeordneten Entsorgung von Schäumen, Kälteanlagen und Löscheräten. Wie sehen nun die geschätzten Verbräuche nach FCKW- und FKW-Typen aus?

Verbrauchsprognose FCKW, H-FCKW, FKW für 1995

1. Vollhalogenierte FCKW. Von diesen "harten" Ozonkillern werden nach vorliegender Datenlage noch **2 082 (metrische) Tonnen** verbraucht. Gesamt-ODP: 2 025 Tonnen FCKW-11-Äquivalente. Gesamt-GWP: 14,4 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente.

1223 Tonnen davon sind fabrikfrisch und werden überwiegend für Dosieraerosole zur Asthmabehandlung und - zum geringeren Teil - für Laborzwecke hergestellt. Da es bei den Sprays um die menschliche Gesundheit geht, gilt die Wirkstoffinhalation mittels FCKW bisher weitgehend als ein Tabu. Bei den Dosieraerosolen wirken die FCKW als gesundheitlich unbedenkliche Treib- und Trägermittel für die Wirkstoffe. Dennoch kommt die angebliche Unverzichtbarkeit FCKW-haltiger Sprays in erster Linie daher, daß die führenden Pharmakonzerne die Entwicklung treibgasfreier Pulversysteme weitestgehend vernachlässigt haben und sich nunmehr anschicken, die FCKW durch chlorfreie Treibhausgase wie FKW-134a oder -227 lediglich auszutauschen. Hier sind praktische Alternativen bereits vorhanden.

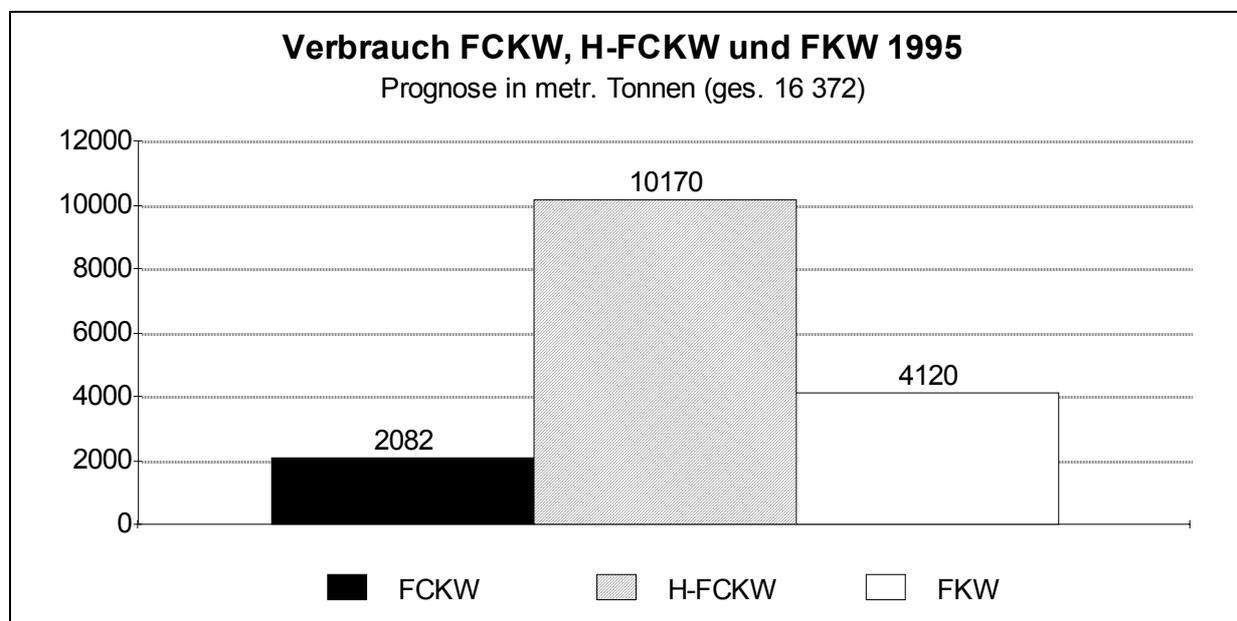


Bild 1. Neuverbrauch von FCKW und fluorhaltigen Ersatzstoffen in den drei Anwendungsbereichen Kältetechnik, Kunststoffschaum und Aerosole für 1995. Von den 16 372 Tonnen sind drei Viertel voll- und teilhalogenierte FCKW, wobei die vollhalogenierten FCKW vor allem in Asthmaspraydosens und Autoklimaanlagen eingesetzt werden.

Die zweite Hälfte des Jahresverbrauchs vollhalogenierter FCKW besteht aus Emissionsersatz für bestehende Kälte- und Klimaanlagen durch FCKW-Regenerate. Hauptverbraucher mit über 500 Tonnen sind Fahrzeugklimaanlagen, die wegen ihrer Leckagen einen großen Ersatzbedarf nach FCKW-12 erzeugen. Außerdem gewerbliche Tiefkühlanlagen, die ihre laufenden Verluste von R 502, das je zur Hälfte aus H-FCKW-22 und dem vollhalogenierten FCKW-115 besteht, weiterhin ergänzen dürfen.

2. Teilhalogenierte FCKW (H-FCKW). Gesamt-ODP: 647 Tonnen FCKW-11-Äquivalente. Gesamt-GWP: 40,9 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente.

Diese ozonschichtschädigenden Stoffe, die wegen ihres geringeren Beitrags zur Zerstörung der Ozonschicht (5,5 bis 11 Prozent des "ozonschichtzerstörenden

Potentials" ODP von FCKW-11) in den amtlichen und industriellen Statistiken oft einfach "vergessen" werden, werden 1995 im Umfang von **10 170 Tonnen** verbraucht. Die eine Hälfte (im wesentlichen H-FCKW-22) wird in neue und alte Kälteanlagen für Gewerbe und Industrie gefüllt, die andere Hälfte (überwiegend FCKW-142b) wird als Treibmittel für Hartschaum aus extrudiertem Polystyrol und - in kleineren Mengen - aus Polyurethan für den Baubereich eingesetzt.

Teilhalogenierte FCKW sind übrigens stark wirksame Treibhausgase. Ihr Treibhauseffekt (GWP) für den Zeithorizont von 20 Jahren liegt für H-FCKW-22 bei dem 4 300-fachen, für H-FCKW-142b bei dem 4 200-fachen von CO₂ (zum Vergleich GWP von FCKW-11: 5 000 CO₂-Äquivalente). Auch aus diesem Grund muß die weitverbreitete Vorgehensweise zurückgewiesen werden, die H-FCKW als quasi harmlose "Nicht-FCKW" statistisch unter den Teppich zu kehren.

3. Chlorfreie Fluorkohlenwasserstoffe (FKW). Jahresverbrauch: **über 4 120 Tonnen.** Gesamt-ODP: Null. Gesamt-GWP: 14,1 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente.

Zum zweifelhaften Abschnitt der "Erfolgsstory" des deutschen FCKW-Ausstiegs gehört der Umstieg auf chlorfreie FKW. Zweifelhaft, weil FKW zwar die Ozonschicht schonen, aber kräftig den Treibhauseffekt verstärken. Das GWP des Hauptstoffs FKW-134a beträgt (auf 20 Jahre berechnet) 3 300 CO₂-Äquivalente, immerhin zwei Drittel von FCKW-11. Allerdings wird dieser Nachteil zunehmend kritisch bewertet. So hat die deutsche Haushalts-Kühlgeräte-Industrie diese einst als Wundermittel gepriesene Chemikalie zugunsten des einfachen, nicht treibhauswirksamen Gases Butan unter Druck der öffentlichkeitswirksamen Greenpeace-Aktion für den Alternativ-Kühlschrank von Foron kurzfristig wieder aus dem Verkehr gezogen.

Haupteinsatzgebiete von FKW-134a sind 1995 die Kleinkältetechnik mit 2 400 Tonnen (davon 1 400 Tonnen für Autoklimaanlagen) und die PU-Montageschäume mit 1 400 Tonnen Jahresverbrauch. Es ist kein Geheimnis, daß für den Betrieb von Autoklimaanlagen eine Reihe vielversprechender GWP-freier Alternativen erprobt werden (Einzelheiten im Text).

Die Chemische Industrie bemüht sich seit Mitte 1992 intensiv, wenngleich mit bisher mäßigem Erfolg, den zur Zeit mit dem Kältemittel H-FCKW-22 bedienten Markt der mittleren Leistungsgrößen und Kühltemperaturen durch FKW-Mischungen zu besetzen. Neben FKW-134a enthalten diese vor allem die FKW -125, -143a bzw. 32. Ob sich diese Kältemittelmischungen, deren Treibhauspotential noch über demjenigen von FKW-134a liegt, bis zum Jahre 2 000 (Verbotsjahr für H-FCKW-22 in Neuanlagen) durchsetzen können, hängt vor allem davon ab, inwieweit Umweltbewußtsein und Umweltgesetzgebung dem klassischen Ammoniak in den mittelgroßen Kühlbereichen zu mehr Anwendungen verhelfen können oder nicht.

Schadenspotential der FCKW, H-FCKW und FKW des Jahres 1995

Während Asthmasprays (und Labors) ausschließlich vollhalogenierte FCKW verbrauchen und Kunststoffschäume ausschließlich teilhalogenierte FCKW und FKW, kommen in der Kälte- und Klimatechnik alle drei Stoffgruppen vor.

Von den 16 372 (metrischen) Tonnen FCKW, H-FCKW und FKW, die 1995 im Inland verbraucht werden, entfallen auf

- Asthma-Dosieraerosole (DA) 1 010 Tonnen FCKW
- Kunststoffschäume 6 625 Tonnen H-FCKW und FKW
- Kälte- und Klimatechnik 8 524 Tonnen FCKW, H-FCKW und FKW
- Laborzwecke 213 Tonnen FCKW (incl. Tetrachlorkohlenstoff).

Ozonschichtzerstörung

Die Kälte- und Klimatechnik ist nicht nur quantitativ größter Verbraucher von Stoffen, nämlich über 8 500 Tonnen, sondern auch der Spitzenreiter bei der Ozonschichtzerstörung. Nach den verschiedenen ODP der einzelnen Kältemittel gewichtet, trägt dieser Bereich 1995 etwa 1 090 Tonnen FCKW-11-Äquivalente bei.

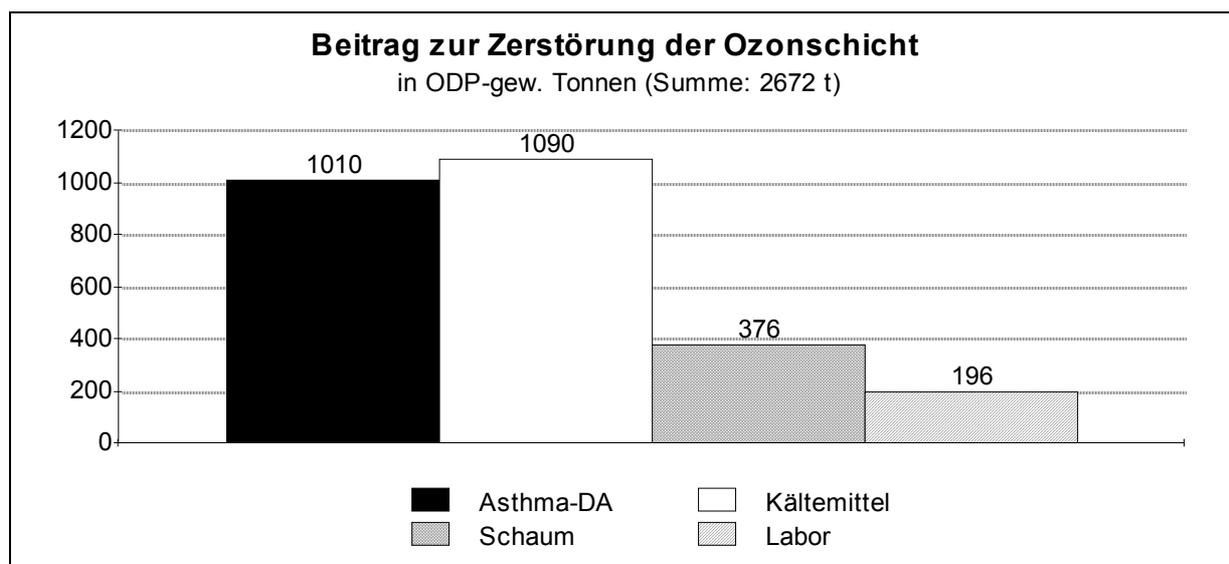


Bild 2. Obwohl die Dosier-Aerosole an der metrischen Gesamttonnage nur 6 Prozent Anteil haben, ist ihr Beitrag zur Zerstörung der Ozonschicht aufgrund des hohen ODP der verwendeten FCKW mit 1010 von 2 672 ODP-Tonnen stark überdurchschnittlich: 37,8 Prozent. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei den Schaumtreibmitteln, die geringe spezifische ODPs aufweisen. ODP-Spitzenreiter bleibt aber die Kältetechnik, obwohl die ODP ihrer Kältemittel von Null (FKW) über 0,05/0,11 (H-FCKW) bis 1 (FCKW) reichen.

An zweiter Stelle folgen mit nur geringem Abstand die - nach absoluter Tonnage eher geringfügigen - Asthma-Dosieraerosole. Bei ihnen sind die 1 010 metrischen Tonnen identisch mit 1 010 ODP-gewichteten Tonnen, da alle drei Aerosol-FCKW 11, 12 und 114 das ODP 1 aufweisen. Die Schaumtreibmittel, die absolut über 6 600 Tonnen wiegen, tragen zur Ozonschichtschädigung "nur" 376 ODP-gewichtete Tonnen bei. Darin drückt sich das relativ niedrige ODP der für Dämmschäume eingesetzten H-FCKW-142b, -141b und -22 ebenso aus wie das ODP Null der 1 400 Tonnen FKW-134a für Montageschäume. Für Laborzwecke werden 213 Tonnen vollhalogener Stoffe eingesetzt, deren ODP bei 196 FCKW-11-Äquivalenten liegt.

Treibhauseffekt

Von den 69,4 Mio. Tonnen an CO₂-Äquivalenten stammen die weitaus größten Mengen, nämlich 37,2 Mio. Tonnen, aus Kältemitteln.

An zweiter Stelle folgen mit einem Treibhauspotential von 24,4 Mio. Tonnen CO₂ die für das Schäumen eingesetzten H-FCKW und FKW. Mit 7,1 Mio. Tonnen CO₂-gleichen Tonnen folgen an dritter Stelle die FCKW für die Asthmasprays - vor den 0,8 Mio äquivalenten CO₂-Tonnen der Laborchemikalien.

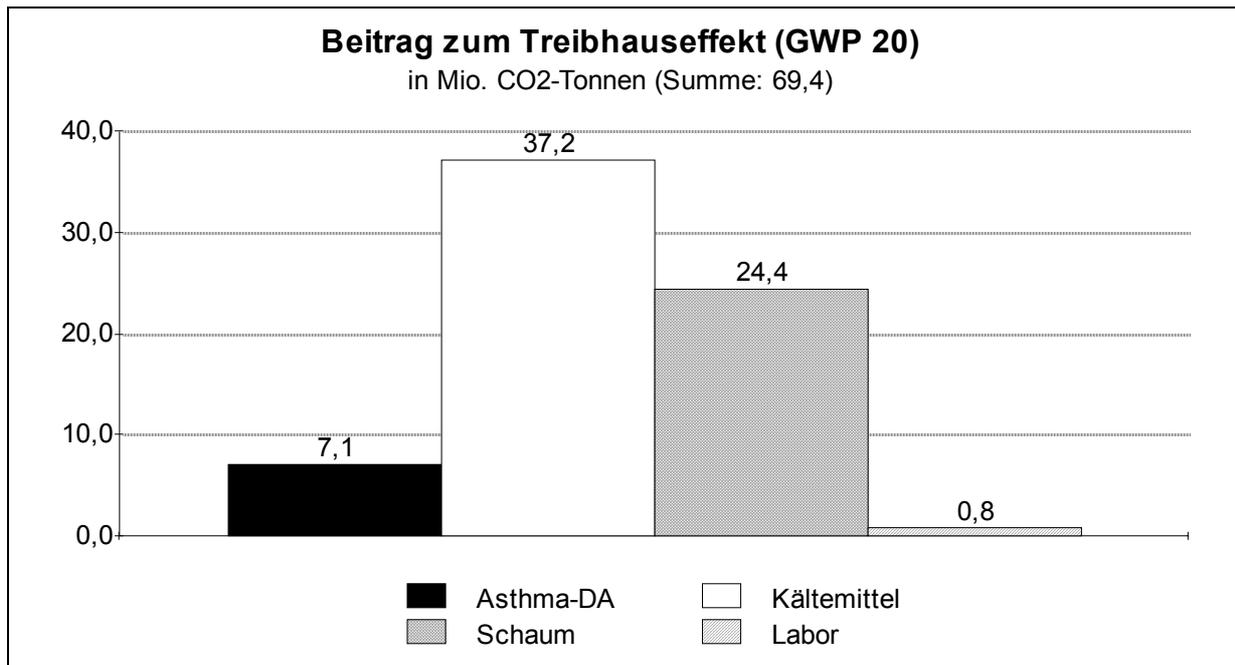


Bild 3. Wird für das Treibhauspotential ein Zeithorizont von 20 Jahren zugrundegelegt, tragen zu den insgesamt 69,4 Mio. CO₂-äquivalenten Tonnen die Kältetechnik 54 Prozent, die Hartschäume 35, die Asthma-Dosieraerosole 10 und die Laborstoffe 1 Prozent bei.

Da sich beim Treibhauspotential FCKW, H-FCKW und FKW nicht so stark wie beim ODP voneinander unterscheiden, nähern sich hier die GWP-Anteile der drei Anwendungen Kälte, Aerosole und Schaum den Relationen ihrer metrischen Tonnage an.

Verbrauch und Emission. Abgrenzung

Die von uns vorgelegten Prognosen betreffen die **Jahresverbräuche** von FCKW, H-FCKW und FKW für 1995. Diese Jahresverbräuche sind nicht identisch mit den für 1995 zu erwartenden **Jahresemissionen**. Denn von dem oben genannten Jahresverbrauch gelangen nur die 1 010 Tonnen FCKW aus den Dosieraerosolen, die 213 Tonnen vollhalogenierter Stoffe für Laborzwecke, die 1 400 Tonnen FKW-134a aus der Anwendung von Montageschaum und von den verbrauchten Kältemitteln nur 3 660 Tonnen (nachgefüllte) Verluste aus Altanlagen sofort in die Atmosphäre. Diesen Direkt- oder Sofortemissionen stehen die anderen FCKW, H-FCKW und FKW gegenüber, die in neue Kälteanlagen und Hartschaumporen eingeschlossen werden und erst in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten emittieren. Von dem 16 372 Tonnen umfassenden Jahresverbrauch machen letztere mehr als 10 000 Tonnen, mithin die Mehrheit, aus: über 4 800 Tonnen Kältemittel und über 5 200 Tonnen neuer Schaumtreibgase.

Der Jahresverbrauch von 1995 erzeugt also nur zum Teil Emissionen im gleichen Jahr (Sofortemissionen), zum anderen Teil führt er zur Vergrößerung der Bestandsmenge, die erst mit zeitlicher Verzögerung in späteren Jahren entweicht ("künftige Emissionen"). Dagegen bestehen die Jahresemissionen von 1995 nur zum Teil aus den Sofortemissionen aus dem Jahresverbrauch. Zum anderen Teil sind sie Emissionen aus dem in vorausgegangen Jahren angehäuften Bestand, aus dem sie allmählich freigesetzt werden ("Altemissionen").

Die Jahresemissionen umfassen daher außer Spray-Treibgasen, Laborchemikalien und Kältemitteln aus undichten Altanlagen, die als Sofortemissionen im Jahresverbrauch mitgerechnet sind, auch die - im Jahresverbrauch nicht erfaßten - Alt-FCKW (und Halone), die in vorhergehenden Jahren in neue Anlagen oder in Hartschäume eingeschlossen wurden, aus denen sie 1995 anteilig entweichen.

Um uns ein Gesamtbild von den laufenden Jahresemissionen machen zu können, versuchen wir im Kapitel V, Alt-FCKW (und Halone) zu quantifizieren.

Im Zentrum der Studie steht der Jahresverbrauch 1995. Nur diese Ziffer gibt Aufschluß darüber, für welche zusätzlichen Einträge ozonschicht- und klimaschädigender Stoffe in die Umwelt wir als Zeitgenossen 1995 verantwortlich sind.

Berechnungsgrundlagen für ODP und GWP

Sowohl die ODP- (Ozone Depletion Potential-) als auch die GWP-Werte, die in der Gesamttabelle im Anhang angeführt sind, stammen einheitlich aus der 4. Plenarsitzung des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), die von 13. bis 15. September 1994 in Maastricht stattfand.

Beim GWP (Global Warming Potential) ist dessen Größe wegen der unterschiedlichen Lebensdauer der verschiedenen FCKW/FKW im Verhältnis zu CO₂ zeitabhängig. Wer das GWP kleinrechnen will, geht von langen Zeithorizonten (500 oder 100 Jahre) aus. Wir legen dagegen den 20-Jahre-Zeitraum (GWP₂₀) zugrunde, weil eine umweltpolitische Wende in der Frage des globalen Klimas bereits in kürzester Frist geboten ist, nicht erst irgendwann im Zeitraum von hundert oder mehr Jahren.

Alternativen

Schon in der 1992 erschienenen Studie "Der FCKW-Ausstieg ist möglich. Sofort. Praktische Alternativen zu FCKW" hatten wir darauf hingewiesen, daß (damals) für fast alle Anwendungsbereiche umweltverträglichere FCKW-Alternativen vorhanden oder in der Entwicklung waren. Heute sind Ausnahmegenehmigungen für FCKW grundsätzlich nicht mehr gerechtfertigt. Dies gilt auch für den weitaus größten Teil der sog. "essential uses".

Über Alternativen zu FCKW, H-FCKW und FKW wird im Textzusammenhang der Kapitel über die drei Anwendungsfelder jener Stoffe jeweils knapp informiert.

Frankfurt/M., Mai 1995

Winfried Schwarz/André Leisewitz

I. Kälte- und Klimatechnik

Die alten Kältemittel

Noch Anfang der neunziger Jahre bildeten die organisch-synthetischen Kältemittel einen relativ einfach zusammengesetzten Markt mit einem Umfang von 8 000 bis 9 000 Tonnen FCKW. Etwa 40 Prozent entfielen auf den FCKW-12, der überwiegend in der Normalkühlung (Temperaturen oberhalb 0 °C) bzw. in Anlagen mit kleinen Füllmengen eingesetzt wurde. Etwa 50 Prozent des Kältemittelbedarfs bildete der H-FCKW-22. Sein Einsatzgebiet war (und ist heute noch) hauptsächlich die Kühlung im niedrigeren Kühlbereich (unterhalb 0 °C) bzw. in mittelgroßen Anlagen, wie sie in der gewerblichen und industriellen Nutzung vorkommen. 10 Prozent des Marktvolumens entfiel auf das für die extreme Tiefkühlung eingesetzte Gemisch R 502, das je zur Hälfte aus FCKW-115 und H-FCKW-22 bestand. Weitere FCKW-Typen im Gebrauch, wie z.B. FCKW-11 für Turboverdichter oder FCKW-13 für die Tiefstkühlung, waren quantitativ von geringerer Bedeutung. Im Bereich der industriellen Großanwendung dominierte nicht FCKW, sondern mit einem Jahresverbrauch von über 3 000 Tonnen das Ammoniak. (Ausk. Holz, ICI-Westfalen GmbH; Lotz, DKV-Statusbericht Nr. 13, 1993.)

Der gegenwärtige Kältemittelmarkt ist nicht mehr so übersichtlich. Im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus den vollhalogenierten FCKW ist er so stark in Bewegung geraten, daß ein Überblick über seine Tendenzen nicht leicht fällt.

Das Schicksal von FKW-134a

Die Chemieindustrie hat aus Fehlern gelernt. Durch ihr hartnäckiges Bestreiten des Zusammenhangs zwischen FCKW und Ozonschichtzerstörung noch in den späten achtziger Jahren hatte sie selbst eine schnellere Entwicklung von ODP-freien chemisch-synthetischen Ersatzstoffen blockiert. Erst als das Produktionsverbot für vollhalogenierte FCKW nicht mehr aufzuhalten war, baute sie hektisch enorme Produktionskapazitäten für das chlorfreie Hauptsubstitut, nämlich FKW-134a, auf. In der Zwischenzeit schrumpfte jedoch drastisch das ehemalige Anwendungsfeld der FCKW: Die früheren Großkunden Aerosolabfüller und Polyurethanschäumer verzichteten weitgehend auf das neue 134a. Und selbst in der sicher geglaubten Absatzdomäne der Kältemittel erwuchs dem zwar ODP-freien, aber erheblich zum Treibhauseffekt beitragenden Produkt unerwartete Konkurrenz durch die einfachen Gase Propan und Isobutan sowie durch das traditionelle Kältemittel Ammoniak.

Konsequenz: Die weltweite Herstellungskapazität von über 130 000 Jahrestonnen FKW-134a ist, glaubt man den Klagen der Großchemie, gegenwärtig bestenfalls zu 30 000 Tonnen ausgelastet. Hauptabnehmer ist neben der Chemischen Industrie selbst (Abfüllung von Montageschaum-Dosen) der bislang treue Verbündete der Großchemie, nämlich die Autoindustrie, die ihre emissionsträchtigen Pkw-Klimaanlagen mit FKW-134a im Werk auf- und in den Werkstätten nachfüllt.

Die neuen Kältemischungen (Blends)

Vor diesem Hintergrund ist die gegenwärtige Eile, ja Nervosität der Großchemie in bezug auf den restlichen, gegenüber der Autoklimatisierung größeren Markt für synthetische organische Kältemittel zu erklären. Dieser Restmarkt besteht zu über

achtzig Prozent aus dem H-FCKW 22, und mindestens weitere 10 Prozent entfallen auf das Gemisch R 502, das sich aus H-FCKW 22 und FCKW 115 zusammensetzt. Deren Anwendungsbereiche sind mittlere und größere Kälteanlagen und die Erzeugung tieferer Temperaturen, als sie FKW-134a bzw. FCKW-12 gestatten. Obwohl teilhalogenierte FCKW in der EG noch bis zum Jahr 2000 für Neuanlagen weitestgehend erlaubt sind, drängt die Chemieindustrie - anders als bei der verspäteten Einführung von 134a - schon jetzt mit Nachdruck auf ihren Ersatz. Nicht für längere Übergangsfristen für ihre Produkte aus der H-FCKW-Reihe macht sie sich stark, sondern sie will deren Anwendungsfeld möglichst frühzeitig mit langfristigen Eigenprodukten besetzen, bevor sich auch hier Alternativen wie z.B. Propan oder Ammoniak stärker verbreitern können, an denen sie nichts verdient.

Eine Besonderheit beim Ersatz von H-FCKW-22 und R 502 besteht darin, daß chemisch-synthetische Substitute mit vergleichbarem Eigenschaftsprofil nicht als Reinstoffe verfügbar sind, sondern nur als Gemische (Blends). Diese bestehen hauptsächlich aus den FKW 32, 125, 134a und 143a. Allerdings bieten auf dem europäischen Markt sieben Chemieunternehmen insgesamt fünfzehn verschiedene chlorfreie Ersatzmixturen für R 502 und H-FCKW-22 an, die sich voneinander hauptsächlich nach den unterschiedlichen Anteilen jener vier Komponenten unterscheiden. In der Unfähigkeit der Chemieindustrie, sich auf zwei chlorfreie Standard-Blends zu einigen, drückt sich ein scharfer Wettbewerb untereinander aus, bei dem jeder Hersteller möglichst frühzeitig seine Sonder-Rezeptur im Markt zu verankern trachtet und gerade dadurch die Markteinführung verzögert. Denn nicht nur Anwender, sondern auch Kältefachbetriebe und der Kältemittelhandel sowie die Hersteller von Kälteaggregaten und -bauteilen sind reichlich verunsichert.

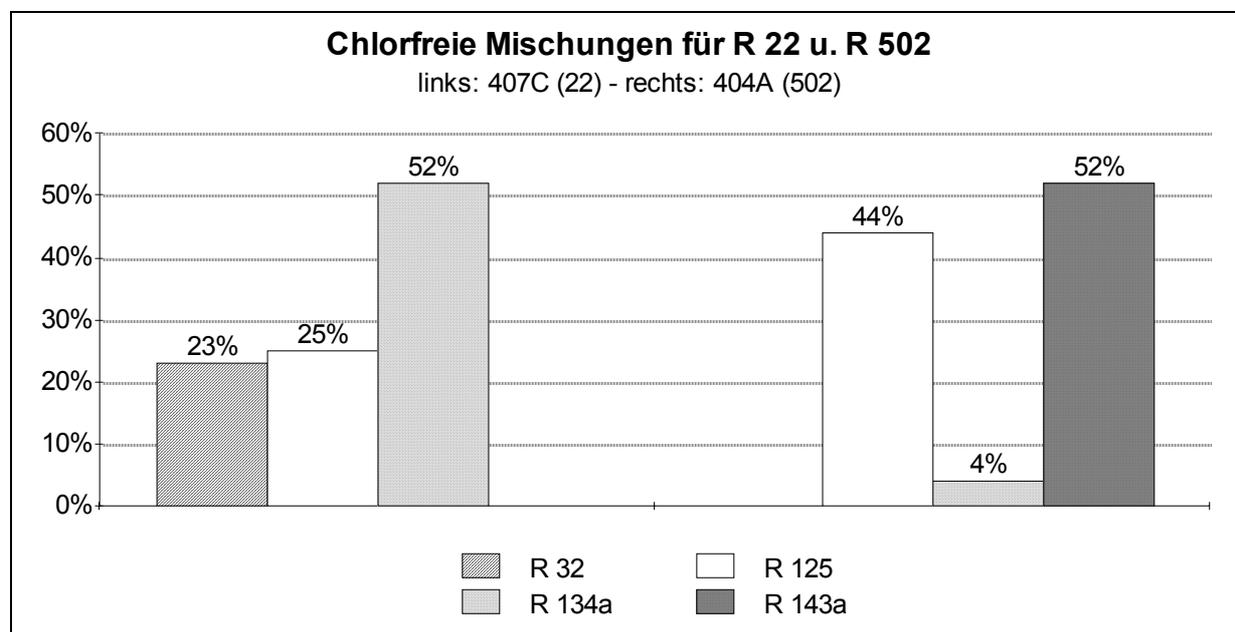


Bild 4. Die beiden chlorfreien Favoriten für den langfristigen Ersatz von R 502 und H-FCKW-22. R 404A (R 502-Ersatz), im Bild rechts, besteht aus FKW-125/134a/143a im Verhältnis 44/4/52. Sein GWP₂₀ ist mit 4950 CO₂-Äquivalenten fast so hoch wie das von R 11. Die Hauptkomponente FKW-143a ist brennbar. R 407C (H-FCKW-22-Ersatz), im Bild links, setzt sich aus FKW-32/125/134a im Verhältnis 23/25/52 zusammen. Brennbar ist darin FKW-32. Der GWP₂₀-Wert liegt mit 3330 über den 3300 der Hauptkomponente FKW-134a.

Haupttrends

Zwar zeigen sich mittlerweile gewisse Tendenzen: So ist der Favorit beim H-FCKW-22-Ersatz eine Mischung aus FKW-32, 125 und 134a unter der Bezeichnung R 407C - gefördert von Du Pont als "Suva AC 9000" und von ICI als "Klea 66". Beim R 502-Ersatz, der wegen des Verbots der FCKW-115-Komponente vorrangiger ist, zeichnet sich ein Stoffgemisch aus FKW-125, 134a und 143a unter der Bezeichnung R 404A als bedeutendstes Substitut ab - Du Ponts "Suva HP 62" und Atochems "FX 70". Dennoch sind die potentiellen Anwender mit der Angebotsvielfalt noch überfordert, so daß sie vorerst lieber beim technisch bewährten H-FCKW-22 bleiben und diesen auch als Ersatzstoff für das Tiefkühlmittel R 502 einsetzen, was durch zweistufige Betriebsweise der Anlage (d.h. zwei hintereinandergeschaltete Kühlprozesse) möglich ist.

Gefürchtete technische Probleme der chlorfreien Kältemischungen sind außer der Unverträglichkeit mit herkömmlichen Mineralölen und Anlageteilen sowie der Brennbarkeit nicht des normalen Gemischs, aber jeweils einer seiner Einzelkomponenten (entweder FKW-32 oder FKW-143a), die unterschiedlichen Siedepunkte der Verbindungen: Die Temperatur- und Druckverhältnisse sind nicht mehr so eindeutig wie bei Reinstoffen wie H-FCKW-22 oder azeotropen Gemischen wie R 502 (sog. Glide). Und im Falle von Leckagen entweicht der tiefer verdampfende FKW schneller als derjenige mit höherem Siedepunkt, so daß sich die quantitative Zusammensetzung des Gemischs unter Verlust seiner spezifischen Eigenschaften verändern kann. Unter Umweltgesichtspunkten kommt nachteilig hinzu, daß ausnahmslos alle chlorfreien Gemische im GWP über dem Wert von FKW-134a liegen und somit einen erheblichen Beitrag zum Treibhauseffekt liefern. Befürchtet werden in der Kältebranche gesetzliche Einschränkungen, die über das ODP hinaus auch das GWP eines Kältemittels berücksichtigen.

Der seit 1992 begonnene Verkauf von chlorfreien Kältemischungen ist 1994 nur schleppend vorangekommen. Nach unserer Prognose werden 1995 ca. 200 Tonnen abgesetzt werden - vor allem zur R 502-Substitution. Langfristig werden diese Kältemischungen jedoch die gegenwärtigen Anwendungen von H-FCKW-22 und R 502 im mittleren und oberen Leistungsbereich - vor allem der Gewerbekälte - ersetzen, wenn nicht Alternativen wie Ammoniak stärker zum Zuge kommen.

"Retrofits"

Zu erwähnen sind hier noch zehn weitere Kältemischungen, die außer FKWs alle H-FCKW-22 als wesentliche Komponente enthalten, also nicht chlor- und ODP-frei sind. Sie wurden für den tieferen Kühlbereich als mittelfristige Ersatzstoffe der vollhalogenierten FCKW-12 und R 502 (FCKW-115-Anteil) entwickelt, die ohne durchgreifende Anlagenumrüstung in bestehende Anlagen neueren Datums gefüllt werden können, solange teilhalogenierte FCKW noch dafür erlaubt sind. Der Absatzmarkt für diese "drop-in"-Kältemittel bzw. "Retrofits" ist aber sehr klein, da Altanlagen meist mit FCKW-12 und R 502 weiterbetrieben werden können und dürfen und dort, wo FCKW-12 oder R 502 leicht ersetzbar ist, dies durch bewährten reinen H-FCKW-22 geschieht. Einige der wenigen Anwendungen dieser teilchlorierten Mischungen kommen in der Transportkälte (Tiefkühl-Lkw) vor. Als Retrofit-Kältemittel ist auch der Reinstoff H-FCKW-123 zu bezeichnen, der FCKW-11 in Großklimaanlagen mit Turboverdichtern ersetzt.

Der Kältemittelverbrauch 1995

Mit acht verschiedenen Einsatzstoffen auf FCKW-, H-FCKW- oder FKW-Basis ist die Kälte- und Klimatechnik nicht nur der vielfältigste Anwendungsbereich solcher Substanzen, sondern mit einem Jahresverbrauch von über 8 500 metrischen Tonnen zugleich ihr größtes Anwendungsgebiet. Die Spitzenstellung vor den Treibmitteln für Kunststoffschäume und medizinische Aerosole nehmen die Kältemittel auch beim Ozonschichtzerstörungspotential (ODP) und beim Treibhauspotential (GWP) ein.

Das **ODP** aller 1995 verbrauchten synthetischen Kältemittel liegt bei **1 090 Tonnen FCKW-11-Äquivalenten**, das für einen Zeithorizont von 20 Jahren berechnete **GWP** der Kältemittel entspricht **37,2 Mio. Tonnen CO₂**. Rein mengenmäßig bedeutendstes Kältemittel war bisher und ist auch 1995 der H-FCKW-22 mit annähernd 5 000 Tonnen Bedarf (vgl. Bild 5). Es wird vor allem im mittleren Leistungs- und Kühltemperaturenbereich eingesetzt, besonders in der Gewerbe- und Industriekälte.

An zweiter Stelle folgt mittlerweile mit fast 2 500 Tonnen der für den kleineren Leistungs- und normalen Kühlbereich typische FKW-134a als Nachfolger für den ab 1.1.1995 in Neuanlagen endgültig verbotenen vollhalogenierten FCKW-12. Letzterer ist mit über 700 Tonnen Jahresverbrauch aber immer noch das Kältemittel Nummer Drei, obwohl es nur als Emissionsersatz in Altanlagen zum Einsatz kommt. Hauptanwendungsgebiet sowohl von FKW-134a (zu 60 Prozent) als auch von FCKW-12 (zu 70 Prozent) sind Autoklimaanlagen, was die Dringlichkeit verdeutlicht, gerade hier umweltverträgliche Alternativen einzuführen.

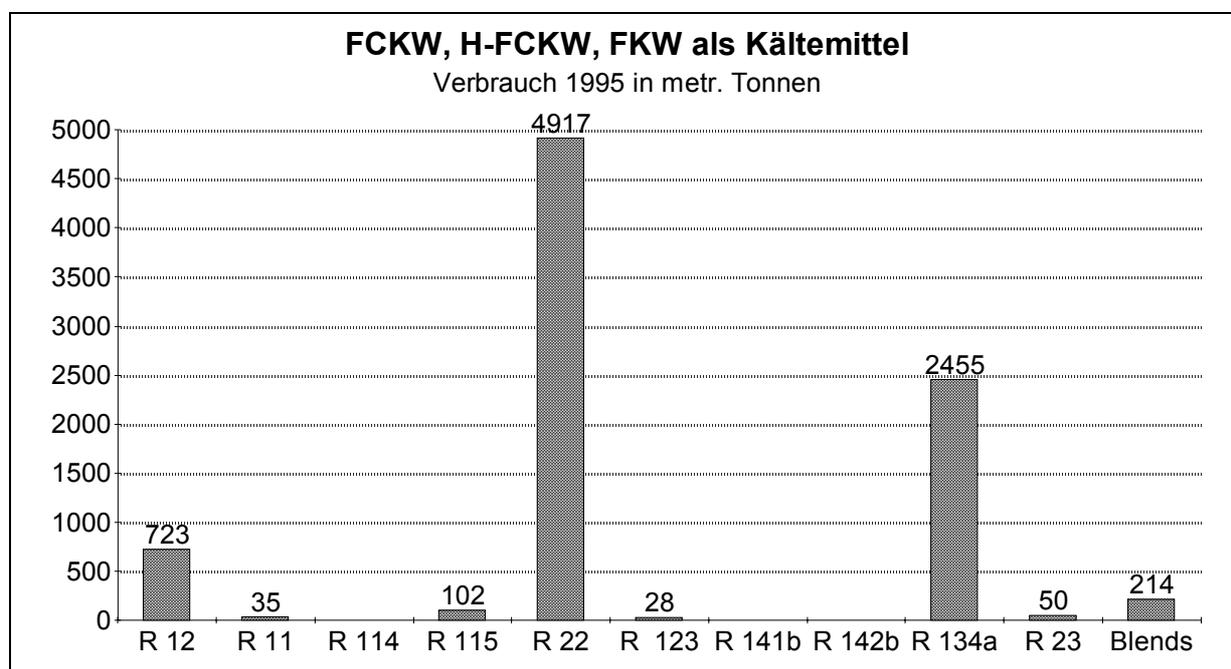


Bild 5. Auch 1995 bleibt das mengenmäßig bedeutendste Kältemittel der teilhalogenierte FCKW-22 mit fast 5 000 Tonnen Verbrauch. Es folgen die Kältemittel für die Kleinkälte und Normalkühlung, nämlich FKW-134a und sein Vorgänger FCKW-12, deren Hauptanwendung Autoklimaanlagen sind. Chlorfreie FKW-Blends sind erst im Stadium der Markteinführung.

In der Kleinkälte des Hausgerätebereichs haben klimaneutrale Kältemittel wie Propan und Isobutan den FCKW-12-Nachfolger FKW-134a zum größten Teil schon wieder ersetzt. In weiteren Einsatzgebieten der FKW-134a-Kolbenverdichtung werden z. Zt.

aussichtsreiche Alternativen erprobt - u.a. bei der Klimatisierung von Eisenbahnwaggons (Luft) und gerade auch beim gegenwärtigen 134a-Hauptverbraucher Autoklimaanlage (CO₂, Propan-Butan, Zeolith-Wasser).

Tab. 1: Inländischer Kältemittelbedarf der gesamten Kältetechnik (ohne NH₃) Schätzwerte für 1995 in Tonnen									
	R 12	R 11	R 115*	R 22	R 123	R134a	R 23	Blend	ges.
ODP	1	1	0,6	0,055	0,02	0	0	0	
GWP 20a	7900	5000	6200	4300	300	3300	9200	4400	
Emission	723	35	102	2602	28	159	0	10	3659
Neufüllen	0	0	0	2315	0	2296	50	204	4865
Gesamt	723	35	102	4917	28	2455	50	214	8524

* FCKW-115 kommt real nur als Mischungskomponente von R 502 zusammen mit H-FCKW-22 vor. In der Tabelle wird die FCKW-115-Komponente für sich angegeben, während die H-FCKW-22-Komponente dem Reinstoff zugerechnet wird.

Den Bereich der mittelgroßen Kälteanlagen, wo 1995 noch H-FCKW-22 und R 502 dominieren, will die Chemische Industrie mit chlorfreien FKW-Mischungen substituieren. Doch auch hier sind klimaneutrale Technologien, im wesentlichen auf Basis von Ammoniak, auf dem Vormarsch. Dieses traditionelle Kältemittel der industriellen Großanwendung findet zunehmend Anwendungsformen auch in mittleren Leistungsbereichen wie der Gewerbekälte und der Gebäudeklimatisierung, auch wenn das Durchsetzungstempo von Ammoniak unter dem Aspekt des Umweltschutzes noch viel zu langsam ist.

Zur Nachfüll-Versorgung bestehender Kälteanlagen mit ODP-Kältemitteln

Da Kältemittel in Anlagen gefüllt werden, aus denen sie im Maße der Undichtheiten während des Betriebs mehr oder weniger stark entweichen, gibt es in der Kälte- und Klimatechnik das Problem des Emissionsersatzes. Der Kältemittelverbrauch besteht insgesamt zu etwa gleichen Teilen aus Neu- und Nachfüllungen. Nachfüllungen gibt es weder bei Aerosolen, wo das Treibgas bestimmungsgemäß emittiert, noch bei Kunststoffschäumen, wo es zwar ungewollte langsame Ausgasungen gibt, die aber nicht ersetzt werden. In diesen beiden Bereichen ist Verbrauch mit "Neufüllung" identisch, bei der Kältetechnik nicht.

Ab 1995 ändert sich die Nachfüll-Versorgung von Altanlagen mit den Kältemitteln FCKW-12, FCKW-11 und R 502 (= H-FCKW-22 + FCKW-115), da es in der EG keine Neuproduktion vollhalogenerter FCKW für Kältezwecke mehr gibt. Der Gesetzgeber ist der Ansicht, daß außer dem gehorteten Kältemittelvorrat bei den Händlern die - innerhalb der EG frei handelbare - Recyclingware aus der Entsorgung verschrotteter Altanlagen als Emissionsersatz weitgehend ausreicht, so daß Importgenehmigungen aus Drittstaaten für vollhalogenierte FCKW restriktiv gehandhabt werden sollen. Aus Tabelle 1 geht hervor, daß es sich beim kritischen Emissionsersatz um ca. 960 Tonnen handelt, und zwar im wesentlichen um FCKW-12, der überwiegend für Autoklimaanlagen bestimmt ist.

Die Interessenkonstellation beim Ersatz vollhalogenerter FCKW stellt sich so dar:

Die **Anwender** von Kälte- und Klimaanlage wollen deren reibungslosen Betrieb, möglichst mit dem bisherigen Kältemittel, da die Umrüstung auf teilhalogenierte oder chlorfreie Ersatzstoffe mit zusätzlichen Kosten verbunden ist.

Die **Chemieindustrie**, die FKW-134a und FKW-Mischungen verkaufen will, beschwört aus naheliegenden Gründen Versorgungsengpässe mit vollhalogenierten FCKW, drängt auf Importverbote dafür und rät Anwendern und Kältefachbetrieben zur zügigen Umstellung auf chlorfreie, aber den Treibhauseffekt steigernde Synthetika.

Dazwischen stehen die **Kältemittelhändler und Fachbetriebe**, die keine Kunden verlieren und daher mit vollhalogenierten FCKW lieferfähig bleiben wollen. Folglich haben sie, nicht die ehemaligen FCKW-Produzenten, das Recycling von Altware verstärkt in ihre Hand genommen. (Die Hoechst AG hat das FCKW-Recycling eingestellt und betreibt nur eine Vernichtungsanlage für entsorgte FCKW.)

Teils verfügt der Kältemittelhandel über eigene Destillationseinrichtungen für FCKW, teils hat er Verträge mit speziellen Wiederaufarbeitern abgeschlossen. Das Kältemittel FCKW-12 wird überwiegend aus alten Kühl- und Gefriergeräten gewonnen und nach der Regeneration vornehmlich in Autoklimaanlagen eingesetzt. Die Kfz-Werkstätten benötigen 1995 allein 500 Tonnen FCKW-12 für den Ausgleich von Emissionsverlusten. (Ein Recycling von FCKW-12 aus alten Autoklimaanlagen fand bisher praktisch nicht statt.) R 502 stammt aus verschrotteten gewerblichen Kälteanlagen und wird als Ersatzbedarf im gleichen Anwendungsbereich wiederverwendet. Ein besonderes Problem stellt der Ersatz von ca. 35 Tonnen FCKW-11 in Großklimaanlagen dar, weil ein FCKW-11-Recycling nicht stattfindet. Hier ist der Umstellungsdruck (zum teilhalogenierten FCKW 123 hin) am größten, da die Händlervorräte von FCKW-11 begrenzt sind und Nachschub immer ungewisser wird. Der Kundschaft gegenüber garantiert der Handel für 1995 indessen weitgehende Versorgungssicherheit mit den Kältemitteln ihrer Wahl.

Bei den nachfolgenden Verbrauchsberechnungen für 1995 wird unterstellt, daß noch keine Versorgungsengpässe mit FCKW für diejenigen Betreiber von Altanlagen eintreten, die - aus welchen Gründen auch immer - nicht zur Umrüstung auf weniger ozonschichtschädigende Ersatzkältemittel bereit sind.

1 Hausgeräte

Innerhalb der Kältetechnik bilden die Haushaltsgeräte den Bereich, der am konsequentesten den Ausstieg nicht nur aus den ozonschichtzerstörenden FCKW vollzieht, sondern auch aus deren chlorfreien, aber zum Treibhauseffekt beitragenden FKW. Dieser für den Klimaschutz bedeutsame Erfolg wäre ohne den Druck großer Umweltschutzverbände, in diesem Falle Greenpeace, im Kontext wachen öffentlichen Umweltbewußtseins nicht oder nur teilweise zustande gekommen. Immerhin haben alle führenden Hausgerätehersteller nach jahrelanger Abwehr der Kohlenwasserstoffe wegen angeblich energetischer Nachteile, zu hoher Sicherheitsrisiken und zu hoher betrieblicher Umstellungskosten innerhalb von wenigen Monaten auf eben diese Kohlenwasserstoffe umgeschwenkt, deren Vorzüge sie nunmehr in der Öffentlichkeit - übrigens zu Recht - preisen: Isobutan als Kältemittel zur Kühlung und Cyclopentan als Treibmittel für den PU-Dämmschaum. In beiden Fällen gab es für FKW-134a nur ein kurzes Zwischenspiel.

Tab. 2: Inländischer Kältemittelbedarf für Hausgeräte 1995 in Tonnen*				
	R 12	R 22	R134a	gesamt
Emissionsersatz	16	2		18
Neufüllung	0	5	155	160
Gesamtverbrauch	16	7		178

* ohne Kohlenwasserstoffe.

1.1 Haushaltskühlgeräte

Bei den Kühlschränken mit Normalkühlung (oberhalb 0 °C) haben Anfang 1995 alle inländischen Hersteller die Umstellung von FKW-134a auf Isobutan als Kältemittel vollzogen. Da der technische Aufwand in dem Maße steigt, je tiefer die geforderten Temperaturen sind, wird bei den Gefriergeräten der Umstieg aber erst im Laufe des Jahres 1995 abgeschlossen. Am längsten dauert die Umstellung bei Geräten mit einer Kältemittel-Füllmenge über 400 Gramm (Ausk. Fa. Liebherr, Ochsenhausen). Da jährlich außer 3 Mio. Kühlschränken etwa 0,8 Mio. Gefriergeräte neuproduziert werden (Ausk. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, Frankfurt), wird auch 1995 im Sektor der Haushaltskühlgeräte noch FKW-134a eingesetzt. Bei einer mittleren Füllmenge von 180 Gramm Kältemittel für Gefriergeräte und unter der Annahme, daß 80 Prozent der Geräte noch damit ausgerüstet werden, ergibt sich eine Neubefüllung von ca. 115 Tonnen. Da es auch noch "Nachzügler" bei den Kühlschränken gibt, dürften 1995 noch rd. 130 Tonnen FKW-134a als Haushaltskältemittel eingesetzt werden.

Da das Kühlsystem in Hausgeräten hermetisch geschlossen arbeitet und Undichtheiten aufgrund der fabrikmäßigen Fertigungsweise während des Betriebs im Haushalt kaum auftreten, beschränken sich die entsprechenden Emissionen von FKW-134a im Jahr 1995 vor allem auf die Verluste während der Kältemittelfüllung im Werk. Das sind nach Herstellerangaben noch 2 Prozent, die in der obigen Aufstellung nicht enthalten sind, aber hier als Merkposten angeführt werden.

Anders sieht es bei den Emissionen seitens des FCKW-12-Altanlagen-Bestandes aus, der sich auf etwa 55 Mio. Geräte in der gesamten Bundesrepublik (alte und neue Länder) beläuft. Zwar liegen auch hier die Undichtheitsraten nicht hoch. Doch aufgrund der großen Anzahl der Kühlgeräte summieren sich auch jährliche

Betriebsverluste von 0,15 Prozent auf insgesamt 10 Tonnen (Lotz, DKV-Statusbericht 13,1993) - ganz abgesehen von den Emissionen bei der Verschrottung und Entsorgung (s. Kap. V).

Tab. 3: Prognose der Kältemittelverbräuche für Hausgeräte Schätzwerte 1995 in Tonnen*				
	R 12	R 22	R 134a	gesamt
Kühlschränke	8		15	23
Gefriergeräte	2		115	117
Wärmepumpen	6	7	25	38
Gesamtmenge	16	7	155	178

*Emissionsersatz und Neubefüllung

1.2 Wärmepumpen

Haus-Wärmepumpen gibt es zu Heizzwecken und zur Warmwasseraufbereitung. Die Anzahl der Heizungspumpen, bei denen das Kältemittel außerhalb des Hauses eingesetzt wird und der Wärmetransport ins Innere durch Wasser bzw. Wasser/Glykollösungen erfolgt, beträgt etwa 52 000. Von den kleineren Innenanlagen für Warmwasser gibt viel mehr: etwa 300 000. (Ausk. Fa. KKW Kulmbacher Klimageräte-Werk.)

Auch bei den Wärmepumpen werden Kohlenwasserstoffe - hier: Propan - mittelfristig FCKW, H-FCKW und FKW ersetzen.

Zunächst, und zwar ab Mitte 1995, geschieht dies bei den Heizungswärmepumpen, wo das Sicherheitsrisiko wegen des Einsatzes außerhalb des Wohnraums sehr gering ist. Statt der bisherigen mittleren Füllmenge von 2,5 kg H-FCKW-22 (jüngere Anlagen) oder FCKW-12 (vornehmlich ältere Anlagen) reichen bei Propan Füllungen unter 1 kg aus. Dies ist die Grenze, oberhalb derer die Unfallverhütungsvorschriften weitergehende Sicherheitsmaßnahmen erforderlich machen (Unfallverhütungsvorschrift VBG 20). Statt 10 Tonnen H-FCKW-22 für die für 1995 geplanten 4 000 Heizungswärmepumpen werden, unter der Annahme, daß die Hälfte bereits mit Propan gefüllt wird, nur 5 Tonnen für Neuanlagen erforderlich sein. Als Emissionsersatz sind bei einer Undichtheitsrate von 3 Prozent für die Altanlagen außerdem 2 Tonnen FCKW-12 und 2 Tonnen H-FCKW-22 nötig.

Warmwasser-Wärmepumpen werden, da sie in Innenräumen stehen, erst längerfristig allgemein auf Propan umgestellt, obwohl bereits gute Erfahrungen mit den bisher verkauften Propan-Warmwasserpumpen vorliegen. Hier bleibt es 1995 bei 25 Tonnen FKW-134a für Neubefüllungen. Die Undichtheitsrate der mit durchschnittlich 1 kg Kältemittel gefüllten Anlagen wird auf etwa 1,5 Prozent geschätzt. Darum ist für die rund 250 000 Altanlagen mit FCKW-12 ein Emissionsersatz von ca. 4 Tonnen erforderlich, unter der Annahme, daß hier eine nennenswerte Umrüstung auf FKW-134a nicht stattfindet.

Insgesamt ergibt sich 1995 ein Verbrauch von Kältemitteln für Hausgeräte von 178 Tonnen: 16 Tonnen FCKW-12, 7 Tonnen H-FCKW-22 und 155 Tonnen FKW-134a.

2 Gewerbekälte

Innerhalb der Kältetechnik ist die gewerbliche Kühlung der mit Abstand größte Einzelverbraucher synthetischer Kältemittel. Ihr Verbrauch (ohne 100 Tonnen Ammoniak) beläuft sich 1995 auf knapp 4 000 Tonnen. Davon sind 3 300 Tonnen H-FCKW-22, 100 Tonnen FCKW-12, 50 Tonnen FCKW-115 (aus der Kältemischung R 502), 400 Tonnen FKW-134a und 100 Tonnen chlorfreie FKW-Blends (Tabelle 4).

Der Verbrauch verteilt sich je zur Hälfte auf Neufüllungen und auf Emissionsersatz.

Tab. 4: Inländischer Kältemittelbedarf für Gewerbekälte 1995 in Tonnen (ohne NH₃)						
	R 12	R 22	R 115*	R 134a	FKW-Blends	gesamt
Emissionsersatz	100	1650	50	5	5	1810
Neufüllung	0	1650	0	400	100	2150
Gesamtverbrauch	100	3300	50	405	105	3960

*FCKW-115 kommt nur als Bestandteil der azeotropen Mischung R 502 vor, woran er zu 51,2 Prozent beteiligt ist; die übrigen 48,8 Prozent sind H-FCKW-22, die in der Tabelle dem reinen H-FCKW-22 zugerechnet werden.

2.1 Supermärkte

Der hohe gewerbliche Kältemittelverbrauch sei an seinem mengenmäßigen Haupteinsatzbereich, nämlich am Supermarkt, erklärt.

Ein Supermarkt mittlerer Größe verfügt im Verkaufsraum über eine Vielzahl unterschiedlich tief gekühlter Verkaufsmöbel für verderbliche Lebensmittel. Im Normalkühlbereich ("Pluskühlung") befinden sich die offenen Verkaufstheken und -regale für Molkereiprodukte, Fleischwaren, Geflügel, Fisch, Frischobst und -gemüse. Im Tiefkühlbereich ("Minuskühlung") wird Gefrierkost aller Art teils in verschließbaren Schauvitriolen, teils in offenen Verkaufstruhen bzw. -inseln angeboten. Über ein langes, weitverzweigtes Rohrleitungssystem sind die Verkaufs-Kühlmöbel, die nur über einen eingebauten Verdampfer verfügen, mit einem zentralen Maschinenraum verbunden, wo die Kältemittelverdichter für den Plus- und den Minuskühlverbund arbeiten. Daran sind auch die Kühlräume und -zellen angeschlossen, die teils als Vorratslager dienen, teils als nächtliches Frischhaltedepot für die verderbliche Auslegware des Ladens. Die heutzutage dominierende Form des Lebensmittelverkaufs sowie die Zunahme von Gefrierkost (Fertiggerichte) im Warenangebot machen große Kälteleistungen erforderlich, die wiederum den Einsatz großer Kältemittelmengen verlangen.

Auch die Kältemittelverluste sind bei diesem zentralen Kälteversorgungssystem aus Rohrleitungen, Kühlräumen, Verkaufsmöbeln und Kälteaggregaten recht groß. Dafür gibt es zwei Hauptgründe:

Erstens wird das Gesamtsystem nicht fabrikseitig hergestellt, sondern den örtlichen Gegebenheiten entsprechend verlegt, zusammenmontiert und befüllt.

Zweitens wächst mit der Länge der Kältemittelleitungen das Risiko längerfristig unentdeckter Leckagen infolge von Materialschäden oder von Montagefehlern.

Jährliche Betriebsverluste von zehn Prozent der Füllmenge räumen die Marktführer in der Gewerbekälte, die Linde AG (Mainz-Kostheim und Köln-Sürth) und die York International (Mannheim), für die zentral betriebene Supermarktkühlung ein. Wo hingegen dezentrale Kühlvorrichtungen, d.h. steckerfertige Kühlmöbel mit eingebautem Kältesatz, zum Einsatz kommen (sei es im Supermarkt zusätzlich oder in kleineren Läden oder Gewerbebetrieben ausschließlich), ist der Kältemittelverlust geringer: Die jährliche Undichtheitsrate beträgt hier 2,5 Prozent.

2.2 Sonstige Gewerbekälte

Kühlmöbel, Kühlräume und Kälteanlagen zur gewerblichen Nutzung (ohne sog. "Industriekälte") finden sich außer im Lebensmittelhandel u.a. in folgenden Einsatzbereichen (Auswahl):

- Großküchen in der Gastronomie, im Hotelgewerbe, in Kantinen, in Krankenhäusern, auf Flughäfen u. dgl. (Kühlräume, Großkühlschränke und -truhen, Salattheben, Backwarenfroster);
- Metzgereien (Kühl- und Gefrierräume für Fleisch, Verkaufstheben);
- Bäckereien (Teig-Schockfroster, Gärautomaten);
- Cafeterias (Kühlvitrinen für Torten, Getränkeautomaten, Eiskremtruhen, Speiseeismaschinen);
- Gaststätten, Bars (Büfettanlagen, Biertheben, Würfeleisbereiter);
- Gärtnereien, Blumenläden (Kühlräume für Pflanzen und Schnittblumen);
- Krankenhäuser (Medizinische und Laborkühlschränke, Blutplasma-Froster, Leichen-Gefrierzellen).
- Sport- und Freizeitanlagen (Kunsteisbahnen, Bob- und Rodelbahnen - überwiegend Ammoniak)

Jährlich werden in Deutschland rund 200 000 gewerbliche Kühlmöbel verschiedener Art und Größe produziert (nach Statistik des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau - VDMA) und etwa 50 000 Kühlräume und -zellen (Ausk. Fa. Ilkazell, Zwickau) neu installiert. Dazu kommen Gefrieranlagen und andere Kühl- und Tiefkühleinrichtungen.

2.3 Der Kältemittelverbrauch bei der gewerblichen Nutzung

Der Kältemittelverbrauch für Neufüllungen in der Gewerbekälte verteilt sich zu einem Drittel auf eingebaute kompakte Kälteaggregate und zu zwei Dritteln auf separate Kältemittelverdichter- und -verflüssigungssätze im Verbundsystem. Letztere sind zwar zahlenmäßig weniger, aber in der Auslegung viel größer. Große Einzelverdichter können durchaus 200 kg Kältemittel durch einen mehrere hundert Meter langen Rohrleitungskreislauf mit Dutzenden Kühlstellen befördern und dabei im Normalkühlbereich (0 °C) eine Kälteleistung von 100 kW erbringen bzw. entsprechend im Tiefkühlbereich (- 40 °C) 20 kW, wobei die Kältemittelmenge dann nur 50 kg beträgt (Ausk. Fa. Bitzer, Sindelfingen).

Das Standard-Kältemittel in der Gewerbekühlung ist H-FCKW-22. Hier deckte er bisher 80 Prozent des Kältemittelbedarfs, da er von den synthetischen Kältemitteln sowohl für die Normal- als auch für die Tiefkühlung in fast allen gewerblichen, d.h. mittleren, Leistungsgrößen energetisch am günstigsten ist. Lediglich im Bereich der Normalkühlung oder der Tiefkühlung kleinerer Leistung kam FCKW-12 mit etwa zehn Prozent des Kältemittelverbrauchs zum Zuge. Die restlichen zehn Prozent entfielen

auf das Kältemittelgemisch R 502, das auf der anderen Seite der Temperaturskala, in der extremen Tiefkühlung unter - 35 °C, günstiger als reiner H-FCKW-22 ist.

FCKW-12 und R 502 werden in Neuanlagen über 5 kg Füllmenge bereits seit 1.1.1992 ersetzt - FCKW-12 vor allem durch FKW-134a und R 502 überwiegend durch H-FCKW-22.

Als Alternative für FCKW-12 spielen die Kohlenwasserstoffe Isobutan oder Propan - anders als im Haushaltsbereich - bei der gewerblichen Nutzung noch keine große Rolle, obwohl die Anwendung bis in den Leistungsbereich von 5 kW (entspricht einer Füllmenge von 2,5 kg) nach Auskunft führender Hersteller (Handrick, Fa. Eiskalt Kühlmöbel GmbH, Neumünster) bereits heute technisch möglich ist. So beschränkt sich bisher die gewerbliche Kohlenwasserstoffnutzung auf einige hundert Biertheben mit je ca. 300 Gramm Füllmenge Isobutan (R 600a). Obwohl es bei den geringen Füllmengen und der vollhermetischen Bauart der Kälteanlagen mit den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft keine Probleme gibt, stellen die Sicherheitsbedenken der Kältefachbetriebe (Lötarbeiten!) neben der Vermarktungsoffensive der Großchemie für ihre synthetischen chlorfreien Kältemittel hier noch ein großes Hindernis für eine stärkere Verbreitung dar.

Ersetzt wird seit Anfang 1992 das in Neuanlagen über 5 kg Füllmenge verbotene R 502, und zwar hauptsächlich durch H-FCKW-22, der nach heutigem Stand noch bis zum Jahr 2000 erlaubt ist. Technisch ist der Ersatz von R 502 durch H-FCKW-22 die einfachste Lösung. Sie hat aber keine langfristige gesetzliche Perspektive und ist außerdem mit energetischen Nachteilen gegenüber vorher verbunden (jetzt oft zweistufige statt einstufiger Verdichtung erforderlich). Daher richten sich auf diesen Einsatzbereich die massivsten Verkaufsanstrengungen der vormals im FCKW-Geschäft erfolgreichen Chemischen Großindustrie mit den neuentwickelten chlorfreien Kältemischungen. Für die Kältemittelhändler und erst recht für die Kältefachbetriebe ist - wie bereits erwähnt - das Angebot aber sehr verwirrend, so daß gerade von dieser Seite der bewährte H-FCKW-22 weiter favorisiert wird.

Obwohl Ammoniak, das an sich in der industriellen Großkälte angesiedelt ist und dort von FCKW nie überflügelt worden war, in gewerbliche Kälteanlagen vordringt, die bisher H-FCKW-22 und R 502 vorenthalten waren, kann von einem großen Durchbruch für dieses klassische Kältemittel noch nicht die Rede sein. Ammoniak beschränkte sich bisher auf gewerbliche Großanlagen wie Kunsteisbahnen u. dgl.. Mittlerweile dringt es auch in niedrigere Leistungsbereiche bis zu 10 kW hinab vor. Einzelne Supermärkte werden in Europa mit Ammoniak betrieben, in Deutschland seit 1993 ein edeka-Supermarkt in Hildesheim. Wegen der Toxizität und Brennbarkeit dieses Kältemittels wird indirekt mit einer externen Ammoniak-Kälteanlage gekühlt, die je einen Sekundärkreislauf für die Pluskühlung und einen für die Minuskühlung für das Ladeninnere kühlt. (Dazu kommt noch ein dritter mit Warmwasser für das Abtauen). Die Investitionskosten für diese Ammoniak-Supermarktkühlung liegen nach Auskunft des Einrichters Stal Astra zwar höher als für eine H-FCKW-22-Kälteanlage. Im Energieverbrauch und den Betriebskosten sei aber kein Unterschied (Die KÄLTE und Klimatechnik 9/1994, 704-706). In Deutschland hat dieses Beispiel allerdings bislang noch nicht weiter Schule gemacht.

Zwar gleichfalls nur langsam, aber schneller als Ammoniak, breiten sich in Supermärkten Kombinationen aus FKW-134a für die Normal- und FKW-Kältemischungen wie R 404A für die Tiefkühlung aus. Die Haupttendenz in der R 502-Tiefkühlung ist aber kurzfristig noch H-FCKW-22, und erst langfristig dürften sich die chlorfreien Kältemischungen im mittleren Leistungsbereich, den die Gewerbekälte darstellt, behaupten.

Ebenfalls nur gering ersetzt wird gegenwärtig noch das Standard-Kältemittel der Gewerbekühlung: H-FCKW-22. Es hat durch die Übernahme der Rolle von R 502 im Verbrauch sogar zugenommen. Zwar werden auch hier chlorfreie FKW-Mischungen angeboten, die in völlig neuen Anlagen auch zum Zuge kommen. Doch die Möglichkeit, H-FCKW-22 in Neuanlagen bis zum Jahre 2000 einzusetzen und in Altanlagen auch noch danach, hemmt die Bereitschaft, sich bereits jetzt umfassend auf einen neuen Lösungsvorschlag der Großchemie einzulassen. Dieser heißt vor allem R 407C und stammt von Du Pont und ICI, die sich sogar über die Patentrechte streiten.

Die Entscheidungsunsicherheit in der Frage des Ersatzes von H-FCKW-22 ist noch groß. Sie gibt andererseits dem klassischen Ammoniak eine Chance, sich auch im Bereich der mittelgroßen Lebensmittelkühlung, wo es wegen seiner Giftigkeit bisher verpönt war, zu bewähren.

Insgesamt ergibt sich 1195 für die Gewerbekühlung ein Kältemittelverbrauch von 3 960 Tonnen: 100 Tonnen FCKW-12, 50 Tonnen FCKW-115, 3 300 Tonnen H-FCKW-22, 405 Tonnen FKW-134a und 105 Tonnen FKW-Kältemischungen.

3 Industriekälte

Zur Industriekälte zählen weder betriebliche Haushaltskühlschränke noch Raumklimaanlagen, sondern ausschließlich für die Fertigung oder Lagerung von Industrieprodukten notwendige Kälte- und Klimatisierungsprozesse. Der Verbrauch organisch-synthetischer Kältemittel ist niedriger als in der gewerblichen Nutzung und liegt in der Größenordnung der Kältemittelmenge für Fahrzeugklimaanlagen. Es sind jährlich über 2 000 Tonnen erforderlich:

Tab. 5: Inländischer Kältemittelbedarf für Industriekälte 1995 in Tonnen (ohne NH₃)							
	R 12	R 22	R 115*	R 134a	R 23	FKW-Blends	gesamt
Emissionsersatz	50	900	50	20	0	5	1025
Neufüllung	0	600	0	280	50	100	1030
Gesamtverbrauch	50	1500	50	300	50	105	2055

*FCKW-115 kommt nur als Bestandteil der azeotropen Mischung R 502 vor, woran er zu 51,2 Prozent beteiligt ist; die übrigen 48,8 Prozent sind H-FCKW-22, die in der Tabelle dem reinen H-FCKW-22 zugerechnet werden.

Die Industriekälte läßt sich in sechs Hauptgruppen unterscheiden:

1. **Kühlhäuser:** Normal- und tiefgekühlte Gebäude für die Zwischenlagerung vor und nach der Verarbeitung.
2. **Schlachthöfe und Fleischverarbeitungsindustrie:** Kühlhaltung und Gefrieren von Schlachtfleisch auf verschiedenen Verarbeitungsstufen.
3. **Getränkeindustrie, insbesondere Brauereien:** Kühlung der Rohstoffe, des Gärprozesses und der fertigen Getränke in den Tanks, Fässern und Flaschen.
4. **Sonstige Nahrungs- und Genußmittelindustrie:** Neben Kühlung von Rohstoffen wie Schokolade in der Süßwarenindustrie oder Rohstoffen und Fertigwaren wie in Molkereien in der Hauptsache Einfrieren und Tiefkühlen von Tiefkühlkost aller Art durch Schockfrostern u. dgl.
5. **Chemische Industrie:** Neben Kühlung von Ausgangsstoffen und Endprodukten sind diverse Kälte- und Gefrierprozesse bei chemischen Reaktionen z.B. zur Wärmeabführung erforderlich.
6. **Sonstige Industrie:** In dieser Sammelgruppe sind alle übrigen Kühl- und Gefrierprozesse vereinigt, die außerhalb der Lebensmittel- und Chemieindustrie für Produktion und Lagerung stattfinden. Es handelt sich um ein breites und vielgestaltiges Spektrum von kältetechnischen Verfahren, das von der Entfeuchtung betrieblicher Druckluftsysteme und der Kondensation zwecks Abluftfilterung von Schadstoffen über Klimakammern zur Materialprüfung bis zum Kältetunnel in der Autoindustrie reicht.

Das Hauptkältemittel in der Industrie ist mit ca. 3 500 Tonnen Jahresverbrauch bzw. 60 Prozent des Gesamt-Kältemittelverbrauchs aufgrund des vorherrschenden Typs leistungsstarker Großkälteanlagen bis über 2 000 kW das Ammoniak. Dessen Füllmengen reichen von 50 kg bis zu 40 Tonnen. Es ist in der Tabelle nicht enthalten, da Ammoniak direkt weder zur Zerstörung der Ozonschicht noch zum Treibhauseffekt beiträgt. Obgleich sich die Rentabilitätsgrenze für Ammoniak-Kühlung beständig nach unten in Richtung mittelgroßer Kälteanlagen verschiebt, ließe sich gegenwärtig der Ammoniak-Anteil in der Industriekälte keineswegs sofort auf 100 Prozent ausweiten. Auch innerhalb der Industrie gibt es eine Vielzahl mittlerer und kleinerer Kälteprozesse, die mit halogenierten Kältemitteln gegenwärtig meist noch wirtschaftlicher zu fahren sind, wenn - was leider gang und gäbe ist - nur die kurzfristigen Investitionskosten betrachtet werden. So werden Kühlhäuser zwar zu 70 Prozent mit Ammoniak und zu 30 Prozent mit H-FCKW-22 betrieben. In der Praxis aber benutzen die großen Mietkühlhäuser und die Logistikzentren großer Tiefkühlkosthersteller (wie etwa von Langnese) fast hundertprozentig Ammoniak, während die anderen, kleineren Kühlhäuser fast ausschließlich H-FCKW-22 verwenden und für die Zukunft chlorfreie FKW-Mischungen einplanen.

EG-Teilverbot von H-FCKW ab 2000

Erwähnt sei hier Artikel 5 der EG-Verordnung Nr. 3093/94 vom 15.12.94, ab 1. Januar 2000 die Verwendung von H-FCKW in gewissen Bereichen ganz zu verbieten, und zwar als Kältemittel in Kühlhäusern und grundsätzlich in Geräten mit einer Eingangsleistung über 150 kW, sofern, keine hindernden "Auflagen für die Verwendung von Ammoniak bestehen" (Amtsblatt der EG Nr. L 333/8 vom 22.12.94). Diese Verordnung, die an sich Ammoniak begünstigt, beflügelt andererseits die Großchemie in ihrer Eile, der Substitution von H-FCKW durch Ammoniak mit dem Einsatz chlorfreier Kältemischungen europaweit zuvorzukommen.

Die Bedarfstabelle 5 und die nachfolgende Verbrauchsprognose für Kältemittel (Tabelle 6) klammern Ammoniak aus und befassen sich nur mit den organisch-synthetischen Kältemitteln.

Tab. 6: Verbrauchsprognose für Kältemittel nach Industriebereichen							
Schätzwerte 1995 in Tonnen (ohne NH₃)*							
	R 12	R 22	R 115**	R 134a	R 23	FKW-Blend	gesamt
Kühlhäuser		220				20	240
Fleischverarbeitung		170	15			10	195
Brauereien	15	165		85		10	275
Gefrierkost	10	380	10	40	20	20	480
Chem. Industrie	10	260	10	40	20	35	375
Sonst. Industrie	15	305	15	135	10	10	490
Gesamtverbrauch	50	1500	50	300	50	105	2055

* Emissionsersatz und Neubefüllung

**FCKW-115 kommt nur als Bestandteil der azeotropen Mischung R 502 vor, woran er zu 51,2 Prozent beteiligt ist; die übrigen 48,8 Prozent sind H-FCKW-22, die in der Tabelle dem reinen H-FCKW-22 zugerechnet werden.

Die Aufstellungen zeigen folgendes:

Wie in der Gewerbekälte ist auch in der industriellen Anwendung H-FCKW-22 mit drei Viertel der Verbrauchsmenge das synthetische Standardkältemittel, da es im industriellen Leistungsbereich eine bessere volumetrische Kälteleistung als FCKW-12 und dessen Nachfolger FKW-134a erbringt. Letzterer kommt vor allem im Normalkühlbereich und in industriellen Prozeßklimatisierungen zum Zuge. Im Tiefkühlbereich wurden früher R 502 und im - kleinen - Anwendungsbereich extrem tiefer Temperaturen bis unter -100 °C (Schockfrost) FCKW-13 und der bromierte FKW-13 B 1 (Halon) eingesetzt. Als Ersatz für FCKW-13 steht der chlorfreie FKW-23 (extrem hohes GWP!) zur Verfügung. R 23 muß kaskadenförmig in mehreren Stufen betrieben werden, während R 502 zum Teil durch zweistufige Verdichtung von H-FCKW-22 ersetzt wurde und mittlerweile auch durch chlorfreie FKW-Blends. Zum Einsatz bei extrem hohen Arbeitstemperaturen wie z.B. in Krankkabinen in Stahlwerken oder Kokereien möchte die Hoechst AG den von ihr entwickelten FKW-227 (GWP_{20a}: 4500) am Markt einführen. Die Mengen sind allerdings für den hier betrachteten Zusammenhang belanglos. Zu beachten gilt bei unserer Aufstellung besonders, daß auch das Ammoniak ausgeklammert ist, obwohl es mit Ausnahme der "sonstigen Industrie" überall das Hauptkältemittel ist.

Es fällt auf, wie sehr die Industriekälte vom Lebensmittelsektor bestimmt ist. Darauf entfallen 50 bis 60 Prozent (in vorliegender Schätzwerttabelle 57 Prozent) der Kältemittel, nämlich 10 Prozent auf Fleischverarbeitung, 13 Prozent auf Brauereien, 22 Prozent auf Tiefkühlkostindustrie und 12 Prozent auf die hauptsächlich für Lebensmittellagerung bestimmten Kühlhäuser. In der Chemischen Industrie werden 19 Prozent und in der übrigen Industrie 24 Prozent verbraucht - alles Schätzwerte aufgrund eigener Recherchen der Autoren.

Insgesamt ergibt sich für die Industriekälte ein Bedarf an halogenierten Kältemitteln im Umfang von 2 055 Tonnen: 20 Tonnen FCKW-12, 50 Tonnen FCKW-115, 1 500 Tonnen H-FCKW-22, 300 Tonnen FKW-134a, 50 Tonnen FKW-23 und 105 Tonnen FKW-Mischungen.

4 Fahrzeugklima (mobile Klimaanlage)

Klimatisiert werden Pkws, Busse, Lkw-Fahrerhäuser, Eisenbahnwaggons und Schiffe (die sog. Transportkälte - Kühl-Lkws, -Container etc. - wird gesondert betrachtet; s. unter 6). Eingesetzt werden bisher ausschließlich synthetische Kältemittel, wobei deren Hauptverbrauch auf die stetig wachsenden Pkw-Klimaanlagen entfällt.

Tab. 7: Inländischer Kältemittelbedarf für Fahrzeugklima 1995 in Tonnen				
	R 12	R 22	R 134a	gesamt
Emissionsersatz	530	6	128	664
Neufüllung	0	4	1378	1382
Gesamtverbrauch	530	10	1506	2046

4.1 Pkw-Klimaanlagen

Seit Ende 1993 benutzen alle deutschen Automobilhersteller für Neuwagen statt FCKW-12 den chlorfreien FKW-134a. Auch neue Importautos sind mittlerweile mit 134a ausgerüstet, so daß ozonschichtschädigende Emissionen nur noch von den vor 1994 zugelassenen klimatisierten Pkws ausgehen. Dies sind immer noch sehr viele, nämlich fast 2 Millionen Fahrzeuge, so daß der Pkw nach der Asthmatherapie heute die zweitstärkste Quelle für ozonschichtzerstörende FCKW-Emissionen ist.

Zeolith, CO₂, Isobutan als mögliche Nachfolger von 134a

Die Zahl der möglichen Alternativen zu FKW-134a ist gerade bei Pkw-Klimaanlagen recht groß. Zwar ist kurzfristig nicht mit einer breiten Abkehr von diesem Klimagas seitens der Autoindustrie zu rechnen. Doch außer den bereits in unserer früheren Greenpeace-Studie (Der FCKW-Ausstieg ist möglich. Sofort!, Hamburg 1992) dargestellten klimaneutralen Verfahren wie Adsorptionsanlagen mit dem Stoffpaar Zeolith-Wasser, die bei BMW weiter in Erprobung sind, werden z. Zt. mittel- bis langfristig Kompressionsanlagen mit CO₂ bzw. Isobutan wieder stärkere Chancen eingeräumt, 134a abzulösen. Beim unbrennbaren CO₂ besteht das Hauptproblem in der technischen Beherrschung von Drücken, die mit über 100 bar vier Mal so hoch sind wie bei konventionellen Verdichteranlagen. Beim brennbaren Isobutan muß durch neuartige konstruktive Auslegung der Anlage gewährleistet werden, daß kein Gas ins Fahrzeuginnere dringt. Für Automobile mit ohnehin über 50 Liter explosiblen Kraftstoffs an Bord dürften zusätzliche 350 Gramm Isobutan keine unlösbare Herausforderung darstellen. "Hochoxplisiv" wäre eine Abkehr der Autoindustrie von FKW-134a allerdings für die Chemische Industrie.

Die Autoindustrie erklärt, daß sie mit der Umrüstung auf neue Klimaanlagen auch die hohen Betriebsemissionen der alten "minimiert" habe (VDA-Presseerklärung, 6.1.94) und damit einen "weiteren Beitrag zum Klimaschutz" leiste. Eine Emissionsreduzierung war in der Tat erforderlich. Mindestens 20 Prozent der Füllmenge entweichen jährlich bei FCKW-12-Klimaanlagen. Dies ist teils konstruktions-, teils materialbedingt: Pkw-Klimaanlagen sind keine hermetisch geschlossenen Systeme, sondern die Verdichter werden vom Fahrzeugmotor angetrieben, dessen Vibrationen sie ausgesetzt sind, und befördern das Kältemittel in flexiblen Leitungen (Schläuche) durch den Kältekreislauf. Da bei Reparaturen und Wartungen früher das ganze restliche Kältemittel abgelassen wurde, betragen damals die jährlichen Betriebsverluste im Durchschnitt sogar 30 Prozent.

Wachsende Kritik aus der Öffentlichkeit führte dazu, daß heute die Reparatur- und Wartungsverluste durch Zwischenabsaugung verringert und bei den neuen FKW-134a-Anlagen diffusionsdichtere Schläuche und bessere Abdichtungen eingesetzt wurden. Auch die Füllmengen der Anlagen wurden verringert - im Durchschnitt von 1,3 kg auf 940 Gramm, was allerdings z.T auf das geringere spezifische Gewicht von FKW-134a zurückzuführen ist und zweitens auch darauf, daß immer mehr kleinere Wagen klimatisiert werden. Deutschlands größter Hersteller von Autoklimaanlagen, die Fa. Behr in Stuttgart-Feuerbach, sah es als Ziel an, die Betriebsverluste pro Klimaanlage während ihrer zehnjährigen Lebensdauer auf einen Liter, d.h. 1,2 kg FKW-134a zu beschränken (M. Nonnenmann auf der Sitzung der Enquêtekommision "Schutz des Menschen und der Umwelt", Bonn, 3./4.12.1992).

Es werden hier für FCKW-12-Anlagen jährliche Undichtheitsraten von 20 Prozent und für FKW-134a-Anlagen von 12 Prozent angenommen. Diese Werte sind gewiß maßvoll angesetzt.

Tab. 8: Auswahl Klimaanlage-Füllmengen und Klimatisierungsquoten 1994		
Modell	Füllmenge in Gramm	Klimatisierungsquote ab Werk
VW-Golf	825	23 Prozent
Opel Vectra	800	8 Prozent
Ford Escort	780	10 Prozent
Audi 80	725	23 Prozent
BMW 5er	1550	60 Prozent
Mercedes S	1050	100 Prozent

nachrichtlich: Durchschnittsfüllmenge (gewichtet): 940 Gramm (Eigenberechnungen).

1989 waren erst 14 Prozent der in deutschen Autofabriken montierten PkW mit einer Klimaanlage ausgerüstet worden, von denen die meisten in den Export gingen, so daß die Inlandsquote nur 6 Prozent der Neuzulassungen betrug. Doch seitdem haben die deutschen Autofahrer einen intensiven Drang nach Klimatisierung ihres Fahrzeugs entwickelt. 1994 wurden schon 28 Prozent aller neuprouzierten Autos klimatisiert ausgeliefert, und diese Verdopplung geht hauptsächlich auf ins Inland verkaufte Wagen zurück. Nicht nur Mercedes, BMW und Audi werden heute mit Klimaanlage angeschafft, sondern Deutschlands meistverkauftes Modell, der "klassenlose" VW-Golf, hat gegenwärtig einen Klimatisierungsgrad von 23 Prozent (Werksangabe). Die Hersteller erklären die neuen Verbraucherwünsche mit den "beiden letzten heißen Sommern" (!).

Tab. 9: Inländ. FKW-134a-Abfüllmengen Pkw-Klimaanlagen nach Herstellern		
Hersteller	Füllmenge	Klimatisierungsgrad aller Neu-Pkw
1. Mercedes	373 Tonnen	75 %
2. BMW	327 Tonnen	43 %
3. VW	316 Tonnen	22 %
4. Audi	123 Tonnen	37 %
5. Opel	94 Tonnen	11 %
6. Ford	54 Tonnen	11 %
7. Porsche	3 Tonnen	92 %
Summe:	1300 Tonnen	28 %

Nach Herstellerangaben und eigenen Recherchen füllten 1994 die deutschen Autohersteller 1300 Tonnen FKW-134a in ihre werkseitig eingebauten Klimaanlagen, eine Menge, die auch 1995 wieder erreicht werden dürfte.

Eine Umrüstung von FCKW-12-Altanlagen auf FKW-134a wird zwar den Autobesitzern empfohlen. Eine solche Umrüstung kommt aber praktisch nur selten vor, da sich die Autofahrer ihre Bequemlichkeit in der Sommerhitze zwar über 2 000 DM kosten lassen, für die 500 DM teure Umrüstung aber kein Geld ausgeben wollen. Emissionsersatz ist 1995 folglich für die knapp 2 Millionen FCKW-12-Klimaanlagen und die mehr als 1 Million FKW-134a-Anlagen erforderlich.

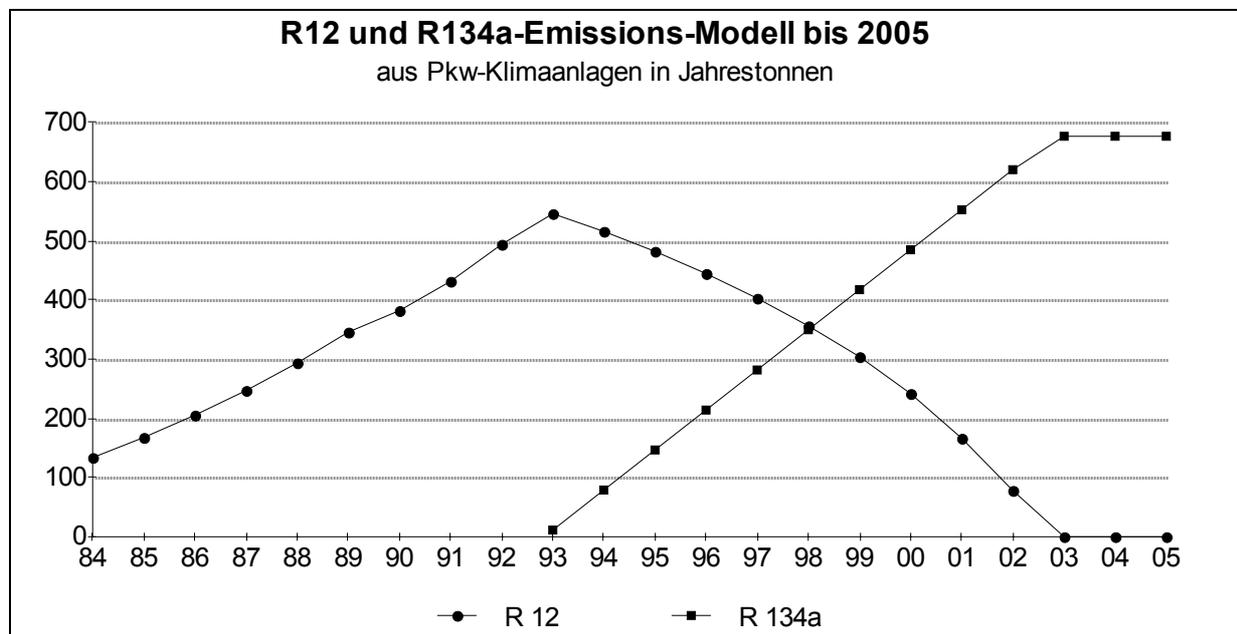


Bild 6. Emissionsszenario für Pkw-Klimaanlagen. Bei unverändertem Fortbestand der heutigen Bedingungen, nämlich erstens Verschrottung einer Pkw-Klimaanlage nach zehn Jahren Nutzung, zweitens Neuinstallation von jährlich 600 000 Klimaanlagen für das Inland mit FKW-134a, würden die FCKW-12-Emissionen noch bis zum Jahr 2003 andauern. Von da an würden sich die jährlichen FKW-134a-Emissionen bei 680 Tonnen (12 Prozent Emissionsrate) stabilisieren. Zu beachten ist, daß hier Mengen gegenübergestellt werden, deren Beitrag zur Umweltschädigung verschieden groß ist. FCKW-12 hat nicht nur den doppelten Treibhauseffekt von FKW-134a, sondern auch ein Ozonschicht-Zerstörungspotential.

Bei einer durchschnittlichen Füllmenge von 1,3 kg Kältemittel in 1,9 Millionen Altanlagen und einer Undichtheitsrate von 20 Prozent emittieren 1995 ca. 500 Tonnen FCKW-12. Bei einer mittleren Füllmenge von 940 Gramm in fast 1,1 Millionen Neuanlagen und einer Undichtheitsrate von 12 Prozent emittieren 1995 ca. 120 Tonnen FKW-134a.

Insgesamt beträgt der Kältemittelverbrauch 1995 für Pkw-Klimaanlagen 1 920 Tonnen: 500 Tonnen FCKW-12 und 1 420 Tonnen FKW-134a

4.2 Bus- und Lkw-Klima

In Deutschland gibt es ca. 80 000 zugelassene **Kraftomnibusse**, davon etwa 40 Prozent Reisebusse und 60 Prozent Linienbusse. Linienbusse werden erst seit Beginn der 90er Jahre mit Klimaanlagen ausgestattet, ihr Klimatisierungsgrad (Neuproduktion) liegt z.Zt. bei 5 bis 10 Prozent. Dagegen wurden Reisebusse in den alten Bundesländern schon vor 1990 zu 60 Prozent klimatisiert, heute liegt die Ausstattungsquote bei über 90 Prozent der Neuproduktion (Ausk. Fa. Kässbohrer, Ulm). Seit Mitte 1992 werden neue Busklimaanlagen mit FKW-134a befüllt, obwohl

FCKW-12 bis Ende 1993 zugelassen war (mobile Kälteanlage ab einer Kältemittelmenge von 5 kg). Die Füllung beträgt 10 bis 14 kg Kältemittel (Ausk. Fa. Süttrak, Renningen) - im Durchschnitt 12 kg.

Von den 21 000 klimatisierten Omnibussen im Inland haben 15 000 eine FCKW-12-Anlage und 6 000 eine FKW-134a-Anlage. Die Undichtheitsrate ist geringer als bei den Pkw. Sie wird für Altanlagen auf 14 und für Neuanlagen auf 9 bis 10 Prozent geschätzt. Folglich emittieren 1995 etwa 25 Tonnen FCKW-12 und 6 Tonnen FKW-134a.

Von den pro Jahr 12 000 neu produzierten Bussen (darunter 40 Prozent für den Export) werden etwa 5 000 klimatisiert. Dafür ist eine Neufüllmenge von 60 Tonnen FKW-134a erforderlich.

Obwohl unter den Autofahrern die Krafffahrer am meisten in der Sommerhitze schwitzen, werden **Lkw-Fahrerkabinen** kaum klimatisiert.

Insgesamt sind von 1,6 Mio. zugelassenen Lkw nur 1 bis 2 Prozent mit einer Klimaanlage versehen. Lediglich bei für internationale Ferntransporte bestimmten Neufahrzeugen über 16 Tonnen Gewicht gibt es einen nennenswerten Klimatisierungsgrad. Von den neu produzierten 16-Tonnern werden seit Ende 1993 ca. 14 Prozent mit einer FKW-134a-Anlage (Füllgewicht: 1,5 kg) ausgerüstet (Ausk. Fa. Webasto, Stockdorf).

Bei inländischen Lkw ist mit ca. 25 000 Klimaanlagen zu rechnen, davon zwei Drittel FCKW-12-Anlagen und ein Drittel Anlagen mit FKW-134a. Der Emissionsersatz beträgt knapp 5 Tonnen FCKW-12 und 2 Tonnen FKW-134a. Für 10 000 Neubefüllungen werden 1995 ca. 15 Tonnen FKW-134a gebraucht.

Tab. 10: Verbrauchsprognose für Kältemittel für Fahrzeugklima				
Schätzwerte 1995 in Tonnen*				
	R 12	R 22	R 134a	gesamt
Pkw-Klima	500		1420	1920
Bus-und Lkw-Klima	< 30		83	113
Eisenbahn-Klima	< 0,5		3	3
Schiffsklima		10		10
Gesamtmenge	530	10	1506	2046

* Emissionsersatz und Neubefüllung

Insgesamt beträgt der Kältemittelverbrauch 1995 für Klimaanlagen in Omnibussen und Lkw-Fahrerkabinen etwa 113 Tonnen: knapp 30 Tonnen FCKW-12 und 83 Tonnen FKW-134a

4.3 Eisenbahnklima

Die Deutsche Bahn AG verfügte am 1.1.1995 über 2 069 klimatisierte Personenwaggons, davon 700 im ICE. Sie sind überwiegend noch mit jeweils 18 kg FCKW-12 ausgerüstet. Die Umrüstung auf FKW-134a wurde 1994 begonnen: 259 Reisewagen sind bereits soweit. Jährlich werden im Rahmen der Wartung 180 weitere Waggons auf FKW-134a umgestellt. (Ausk. Hauptverwaltung Frankfurt.) Langfristig, d.h. ab dem ICE 2/2, der ab 1998 fahren soll, will die Bahn als Kältemittel Luft einsetzen.

Die Klimatisierung mit Luft erfolgt nach dem gleichen Verfahren, wie stehende Flugzeuge bei ausgeschaltetem Triebwerk klimatisiert werden. Es ist somit kein Zufall, daß die luftgestützte ICE-Klimaanlage von der Dornier Luftfahrt GmbH entwickelt wird. Luft wird durch Druck (von 1 auf 2 bar) erhitzt, und die Wärmeabfuhr der sich entspannenden Druckluft erzeugt Kälte. Diese Kälteerzeugung ohne den Phasenwechsel flüssig-gasförmig ist für sich genommen energetisch ungünstig. Der Nachteil kann aber per Saldo durch Energieeinsparungen infolge niedrigeren Anlagengewichts und bei hohem Durchsatzvolumen kompensiert werden (Ausk. FKW Hannover).

In den Fernverkehrszügen der Bahn fahren 1 810 Reisewagen mit 32 Tonnen FCKW-12 und 259 Wagen mit 4,5 Tonnen FKW-134a mit. Die Undichtheitsverluste liegen bei weniger als einer halben Tonne jährlich.

Für die Neubefüllung von 180 Wagen werden im Laufe des Jahres 3 Tonnen FKW-134a benötigt.

Der Kältemittelverbrauch für Eisenbahnklima geträgt 1995 etwa 3,5 Tonnen: Knapp 0,5 Tonnen FCKW-12 und 3 Tonnen FKW-134a.

4.4 Schiffsklima

Das Standardkältemittel für Schiffsklimaanlagen (Frachter) ist wegen der Größe der zu klimatisierenden Mannschafts-Räume H-FCKW-22. Die durchschnittliche Füllmenge pro Schiff beträgt nach Auskunft des Marktführers Noske-Kaeser in Hamburg (zu Blohm+Voss gehörig) rd. 100 kg. Klimatisiert sind nach Auskunft des Verbandes deutscher Reedereien, Hamburg, ca. 1 000 Frachter im Dienst deutscher Reedereien (nicht identisch mit deutscher Flagge!) und 100 mittelgroße Marineschiffe (14 Marineschiffe, nämlich Zerstörer, sind so groß, daß sie wie Bürohochhäuser mit Turbo-Kaltwassersätzen auf Basis von FCKW-11 klimatisiert werden; sie werden nicht hier, sondern beim stationären Klima in Abschnitt 5.1 mitgerechnet). Aus diesem Kältemittelvorrat von 110 Tonnen entweichen jährlich mindestens 5 Prozent bzw. 6 Tonnen. Auch für Neubauten wird immer noch H-FCKW-22 eingesetzt. Bei 40 jährlichen Schiffsneubauten mit Klimaanlagen von deutschen Werften werden für Neubefüllungen weitere 4 Tonnen H-FCKW-22 benötigt.

Für Schiffsklimatisierung werden 1995 etwa 10 Tonnen Kältemittel verbraucht: 10 Tonnen H-FCKW-22.

5 Gebäude- und Raumklima

Die Klimatisierung von stationären Innenräumen außerhalb der Industrie läßt sich in Groß-, Mittel- und Kleinanwendung unterscheiden. Die Kältemittelbilanz für Emissionsersatz und Neufüllung sieht wie folgt aus, wobei am kritischsten die Emissionsmengen des vollhalogenierten FCKW-11 sind.

Tab. 11: Inländischer Kältemittelbedarf stationärer Klimaanlage 1995 in Tonnen						
	R 11	R 12	R 22	R 123	R 134a	gesamt
Emissionsersatz	35	2	22	28	0	87
Neufüllung	0		45	0	45	90
Gesamtverbrauch	35	2	67	28	45	177

5.1 Großklimaanlagen

Großklima betrifft den Leistungsbereich von 700 bis 3 000 kW, der meist durch Turbokältemaschinen mit Kaltwasser-Umlauf bedient wird. Anwendungsgebiete sind Bürohochhäuser, Museen, Kaufhäuser, Großsporthallen, Messehallen, Konzertsäle, Opernhäuser u.s.w.

Die energetisch günstigen und preiswerten Turbomaschinen, von denen im Inland rd. 2 000 installiert sind und jährlich etwa 100 neugebaut werden, arbeiteten früher zu neunzig Prozent mit FCKW-11, der wegen seines hohen Siedepunktes mit Unterdruck gefahren wurde. Infolge des Unterdrucks sind jedoch nicht nur Leckagen schwerer festzustellen, sondern es dringt Luft in die Anlage hinein. Die regelmäßig erforderliche Entlüftung ist der Grund für die früher relativ großen jährlichen Kältemittelverluste von über 13 Prozent der Füllmenge (Ausk. Fa. York International). Durch Warnsensoren und verbesserte Entlüftungsaggregate und Wartung konnten die Emissionen auf etwa 7 Prozent gesenkt werden.

Seit dem Verbot von FCKW-11 in Neuanlagen (1.1.1992) wurden diese zunächst vornehmlich mit dem physikalisch verwandten H-FCKW 123 befüllt, der ebenfalls (hoher Siedepunkt) im Niederdruck mit großen Kältemitteldurchsätzen betrieben wird. Auch viele FCKW-11-Anlagen wurden umgerüstet, so daß die 1 800 Niederdruck-Anlagen heute zu zwei Dritteln mit FCKW-11 und zu einem Drittel mit H-FCKW-123 befüllt sind. 1995 ist wegen der künftigen Versorgungsunsicherheit mit FCKW-11 mit einer Umstellung von mindestens 200 weiteren Altanlagen auf H-FCKW-123 zu rechnen - obwohl dieser Stoff krebserregend ist

Die durchschnittliche Füllmenge pro Anlage beträgt ca. 500 kg. Der Ersatzbedarf für Kältemittellemissionen beträgt 1995 für die nicht umgestellten Altanlagen 35 Tonnen FCKW-11 und für die umgestellten Altanlagen 28 Tonnen H-FCKW-123.

Zehn Prozent der Großklimaanlagen, somit 200, werden im Hochdruck betrieben, und zwar mit FCKW-12. Davon sind etwa 20 Stück bereits auf FKW-134a umgerüstet. (Ausk. Fa. Sulzer-Escher-Wyss, Lindau). Die Emissionsrate liegt bei 2 Prozent, so daß weitere 2 Tonnen FCKW-12 als Nachfüllbedarf benötigt werden.

Neuanlagen werden nicht mehr mit FCKW-11 und FCKW-12, aber auch kaum mehr mit H-FCKW-123 befüllt. Das Hauptkältemittel ist FKW-134a geworden. Aber auch

Ammoniak, das in der Industrieklimatisierung stark vertreten ist, wird mehr und mehr für Bürohochhäuser eingesetzt. Zwar ist die preiswerte Turboverdichtung hier nicht möglich, sondern es ist Schraubenverdichtung erforderlich. Aber eine Kälteleistung von 1000 kW erfordert heute nicht mehr 500 kg, sondern nur noch 50 kg Füllmenge (Ausk. Fa. Sulzer-Escher-Wyss), so daß Bedenken wegen Platzmangel und mangelnder Sicherheit zurücktreten. Grundsätzlich wäre die gesamte Großklimatisierung mittels Ammoniak durchführbar, da lediglich die Investitionskosten, nicht aber laufende Betriebskosten oder Energieaufwand höher als bei FKW-134a sind. Von 100 jährlich neugebauten Großklimaanlagen werden mittlerweile zehn mit Ammoniak betrieben (vgl. auch Die KÄLTE und Klimatechnik 7/1994, 452 ff.).

Die Menge für die Befüllung von 90 Neuanlagen im Großklimabereich auf Basis von FKW-134a beträgt 1995 etwa 45 Tonnen.

Insgesamt ergibt sich 1995 für Großklima ein Kältemittelbedarf von 110 t: 35 t FCKW-11, 2 Tonnen FCKW-12, 28 Tonnen H-FCKW-123 und 45 Tonnen FKW-134a.

Tab. 12: Prognose Kältemittelverbräuche stationäres Klima (o. NH₃)						
Schätzwerte 1995 in Tonnen*						
	R 11	R 12	R 22	R 123	R 134a	gesamt
Großklima	35	2		28	45	110
Mittelklima			57			57
Raumklima			10			10
Gesamtmenge	35	2	69	28	45	177

* Emissionsersatz und Neufüllung

5.2 Mittlere Klimaanlagen

Mittelklima meint den Leistungsbereich von 5 bis 700 kW Kälteleistung. Hierfür werden Kolbenverdichter eingesetzt - zu 70 Prozent mit Kaltwassersatz und zu 30 Prozent in Direktverdampfung. Als Kältemittel überwiegt H-FCKW-22, auch FCKW-12/FKW-134a kommen vor. (Aus Vereinfachungsgründen wird hier nur H-FCKW-22 als Kältemittel einbezogen.) Anwendungsgebiete: Rechenzentren, Krankenhausstationen, Bankhallen, Kirchen, Fabrikräume, Versammlungsräume, Hotels, Restaurants, Kinos, Sporthallen, Schulen, Handwerksräume usw.

Die mittelgroßen Klimaanlagen arbeiten nicht im Niederdruck und meist mit hermetisch geschlossenen Verdichtern. Darum liegen die Kältemittelverluste bei lediglich 2 Prozent jährlich. Die Füllmenge, die von 1 kg bis 60 kg reicht, liegt im Mittel bei 30 kg. Die jährlichen Emissionen belaufen sich bei etwa 20 000 installierten Anlagen (Ausk. Fa. Carrier, Frankfurt) demnach auf 12 Tonnen H-FCKW-22.

Der Neubau beträgt jährlich ca. 1 500 Anlagen, die noch, trotz Versuchen mit chlorfreien Kältemischungen, mit H-FCKW-22 befüllt werden, und zwar mit 45 Tonnen.

Der Kältemittelverbrauch für mittlere Klimaanlagen liegt 1995 bei 57 Tonnen H-FCKW-22.

5.3 Raumklimageräte

Kleinklima ist identisch mit Raumklima. Der Leistungsbereich liegt unter 5 kW. Dabei handelt es sich entweder um Kompaktgeräte innerhalb des Wohn- bzw. Arbeitsraums oder um Splitgeräte aus einer Innen- und einer Außenkomponente (am Fenster), die miteinander verbunden sind.

Die in Deutschland verkauften Raumklimageräte stammen zu fast 100 Prozent aus dem Ausland, und zwar überwiegend aus Japan. Damit entfallen inländische Neubefüllungen. Dennoch gibt es Undichtigkeiten und folglich Reparatur-Nachfüllungen. Die Undichtheitsrate ist allerdings nicht groß und liegt bei 1 Prozent jährlich. Das Kältemittel ist ausschließlich H-FCKW-22. Durchschnittliche Füllmenge: 1,5 kg. (Ausk. Fa. Polenz, Büro Frankfurt). Der Anlagenbestand wird auf 500 000 Stück geschätzt, so daß ein Emissionsersatz von knapp 10 Tonnen besteht.

In Erprobung befinden sich chlorfreie Kältemischungen. Von der Firma Polenz ausgelieferte Geräte werden z.B. mit dem FKW-Blend R 407 C von ICI (Klea 66) getestet. Die FKW-Mischungen spielen 1995 aber noch keine große Rolle bei neu verkauften Geräten.

Der Kältemittelbedarf für Raumklimageräte liegt 1995 bei 10 Tonnen H-FCKW-22.

6 Transportkälte

Unter Transportkälte wird der Kältemittelbedarf zusammengefaßt, den Kühlcontainer, Kühl-Lkw, Kühlwaggons und Kühlschiffe verursachen, soweit die Transportkühlung durch inländische Unternehmen veranlaßt wird. Mit anderen Worten: Kühlcontainer, in denen deutsche Reedereien Kühlgut befördern lassen, werden hier mitgezählt, unabhängig davon, unter welcher Flagge die Containerschiffe aus finanziellem Kalkül heraus fahren. Die Transportkühlung braucht 1995 voraussichtlich folgende Mengen von Kältemitteln:

Tab. 13: Inländischer Kältemittelbedarf für Transportkühlung 1995 in Tonnen						
	R 12	R 22	R 115*	R 134a	FKW-Blends	gesamt
Emissionsersatz	25	22	2	6	0	55
Neufüllung	0	11	0	38	4	53
Gesamtverbrauch	25	33	2	44	4	108

*FCKW-115 kommt nur als Bestandteil der azeotropen Mischung R 502 vor, woran er zu 51,2 Prozent beteiligt ist; die übrigen 48,8 Prozent sind H-FCKW-22, die in der Tabelle dem reinen H-FCKW-22 zugerechnet werden.

6.1 Kühlcontainer

Zur See, auf der Straße und auf der Schiene wird die Hauptmasse der Kühl- und Gefriergüter heute mit international standardisierten Containern transportiert. Deren Eigentümer sind Schiffsreedereien oder große Vermietungsgesellschaften. Die Standardisierung bezieht sich auf die Größe: 8 Fuß breit, 8,6 Fuß hoch, 20 Fuß lang ergeben eine "TEU" (Twenty-Foot Equivalent Unit; 1 foot = 0,3048 Meter). Der Hauptvorteil der - mit PU-Schaum wärmeisolierten - Container: Ohne Umladen

kann die Ware vom Schiff direkt auf einen Eisenbahnwaggon und/oder einen Lkw umgesetzt werden, der sie zur Zwischenlagerung in ein zentrales Kühlhaus oder zur Vorratslagerung in die Kühlräume eines Supermarktes weiterfährt. Die Kühlcontainer der ersten Generation wurden zum Tiefkühltransport eingesetzt, die zweite Generation für den Fruchttransport (K.-H. Hochhaus in euromodal 1/94).

Zwei Hauptformen von Kühl-Containern haben sich herausgebildet.

- **Kühl-Container ohne eigenes Kälteaggregat (Porthole-Container)**

Sie werden auf speziellen Kühlcontainer-Schiffen an bordinstallierte Kältemaschinen angeschlossen, die Kaltluft in die Container blasen. Den weiteren Transportweg ab Hafen legen diese Isoliercontainer auf Lkws meist ungekühlt zurück. Mitunter, d. h. bei längerer Transportzeit, wird ihnen an Land ein Kühlaggregat (Clip-on) angehängt. Der Seetransport findet auf Containerschiffen statt, die für die Aufnahme von Porthole-Containern über besondere Kühl-Stellplätze (neben anderen Stellplätzen) verfügen. Nach Auskunft der Reederei "Hamburg-Süd", die von den deutschen Reedereien die meisten Kühlcontainerschiffe unter Vertrag hält, fahren über 30 derartige Schiffe in deutschem Auftrag (nicht identisch mit "unter deutscher Flagge").

Die durchschnittliche Kältemittelfüllung pro Schiff beträgt 1 000 kg H-FCKW-22, was einen Gesamtbestand von 30 Tonnen ausmacht. Die Undichtheitsrate beträgt zehn Prozent. Daraus ergibt sich ein jährlicher Emissionsersatz von 3 Tonnen H-FCKW-22 und ein Neufüllbedarf von 1 Tonne H-FCKW-22

- **Kühl-Container mit eigenem Kälteaggregat (integrierte Container)**

Diese Behälter, welche die Hauptmasse der Kühlcontainer darstellen, verfügen an ihrer Stirnseite über eine dauerhaft befestigte Kältemaschine mit eigenem Elektro- bzw. Dieselmotor. Auf See werden sie an das elektrische Bordnetz angeschlossen, während an Land auf Dieselmotorbetrieb umgeschaltet wird. Die Kühlaggregate benötigen im Durchschnitt 5,2 kg Kältemittel (Ausk. Fa. Carrier, Rotterdam). Dabei handelte es sich bis 1993 bei Normalkühlung überwiegend um FCKW-12, bei Tiefkühlung um H-FCKW-22. Seit zwei Jahren wird statt FCKW-12 für neue Kühl-Container FKW-134a eingesetzt, während das alte Tiefkühlmittel H-FCKW-22 weiterhin auch in Neuanlagen kommt, die hauptsächlich für die Tiefkühlung bestimmt sind.

Weltweit sind etwa 330 000 Kühlcontainer in ständigem Umlauf, davon 90 000 Porthole-Container (ohne integriertes Kühlaggregat) und 240 000 integrierte Container.

Es gibt keine Statistiken darüber, wieviele Kühlcontainer dem deutschen Bedarf zuzurechnen sind, und erst recht keine Statistiken über die entsprechenden Kältemittel-emissionen und -verbräuche. Dem deutschen Anteil am Weltverkehrsaufkommen entsprechend sind 20 Prozent aber nicht zu hoch angesetzt.

Zwanzig Prozent beträgt auch der deutsche Anteil an der weltweiten jährlichen Neuproduktion. Einziger inländischer Hersteller von Belang ist die Firma Graaff in Elze, auf die von der weltweiten Jahresproduktion nach Firmenauskunft 6 000 TEU entfallen. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um integrierte Kühlcontainer für die Normalkühlung mit FKW-134a. (Nichtgekühlte, einfache Standardcontainer stammen grundsätzlich aus fernöstlicher Billigproduktion.)

Für die Neubefüllung von Kühlcontainern für den deutschen Bedarf werden ca. 32 Tonnen FKW-134a und 1 bis 2 Tonnen chlorfreier Mischungen als Kältemittel eingesetzt. Im Jahre 1995 dürften als Emissionsersatz für die dem deutschen Bedarf zuzurechnenden umlaufenden 50 000 integrierten Kühlcontainer, die zu über 20 Prozent mit FKW-134a betrieben werden (Container Management, Nov. 1994, 29), 20 Tonnen FCKW-12, 1 Tonne H-FCKW-22 und 5 Tonnen FKW-134a erforderlich sein (bei einer Undichtheitsrate von 10 Prozent).

Insgesamt ergeben sich an Verbräuchen 64 Tonnen (vgl. Tab. 14): 20 Tonnen FCKW-12, 5 Tonnen H-FCKW-22, 37 Tonnen FKW 134a und 2 Tonnen FKW-Blends.

6.2 Kühl-Lkw

In Deutschland sind etwa 36 000 Kühl-Lkw und 14 000 Kühlanhänger zugelassen. Von diesen 50 000 Fahrzeugen fahren 60 Prozent für den sogenannten Frischdienst, und 40 Prozent sind Tiefkühlfahrzeuge.

Im Frischdienst, der Molkereiprodukte, Fleisch, Getränke, Blumen, Obst und Gemüse befördert, wird normalgekühlt. Die Kälteaggregate werden über den Fahrzeugmotor betrieben, das Kältemittel war früher FCKW-12 und ist jetzt FKW-134 a. Die Füllmenge beträgt im Durchschnitt 2 kg.

Tab. 14: Prognose für Kältemittelverbräuche nach Transportformen						
Schätzwerte 1995 in Tonnen*						
	R 12	R 22	R 115	R 134a	FKW-Blends	gesamt
Kühlcontainer	20	5		37	2	64
Kühl-Lkw	5	20	2	7	2	36
Kühlwaggons		0,3				0,3
Kühlschiffe		6				6
Seefischerei		<2				<2
Gesamtverbrauch	25	33	2	44	4	108

* Emissionsersatz und Neubefüllung

Tiefkühlfahrzeuge, die in der Regel größer sind und über größere Distanzen fahren, befördern Tiefkühlkost und andere Gefrierprodukte. Die Kühlräume (Kühlkoffer) werden durch Kälteaggregate mit eigenem Dieselmotor temperiert, wobei die Füllmengen der Kälteanlagen von 2,5 bis 17 kg Kältemittel reichen. Nach Angaben des internationalen Marktführeres Thermo King (USA) und des größten inländischen Herstellers von Transportkälteaggregaten, Großkopf in Essen ("Frigoblock"), wird überwiegend H-FCKW-22 eingesetzt. In Neuanlagen gilt dies seit 3 Jahren ausschließlich - in alten Anlagen auch noch in der Mischung mit FCKW-115 als R 502. (Verbot von R 502 in Neuanlagen seit 1.1.1994.) Die durchschnittliche Anlagenfüllung beträgt 6 kg.

Die ersten Fahrzeuge mit chlorfreien Kältemischungen sind in Betrieb. In der Branche wird experimentiert, ohne daß schon über ein Standard-Ersatzmittel entschieden ist, das am dringendsten für das in Neuanlagen seit 1.1.1992 verbotene Tiefkühlmittel R 502 gebraucht wird.

Der Kältemittelvorrat in Kühlfahrzeugen beträgt im Frischdienst 60 Tonnen, davon 48 Tonnen FCKW-12 und 12 Tonnen FKW-134a; im Tiefkühlbereich 120 Tonnen, davon 100 Tonnen H-FCKW-22 und 20 Tonnen FCKW-115 (letzters als Teil von R 502). Die Undichtheitsrate liegt bei 10 Prozent. Daraus ergibt sich als Jahresbedarf für 1995:

Emissionsersatz: 5 Tonnen FCKW-12 und 1 Tonne FKW-134a im Frischdienst, 10 Tonnen H-FCKW-22 und 2 Tonnen FCKW-115 bei Tiefkühlfahrzeugen.

Neubefüllung: 6 Tonnen FKW-134a für Frischdienstfahrzeuge, 12 Tonnen Kältemittel für Tiefkühlfahrzeuge, die sich in 10 Tonnen H-FCKW-22 und 2 Tonnen FKW-Blends aufteilen.

Insgesamt ergeben sich also 36 Tonnen (vgl. Tab. 14): 5 Tonnen FCKW-12, 2 Tonnen FCKW-115, 20 Tonnen H-FCKW-22, 7 Tonnen FKW-134a und 2 Tonnen FKW-Blends.

6.3 Kühlwaggons

Die klassischen Kühlwaggons mit eigenem, dieselmotorgetriebenem Kühlaggregat sind durch den Straßentransport völlig in den Hintergrund gedrängt worden. Unter dem Dach der "interfrigo" (Sitz: Basel) lassen 26 europäische Bahnen, darunter auch die deutsche, noch ganze 253 solcher Maschinenkühlwagen über das europäische Schienennetz rollen (Stand Ende 1994). Am europäischen Gesamtverkehr hat Deutschland allerdings die Hälfte des Anteils - sowohl nach Abgangs- als auch nach Bestimmungsländern (Geschäftsbericht intercontainer-interfrigo 1993, 31). Nach Deutschland hinein bringen die Maschinenkühlwagen der Bahn an Wochenenden, wenn der LKW-Verkehr nicht darf, Obst und Gemüse aus Italien. Aus Deutschland weg gehen vor allem Lebensmitteltransporte (Fleisch, Butter, Margarine) nach der GUS. Das "interfrigo"-Hauptgeschäft, der binnendeutsche Bananentransport von Bremerhaven oder Rostock ins Landesinnere, wird nicht mit Maschinenkühlwagen, sondern lediglich in Isothermwaggons, welche eine gleichmäßige Temperatur von 12 °C garantieren, durchgeführt. Fischladungen in temperierten Waggons werden grundsätzlich mit Eis gekühlt.

Die jährliche Neuproduktion von Maschinenkühlwagen beträgt gegenwärtig ca. zehn Prozent des Bestandes: 25 Stück - ausgerüstet bei der Fa. Graaff in Elze. Dort wird als Kältemittel H-FCKW-22 eingesetzt. Die durchschnittliche Kältemittel-Füllmenge beträgt bei alten wie bei neuen Waggons 10 kg (Ausk. Schäffler, interfrigo, Basel). Die alten Waggons haben als Kältemittel je zur Hälfte H-FCKW-22 und R 500 (74% FCKW-12, 26% FKW-152a). Bei der Undichtheitsrate von 10 Prozent werden jährlich von der "interfrigo" 250 kg als Emissionsersatz gebraucht. Der Deutschland zuzurechnende Anteil beträgt entsprechend dem 50-prozentigen Anteil am Verkehrsaufkommen (125 Waggons) 125 kg jährlich. (Aufgrund der geringen Menge wird hier R 500 nicht gesondert aufgeführt, sondern bei H-FCKW-22 mitgerechnet.) Dazu kommen weitere 250 kg H-FCKW-22 Neufüllung für die in Deutschland gebauten Kühlwagen.

Insgesamt werden 1995 für Kühlwaggons etwa 0,3 Tonnen Kältemittel verbraucht, und zwar nur H-FCKW-22.

6.4 Kühlschiffe

Wie bei der Bahn spezielle Kühlwaggons, so sind auch in der Seeschifffahrt spezielle Kühlschiffe selten geworden. Von deutschen Reedereien werden z.Zt. 28 isolierte Vollkühlschiffe mit fest installierter Kühlausrüstung gehalten, darunter allerdings nur fünf unter deutscher Flagge. (Ausk. Verband deutscher Reedereien, Hamburg, Nov. 1994.) Sie transportieren vorzugsweise Südfrüchte, Frostfisch und Gefrierfleisch. Neben den Kühlschiffen gibt es auch Mehrzweckfrachter, die einzelne Stauräume als Kühlräume (maschinengekühlt) vorhalten. Die Kühlkapazität dieser teilgekühlten Schiffe (Kältemittel H-FCKW-22) ist noch geringer als die der reinen Kühlschiffe.

Die durchschnittliche Füllmenge an Kältemittel pro Vollkühlschiff beträgt 3000 kg H-FCKW-22. Die Ammoniak-Kühlung wurde vor 25 Jahren abgeschafft (Ausk. Linde AG, Hamburg). Vor kurzem hat allerdings die norwegische Reederei Lauritzen wieder ein neugebautes Vollkühlschiff mit Ammoniakkühlung unter Vertrag genommen. (Ausk. Hamburg-Südamerikanische Dampfschiffahrtsgesellschaft, Hamburg). Da H-FCKW-22 selbst unter deutscher Flagge noch bis zum Jahr 2000 erlaubt ist, werden Betriebsverluste stets wieder ersetzt, die chlorfreien Alternativen spielen noch keine Rolle. Der Emissionsersatz an H-FCKW-22 auf diesem Gebiet wird auf jährlich ca. 6 Tonnen für alle 28 von deutschen Reedereien gehaltenen Vollkühlschiffe sowie die teilgekühlten Frachter geschätzt (Gesamtvorrat an Bord: 100 Tonnen H-FCKW-22). Neufüllung entfällt mangels Neubauten.

Insgesamt erfordern Kühlschiffe einen Kältemittelverbrauch von 6 Tonnen H-FCKW-22.

6.5 Seefischereifahrzeuge

Die deutsche Hochseefischerei besaß Mitte der achtziger Jahre noch 80 "Fabrikschiffe". Anfang 1995 verfügte sie wegen der reduzierten Fangquoten (leergefischte Meere!) nur noch über 14 Stück. Die anderen Schiffe sind verkauft und z. T. abgewrackt. Der letzte Neubau eines solchen Schiffes mit eigener Kühl- und Gefrieranlage (bis minus 28 °C) auf Basis von H-FCKW-22 liegt fünf Jahre zurück. (Ausk. Verb. d. dt. Hochseefischereien, Cuxhaven.) Der Emissionsersatz beträgt weniger als 2 Tonnen H-FCKW-22. Die kleineren Fischkutter kühlen entweder gar nicht oder mit Eis.

Insgesamt 2 Tonnen H-FCKW-22 als Emissionsersatz in 1995.

II. Kunststoffschäumung

In unserer Bestandsaufnahme des FCKW-Verbrauchs für 1990/91 (Der verzögerte Ausstieg. Der FCKW-Verbrauch der bundesdeutschen Industrie 1990/91, Hamburg 1991) hieß es noch: "Am meisten braucht der Schaum". Denn als Treibmittel für Kunststoffschäume aus Polyurethan (PU) und extrudiertem Polystyrol (XPS) fungierten damals fast ausschließlich vollhalogenierte FCKW. Der größte Teil davon entfiel auf den PU-Schaum, und zwar auf Weichschaum für die Polsterindustrie, auf Integralschaum für Lenkräder, Schuhsohlen u. dgl. und vor allem auf Hartschaum als Baudämmstoff.

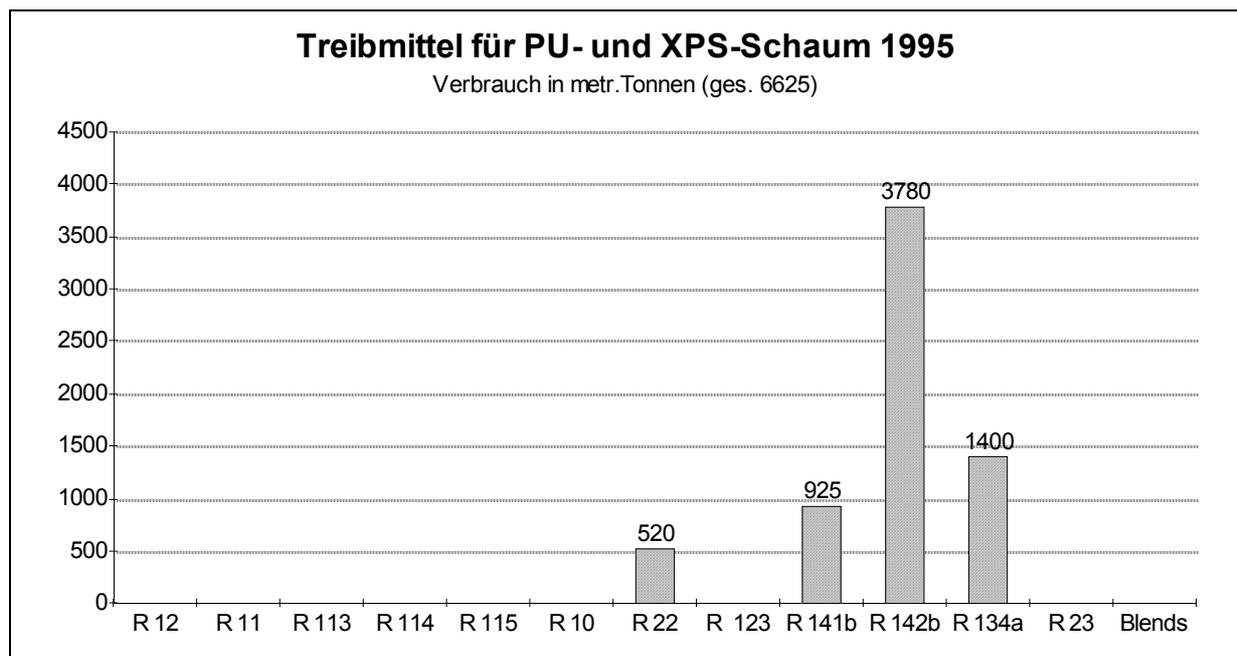


Bild 7. Während als Treibmittel für PU-Hartschaum H-FCKW weitgehend durch Pentan oder CO₂ ersetzt worden ist, wird Extruderschaum aus Polystyrol noch fast ausschließlich mit den H-FCKW-142b und -22 hergestellt. Von den 6 625 Tonnen Treibmittel entfallen 4 000 Tonnen auf diese Anwendung. Die 1 400 Tonnen FKW-134a werden für Montageschäume eingesetzt. Vollhalogenierte FCKW und FKW-Blends kommen 1995 nicht vor.

Beim PU-Schaum ist der Ausstieg aus voll- und teilhalogenierten FCKW seitdem rasch vorangekommen. 1995 werden für die verschiedenen Anwendungen von PU-Hartschaum nicht viel mehr als 1 000 Tonnen (teilhalogenierter) FCKW zum Einsatz kommen. Allerdings handelt es sich überwiegend um H-FCKW-141b, der das relativ hohe ODP 0,11 (bezogen auf FCKW-11 = 1) aufweist.

Den weitaus größten Verbrauch von (teilhalogenierten) FCKW verursacht nunmehr das Schäumen von extrudiertem Polystyrol (XPS) mit insgesamt 4 000 Tonnen. Darüberhinaus werden 1 400 Tonnen des chlorfreien Treibhausgases FKW-134a in Spraydosen für PU-Montageschaum gefüllt. (Vgl. Bild 7).

Wir gehen davon aus, daß 1995 etwa 5 225 Tonnen H-FCKW (141b, -22, -142b) für das Kunststoffschäumen verwendet werden (Bild 7 und Tab. 15). Nach dem **ODP** gewichtet entspricht das der Wirkung von **376 Tonnen FCKW-11**.

Nach **GWP** (Zeithorizont 20 Jahre) gewichtet entspricht der Beitrag der drei H-FCKW und des FKW zum Treibhauseffekt **24,4 Mio. Tonnen CO₂**. Der Hauptbeitrag zum

GWP stammt zu 69 Prozent vom Schäumen von extrudiertem Polystyrol, weil dort große Mengen der starken Treibhausgase H-FCKW 142b und 22 eingesetzt werden.

Tab. 15: Inländischer Bedarf von H-FCKW und FKW zum Schäumen von Kunststoff - 1995 in Tonnen					
	R 141b	R 22	R 142b	R134a	gesamt
<i>ODP rel. zu R 11</i>	<i>0,11</i>	<i>0,055</i>	<i>0,065</i>	-	
<i>GWP₂₀ zu CO₂</i>	<i>1800</i>	<i>4300</i>	<i>4200</i>	<i>3300</i>	
Montageschaum				1400	1400
PU-Dämmplatten	100				100
Spritzschaum	200				200
PU-Sandwichplatten	175	120*	180		475
Kühlzellenschaum	100				100
Kühlmöbelschaum	130				130
Containerschaum	150				150
Kühl-Lkw/-waggons	70				70
XPS-Schaum		400*	3600		4000
Summe	925	520*	3780	1400	6625

* H-FCKW-22 kommt beim Schäumen nur in 30- bis 40-prozentiger Mischung mit H-FCKW-142b vor. Dieser wird auch als Reinstoff eingesetzt.

Der wegen seiner Entflammbarkeit früher so gefürchtete Kohlenwasserstoff Pentan hat in kurzer Frist sowohl FCKW-11 als auch seine teilhalogenierten Nachfolger H-FCKW-22, -141b und -142b in stationären (explosionsgeschützten) Schäumen weitgehend ersetzt. Statt Pentan genügt zum Aufschäumen auch in vielen Fällen CO₂, das bei der chemischen Reaktion der PU-Rohstoffe ohnehin entsteht. CO₂ reicht bei Anwendungen aus, wo die wärmedämmende Eigenschaft des PU-Schaums keine bedeutende Rolle spielt, wie beim Weichschaum oder bei manchen Hartschäumen, z.B. Gießschaum. Pentan wird dagegen bei wärmeisolierenden Hartschäumen eingesetzt, da es als Gas in den Schaumzellen verbleibt und so den Wärmedurchgang behindert. Die Dämmwirkung ist nur geringfügig niedriger als mit H-FCKW als Treib- und Zellgasen. Sie reicht für über zwei Drittel der bisherigen Anwendungszwecke aus und kann außerdem in vielen weiteren Fällen durch stärkere Materialdicke auf die frühere Dämmleistung gebracht werden. Pentan wird auch bei Integralschäumen (Lenkradschaum) angewandt, wo es keine Wärmedämmung, sondern eine bestimmte Struktur- und Formgebung bewirken soll.

H-FCKW kommen bei PU-Hartschäumen dort noch vor, wo vom Material ein Maximum an Dämmwirkung und an Brandsicherheit (Brandklasse B 1) verlangt wird. Die Hauptanwendung sind PU-Stahl-Sandwichelemente für den Industriebau. H-FCKW kommen aber auch noch überall dort vor, wo die Anwender die Pentan- oder CO₂-Technologie entweder nicht beherrschen (Spritzschaum) oder sich finanziell wegen der erforderlichen Anlagenumrüstung bisher nicht leisten konnten.

Eine Sonderrolle beim PU-Schaum spielt der Montageschaum für den Heim- und Handwerker: Er ist das einzige Anwendungsfeld für chlorfreie FKW.

1 Polyurethanschaum

1.1 Weichschaum

Ob als Formschaum oder in Blöcken - in Deutschland kommen halogenierte Treibmittel für diese Schäume nicht mehr zum Einsatz. Auch die noch 1993 nicht ganz FCKW-freien Trennmittel bestehen heute entweder aus wäßrigen Lösungen oder aus Konzentraten von paraffinigen Kohlenwasserstoffen (high solids).

1.2 Integralschaum

Während PU-Schuhsohlen außer dem Kohlendioxid aus der Wasser-CO₂-Reaktion kein zusätzliches Treibmittel mehr brauchen, waren die Schümer von Lenkrädern und Schaltknöpfen für die Autoindustrie Anfang der 90er Jahre von FCKW-11 (vollhalogeniert) nicht auf Pentan, sondern auf H-FCKW-22 (teilhalogeniert) umgestiegen. Neue Beschlüsse aus Schweden, der Schweiz und auch aus den USA, spätestens ab 1996 keine Autos mehr in ihre Staaten importieren zu lassen, die mit ozonschichtzerstörenden Stoffen behandelt wurden (Ausk. VDA, Frankfurt; Petri AG, Aschaffenburg; FHS Stahlverformung GmbH, Dassel), zwangen die autozuliefernden Integralschümer zur erneuten Umstellung: Seit Ende 1994 werden die Lenkräder bei den beiden inländischen Produzenten Petri und Kolbenschmidt und die Schaltknüppel beim inländischen Marktführer FHS mit Pentan geschäumt.

1.3 Hartschaum für Bauzwecke

Für 1995 ist wie für 1994 von mindestens 1,2 Mio. Kubikmeter PU-Hartschaum für den Bau auszugehen (Ausk. Industrieverband Polyurethan-Hartschaum - IVPU, Stuttgart). Darin enthalten sind erstens normale Dämmplatten (einschließlich Hartschaumschalen zur Rohrisolierung u. dgl.) , zweitens Sandwichplatten, drittens der Gießschaum und viertens der Dachspritzschaum. (Nicht mitgerechnet ist der Montageschaum. Auch die PU-Ausschäumung in der Transportkälte, in gewerblichen und Haushaltskühlmöbeln und von gewerblichen Kühlzellen wird separat erfaßt.)

Die 1,2 Mio. Kubikmeter Schaum wiegen fast 50 000 Tonnen und verteilen sich nach Expertenschätzungen auf die vier Anwendungsbereiche, wie in Tab. 16 dargestellt.

Tab. 16: Verbrauch von PU-Hartschaum für Bauzwecke 1995 (ohne Montageschaum)			
Anwendung	Volumen	mittl. Raumgewicht	PU-Gewicht
normale Dämmplatten	680 000 m ³	33 kg/m ³	22 400 t
Sandwich-Paneele	350 000 m ³	45 kg/m ³	15 750 t
Gießschaum	80 000 m ³	60 kg/m ³	4 800 t
Spritzschaum	90 000 m ³	50 kg/m ³	4 500 t

1.3.1 Dämmplatten

PU-Dämmplatten für den allgemeinen Hochbau sind meist mit Deckschichten aus Alufolie, Bitumenpapier, Karton u. dgl. versehen, die nicht nur einen Schutz vor mechanischer Beanspruchung bieten sollen, sondern auch vor der vorzeitigen Ausgasung des isolierenden Zellgases. Im Inland werden die PU-Dämmplatten zu 90

Prozent mit n-Pentan als Treib- und Zellgas hergestellt. Einen Nachteil gegenüber der Schäumung mit FCKW-11 gibt es: Die Brandklasse B 1 (= höchste Brandsicherheit) wird z. Zt. von keinem Pentan-Schäumer trotz der Zugabe von Flammschutzmitteln erzielt (Ausk. BASF, Ludwigshafen). Für solche Fälle, ca. 10 Prozent, wird statt Pentan der H-FCKW-141b eingesetzt. 141b ist übrigens, wie auch H-FCKW-142b, brennbar, wengleich längst nicht so leicht wie Pentan. Der Gewichtsanteil von 141b am Schaum liegt bei 5 Prozent.

Für rd. 2 000 Tonnen PU-Hartschaum-Platten mit H-FCKW werden 100 Tonnen H-FCKW-141b im Jahr 1995 verbraucht.

1.3.2 PU-Sandwichplatten

Sandwich-Paneele sind beidseitig mit Stahl beschichtete PU-Platten für industrielle Bauzwecke. Die Metallbeschichtung dient außer dem Schutz vor Diffusion des Zellgases auch statischen Zwecken, da die Platten als selbsttragende Bauelemente eingesetzt werden. Aus letzterem Grund ist das Raumgewicht des Plattenschaums höher und der Anteil des Zellgases darin geringer. Sandwiches werden nicht mit Pentan getrieben, damit sie hohe Brandschutzaufgaben erfüllen können (Brandklasse B 1). Zwei Drittel der Schäumer setzen die Mischung H-FCKW22/142b (40 zu 60 Prozent) ein (z.B. Fa. Hoesch und Fa. Romakowski), ein Drittel (wie die Fa. Thyssen) nimmt den H-FCKW-141b. Der Umstieg auf ODP-freie Treibmittel wird angestrebt, doch ist die Richtung noch nicht eindeutig. Außer Pentan mit besonders hohem Zusatz von Flammschutzmitteln wird auch FCKW-134a in Erwägung gezogen. CO₂ wird gegenwärtig noch ausgeschlossen, da es zu schnell diffundiert und zu schnellem Schrumpfen des Hartschaums führe.

Der Gewichtsanteil der H-FCKW im Sandwichplattenschaum liegt bei 3 Prozent. Bei 15 750 Tonnen PU-Schaum sind das 475 Tonnen.

Der 475 Tonnen umfassende Gesamtverbrauch an Treibmitteln teilt sich in 175 t H-FCKW-141b, 180 t H-FCKW-142b und 120 t H-FCKW-22 auf.

Tab. 17: Treibmittel für PU-Hartschaum für Bauzwecke 1995 (ohne Montageschaum)		
Anwendung	Treibmittel	H-FCKW-Menge
Dämmplatten	n-Pentan/CO ₂ /R 141b	100 t
Sandwiches	R22-R142b/R141b	300 t/175 t
Gießschaum	CO ₂	-
Spritzschaum	R 141b	200 t

1.3.3 Gießschaum

Gießschaum ist ein Ortschaum, der fast ausschließlich für industrielle Zwecke wie für das Ausschäumen von Zwischenräumen bei Behältern, Tanks und Anlagen eingesetzt wird. Da es weniger auf Wärmedämmung ankommt, reicht das CO₂ aus der Reaktion mit Wasser als Treibmittel aus. Damit die Wasser-CO₂-Reaktion in Gang kommt, müssen die Gießmaschinen, anders als früher mit FCKW-11, vorgewärmt werden, was eine gewisse Investition erfordert. Da jedoch die in der

"Gütegemeinschaft Hartschaum" (Sitz Frankfurt/M.) organisierten inländischen Gießschäumer das Gütezeichen nur dann erhalten, wenn sie ohne synthetisches Treibmittel schäumen, ist für 1995 keine Verwendung von H-FCKW in dieser Branche mehr zu erwarten. Verwiesen wird allerdings seitens der Gütegemeinschaft auf die ausländische Konkurrenz, die mitunter noch H-FCKW-141b verwendet (Ausk. Struck, Gütegemeinschaft Hartschaum).

Kein inländischer Verbrauch von FCKW oder FKW in diesem Bereich.

1.3.4 Spritzschaum

Das Anwendungsgebiet für den maschinell aufgespritzten Spritzschaum sind vor allem Dächer (Flachdächer, Unterseite von Steildächern), weshalb auch von Dachspritzschaum gesprochen wird. Der Schaumauftrag geschieht durch mobile Schäumenanlagen, die in der Regel Kleinunternehmen gehören. Deren Hauptgeschäft ist gegenwärtig die Gebäudesanierung in den neuen Bundesländern.

Der Spritzschaum wird zu 90 Prozent mit H-FCKW-141b getrieben. CO₂ reicht gegenwärtig noch nicht für die geforderte hohe Dämmwirkung des Schaums aus, und Pentan gilt in der offenen Anwendung (zum Teil innerhalb von Wohngebäuden) als zu riskant.

Der Gewichtsanteil von H-FCKW-141b am fertigen Schaum liegt bei 5 Prozent (Ausk. Fa. Rheinchemie Rheinau, Mannheim). Die 4 500 Tonnen PU-Schaum erfordern 1995 somit ca. 200 Tonnen H-FCKW-141b.

Gesamtverbrauch von halogenierten Treibmitteln für Spritzschaum: 200 Tonnen H-FCKW-141b

1.3.5 Montageschaum

PU-Montageschaum aus der Spraydose wird meist vom Heimwerker beim Innenausbau der Wohnung benutzt, um Türzargen, Fensterrahmen, Rolladenkästen usw. zu befestigen bzw. allgemein Hohlräume auszufüllen. Die Wärmedämmung spielt demgegenüber eine untergeordnete Rolle.

Zur Bildung und Aushärtung des Schaums würden Feuchtigkeit und Wasser der Luft reichen, doch ist zur Beförderung des Schaums aus der Dose heraus ein Treibmittel erforderlich. Dafür werden seit dem Verbot von H-FCKW-22 (seit 1.1.1993) wie bei anderen Aerosolen Kohlenwasserstoffe (Propan, Butan, Dimethylether) eingesetzt, die jedoch wegen ihres Explosionsrisikos im Zusammenhang mit der Hitzebildung bei der Schaumreaktion mit unbrennbaren bzw. schwerer entflammaren Stoffen versetzt werden müssen. Das sind erstens bromierte Flammschutzmittel und zweitens ein quantitativ erheblicher Zusatz von FKW-134a. Die Fa. Henkel setzt nach eigener Mitteilung für gewisse Teilmengen statt 134a den FKW-152a ein, der zwar brennbar ist, aber das relativ niedrige GWP 460 aufweist. In unserer Aufstellung weisen wir FKW-152a nicht gesondert aus.

In einer Dose Montageschaum sind 12 bis 18 Gewichtsprozent, im Durchschnitt 14 Prozent, FKW-134a enthalten (Ausk. Fa. Henkel, Düsseldorf, und Fa. ARA, Unterensingen), die bei der Anwendung nahezu vollständig emittieren.

Montageschäume sind "umweltoffene Anwendungen" im Sinne der Enquetekommission "Schutz des Menschen und der Umwelt". Der Anteil von H-FCKW-22 am Füllgewicht hatte früher ca. 25 Prozent betragen.

Tab. 18: Treibmittel für Montageschaum 1995		
Anwendung	Treibmittel	FKW-Menge
Montageschaum	Propan-Butan/R 134a	1 400 t

Die jährliche inländische Abfüllmenge beträgt 11 bis 12 Mio. Dosen, die bis zu 750 ml Inhalt fassen, was knapp 900 Gramm Füllgewicht entspricht. Das gesamte Jahresgewicht aller abgefüllten Dosen liegt bei knapp 10 000 Tonnen. Dafür sind 1 400 Tonnen FKW-134a als Treibmittel erforderlich.

Der Gesamtverbrauch an fluorhaltigen Treibmitteln für Montageschäume beträgt 1995 etwa 1 400 Tonnen FKW, überwiegend 134a.

1.4 Hartschaum bei Kühlmöbeln und Transportkälte

Da die Hartschaumisolierung von Kühlhäusern und -räumen bereits bei der Dämmung für Bauzwecke (durch Platten) erfaßt ist, werden im folgenden unter Kühltämmung nur Haushaltskühlgeräte und gewerbliche Kühlmöbel und -zellen einerseits sowie Container, Kühl-Lkws und Kühlwaggons andererseits erfaßt.

1.4.1 Kühlmöbel und Kühlzellen

Der Dämmschaum der Haushaltskühlgeräte wurde nach dem FCKW-Ausstieg nur kurzfristig mit FKW-134a getrieben. Die inländischen Hersteller schäumen 1995 mit Pentan, und zwar mit Cyclopentan, das zwar teurer und schwerer zu verarbeiten, aber in der Dämmwirkung besser als Normal-Pentan (n-Pentan) ist.

Bei den gewerblichen Kühlmöbeln und Kühlzellen wurden 1994 noch überwiegend H-FCKW eingesetzt: entweder eine Mischung aus H-FCKW-22 mit H-FCKW-142b oder reiner H-FCKW-141b. Der eindeutige Marktführer bei Gewerbemöbeln, nämlich die Linde AG, hat jedoch Anfang 1995 seine 22/142b-Mischung durch Cyclopentan ersetzt. Allein infolge dieser Umstellungsmaßnahme wird die Hälfte der neuproduzierten gewerblichen Kühlmöbel 1995 ohne H-FCKW geschäumt. Auch im kleinen Bereich der Kühlzellen haben einige Hersteller (u.a. Fa. Viessmann, Hof) ihre Schäumung auf Cyclopentan umgestellt.

Die Hälfte der gewerblichen Kühlmöbel und -zellen wird 1995 noch mit H-FCKW-haltigem Schaum gedämmt, darunter auch die Möbel des nach Linde zweitgrößten Anbieters York International, die mit H-FCKW-141b hergestellt werden. Die Gesamtmenge von H-FCKW-141b im Bereich Gewerbekälte beträgt 1995 noch rd. 230 Tonnen, davon 100 Tonnen für Einbau-Kühlzellen und 130 Tonnen für Kühlmöbel.

Auf die Kühlmöbel- und Kühlzellenisolierung entfallen 1995 noch insgesamt 230 Tonnen H-FCKW-141b als Treib- und Zellgase.

1.4.2 Transport-Kälte-Dämmung

Für die Transportkälte-Dämmung - seien es Kühlcontainer, Kühlkoffer-Aufbauten für Lkw oder Eisenbahn-Kühlwaggons - wird 1995 noch ausschließlich H-FCKW-141b eingesetzt. Mit Cyclopentan wird erst experimentiert.

Die 6 000 Kühlcontainer und die 25 Kühlwaggons, die bei der Fa. Graaff isoliert werden, brauchen pro Einheit 25 kg (Container) bzw. 40 kg (Kühlwaggon) H-FCKW-141b. Zusammen: 150 Tonnen.

Die Isolierung der 5 000 neuen Kühl-Lkw wird bei den Spezialfirmen für Lkw-Aufbauten durchgeführt: Schmitz, Kögel, Ackermann-Fruehauf, Staufen u.s.w. Verwendet werden dafür rd. 70 Tonnen H-FCKW-141 b.

Insgesamt liegt der Treibmittelverbrauch für die Isolierung in der Transportkälte bei rd. 220 Tonnen H-FCKW-141b.

Tab. 19: Treibmittel für Kühl-Dämmschaum 1995 (ohne Kühlhäuser)		
Anwendung	Treibmittel	H-FCKW-Menge
Haushaltsgeräte	Cyclopentan	-
gewerbl. Kühlmöbel	Cyclopentan/R 141b	130 t
gewerbl. Kühlzellen	Cyclopentan/R 141b	100 t
Transportisolierung	R 141b	220 t

2 Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)

Der Dämmwert von Schaumplatten aus extrudiertem Polystyrol (XPS) ist gegenüber PU-Schaum zwar geringer. XPS-Platten haben jedoch den Vorzug, stärker wasserabweisend und äußerst druckfest zu sein. Sie werden vornehmlich in der Außendämmung eingesetzt und sind für den Naßbereich (erdberührte Außenmauern) geeignet. Als Treib- und Zellgas wurde FCKW-12 schon 1989 durch den H-FCKW-142b ersetzt. Dabei ist es bis heute geblieben. Zwar führen die beiden europäischen Marktführer BASF und Dow Chemical Forschungsprogramme zur Umstellung auf Kohlendioxid durch. Doch ist, da gesetzgeberischer Druck fehlt, vor 1998 mit einer Gesamtumstellung nicht zu rechnen.

Tab. 20: Treibmittel für Dämmschaum aus extrudiertem Polystyrol 1995		
Anwendung	Treibmittel	H-FCKW-Menge
XPS-Dämmschaum	R 142b / R 22	3 600 t / 400 t

So ist Dow nach eigener Auskunft in seinem deutschen Werk (einem von neun europäischen) gegenwärtig nur im Bereich geringer Materialdicke (unter 60 mm) in der Lage, CO₂-getriebene Platten in einer Qualität zu liefern, die derjenigen von 142b-getriebenen ebenbürtig ist (die übliche Plattenstärke reicht bis zu 200 mm). Auch die BASF bestätigt, nur in Ausnahmefällen CO₂-getriebene XPS-Bauplatten zu liefern. Solche "Ausnahmen" sind für beide Konzerne Bestellungen von Kommunen oder anderen Behörden, die bei ihrer Materialbeschaffung ausdrücklich auf ozonschichtneutralen Produkten bestehen, etwa der Berliner Senat. Dow bedient

solche Ausnahmenachfrage aus seinem schwedischen Werk, das als erstes in Europa (aufgrund des H-FCKW-Verbotes in Schweden) XPS-Platten ohne H-FCKW-Treibmittel herstellen kann.

Gegenüber 1989 hat sich der Inlandsmarkt für Wärmedämmplatten aus XPS mehr als verdoppelt - auf über 800 000 m³. Das Volumen der inländischen Produktion liegt wegen des Exportüberschusses darüber: bei 1 Mio. m³ (Schätzung Dow Deutschland). Pro Kubikmeter XPS-Schaum werden 4 kg H-FCKW eingesetzt. Dabei benutzt die BASF als größter Inlandsproduzent den H-FCKW-142b als Reinstoff, während Dow als zweitgrößter deutscher Hersteller ein Gemisch aus 142b und 22 im Verhältnis 70 zu 30 einsetzt. (H-FCKW-22 ist im Unterschied zu H-FCKW-142b nicht brennbar.)

Der Beitrag zum Treibhauseffekt ist beim XPS-Schaum enorm, da der hauptsächlich verwendete H-FCKW-142b ein GWP von 4 200 und seine Mischungskomponente H-FCKW-22 ein GWP von 4 300 CO₂-Äquivalenten aufweisen. Das Gesamt-GWP bei XPS-Schaum entspricht 16,8 Mio. Tonnen CO₂. Das sind zwei Drittel des beim Kunststoffschäumen insgesamt erzeugten GWP von 25,1 Mio. CO₂-Tonnen.

Der Jahresverbrauch von H-FCKW für die 1 Mio. Kubikmeter XPS-Schaum beträgt 4 000 Tonnen. Davon sind 90 Prozent H-FCKW-142b und 10 Prozent H-FCKW-22.

Der Gesamtverbrauch beträgt 4 000 Tonnen, davon 3 600 Tonnen H-FCKW-142b und 400 Tonnen H-FCKW-22.

III. Asthmasprays

Im Jahr 1995 sind in Deutschland insgesamt 1 010 Tonnen vollhalogenerter FCKW für Medizinalsprays zugelassen, davon 1 000 Tonnen für Asthmasprays. (10 Tonnen entfallen auf Medizinalsprays gegen Herzkrankheiten.) Das Gesundheitswesen, konkret die Asthmatherapie, ist damit größter Einzelverbraucher "harter" Ozonschichtkiller und größter legaler Anwender fabrikfrischer Ware, da für die medizinische Anwendung nur besonders reine FCKW, nicht Recyclingprodukte, infragekommen. Asthma-Dosieraerosole machen EG-weit 87 Prozent der "essential uses" aus. Diese FCKW sowie gewisse Mengen von Tetrachlormethan stammen vor allem aus der Akzo-Produktionsanlage im niederländischen Amersfoort, die der US-Chemiekonzern Allied Signal 1994 übernommen hat. Mehr als ein Drittel des ODP der 1995 in Deutschland verbrauchten FCKW und H-FCKW entfallen auf Asthmasprays. Wegen dieses großen Anteils befassen wir uns hier ausführlicher damit.

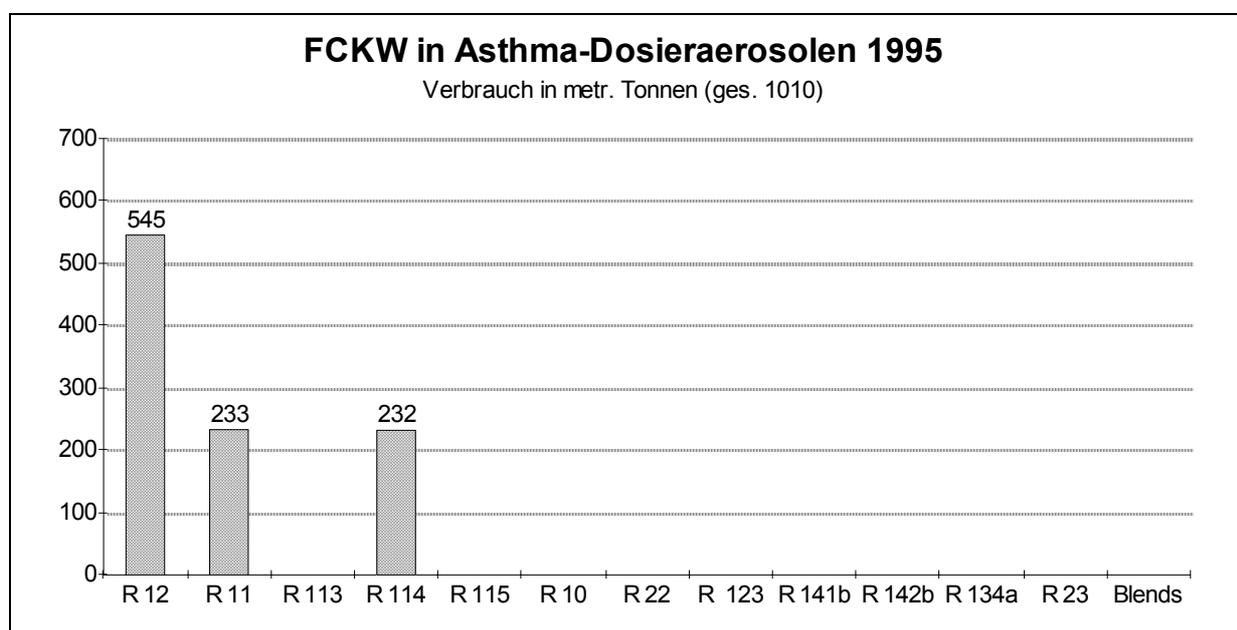


Bild 8. Im Rahmen der EG sind als "essential uses" für Deutschland 1995 insgesamt 1 000 Tonnen vollhalogenerter FCKW für Asthma-Dosieraerosole zugelassen. Dazu kommen noch 10 Tonnen für "Nitrosprays". Zu etwa der Hälfte handelt es sich um FCKW 12, zu je einem Viertel um FCKW 11 und FCKW 114. Da alle drei das gleiche ODP, nämlich 1, aufweisen, entsprechen die metrischen Tonnen den ODP-gewichteten Tonnen.

1. Ein veraltetes Privileg

Nur für die Behandlung von Asthma und anderen chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen hat das Berliner Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (früher zum Bundesgesundheitsamt gehörig) Herstellung und Vertrieb FCKW-haltiger Sprays für 1995 noch zugelassen (Bekanntmachung vom 15. März 1994, BAnz. S. 4916). Die 1994 noch vertretenen sonstigen FCKW-haltigen Medizinalsprays wie "Nitrosprays" gegen Herzerkrankungen, Migräne-Sprays oder inhalative Antibiotika erhielten (bis auf die oben genannten 10 Tonnen Nitrosprays für den Export) keine Ausnahmegenehmigungen für das Inland mehr, obwohl die Restbestände aufgebraucht werden dürfen.

FCKW für medizinische Aerosole machten 1990/91 nur 2,5 Prozent des damaligen FCKW-Gesamtverbrauchs von 40 000 Tonnen aus. Die relative Bedeutung der FCKW-Spraydosen-Treibmittel hat sich 1995 infolge des absoluten Verbrauchsrückgangs voll- und teilhalogenierter FCKW beim Schäumen (FCKW-11), in der Elektronikindustrie (Lösemittel FCKW-113), bei der Brandbekämpfung (Halone) und auch in der Kältetechnik drastisch erhöht. Auf Dosier-Aerosole für die inhalative Asthmabehandlung entfallen jetzt **8 Prozent** des 12 000 metrische Tonnen umfassenden inländischen Gesamtverbrauchs von FCKW und H-FCKW; an der Zerstörung der Ozonschicht (gemessen in ODP-gewichteten Tonnen) haben die Spray-Treibmittel - wegen der ausschließlich vollhalogenierten Stoffe - sogar **37,8 Prozent Anteil**. Am gesamten inländischen Beitrag zum Treibhauseffekt sind sie mit 0,5 Prozent - umgerechnet auf CO₂-Äquivalente beteiligt.

An der Zerstörung der Ozonschicht sind die Asthmasprays mit **1 000 ODP-gewichteten Tonnen** beteiligt, und ihr **Treibhauseffekt entspricht 7,1 Mio. Tonnen CO₂ (GWP₂₀)** bzw. 7,7 Mio. Tonnen CO₂ (GWP₁₀₀).

Tab. 21: Inländischer Verbrauch von FCKW als Aerosol-Treibgas 1995 in Tonnen*				
	R 12	R 11	R 114	gesamt
<i>ODP rel. zu R 11</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	
<i>GWP₂₀ zu CO₂</i>	<i>7900</i>	<i>5000</i>	<i>6900</i>	
Verbrauch in Tonnen	545	233	232	1010
Gesamt-GWP Mio t CO ₂	4,3	1,2	1,6	7,1

* Anwendungsgebiet Asthma: 1 000 Tonnen, Anwendungsgebiet Herzerkrankungen: 10 Tonnen.

Dies sei vorweg erwähnt, weil die den Inlandsmarkt weitgehend kontrollierenden deutschen und britischen Pharmaunternehmen Boehringer Ingelheim, ASTA Medica, Glaxo, Fisons, 3M Medica (großer Lohnabfüller), die sich in der "Arbeits- und Informationsgruppe Dosier-Aerosole" (AIDA) zusammengeschlossen haben, in einer gemeinsamen Broschüre zum Thema "FCKW-freie Asthma-Therapie" gegenüber Ärzten und Patienten verbreiten: "Nur 0,5 bis 1 Prozent der insgesamt eingesetzten FCKW entfallen heute noch auf medizinische Aerosole".

"Essential" uses

Das Amtsblatt der EG vom 31.12.1994 (L 350/126 ff.) veröffentlichte für den EG-Raum die 1995er Quoten und Verwender von insgesamt 10 090 Tonnen FCKW und Tetrachlorkohlenstoff für "wichtige Zwecke". Darunter bilden 8 810 Tonnen FCKW für Dosieraerosole für die Behandlung von Asthma und anderen chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen den Hauptposten. Der kleinste Einzelposten der essential uses sind übrigens 9 Tonnen FCKW-113, die das britische Home Office, sprich Scotland Yard, bei der fotografischen Entwicklung von Fingerabdrücken auf Papier für unentbehrlich hält.

Für die 1996er FCKW-Zuteilungen ist nicht mehr die EG, sondern die UNEP (United Nations Environment Programme) zuständig. Bereits bewilligt wurden auf der UNEP-Sitzung in Nairobi (Oktober 1994) für "Metered Dose Inhalers" in Deutschland 417 Tonnen FCKW-12 und je 178 Tonnen FCKW-11 und -114 - zusammen 773 Tonnen.

Eine weitere Klarstellung zur Vermeidung von Irrtümern: Der für Deutschland von der EG genehmigte Verbrauch von 1 000 Tonnen FCKW für Asthmasprays (Gesamtverbrauch in der EG: 8 810 Tonnen) bezieht sich nicht auf die in Deutschland **versprühte**, sondern hierzulande **abgefüllte** Menge. Diese ist außerdem eine Obergrenze, die unterschritten werden kann, aber nicht überschritten werden darf. Die im Inland effektiv inhalierte und ausgeatmete FCKW-Menge liegt bei 500 Tonnen (Berechnung des Wissenschaftlichen Instituts der AOK, Bonn, für die Ökologischen Briefe). Der hohe Verbrauch von 1 000 Tonnen kommt dadurch zustande, daß einer der weltgrößten Aerosolabfüller, auf den allein über 80 Prozent jener 1 000 Tonnen entfallen, hierzulande seinen Sitz hat. Es handelt sich um den nach Hoechst und Bayer drittgrößten deutschen Pharmakonzern, die Boehringer Ingelheim KG, die bei Dosieraerosolen zwar auch den Inlandsmarkt beherrscht, aber den größeren Teil ihrer Produktion exportiert. FCKW-haltige Dosieraerosole aus deutscher Produktion, das heißt im wesentlichen Boehringer Ingelheim. Außer Boehringer gibt es nur einen weiteren Abfüller, nämlich die IG Sprühtechnik in Wehr/Baden, die für kleinere Pharmaunternehmen Asthma-Dosieraerosole im Lohnauftrag befüllt.

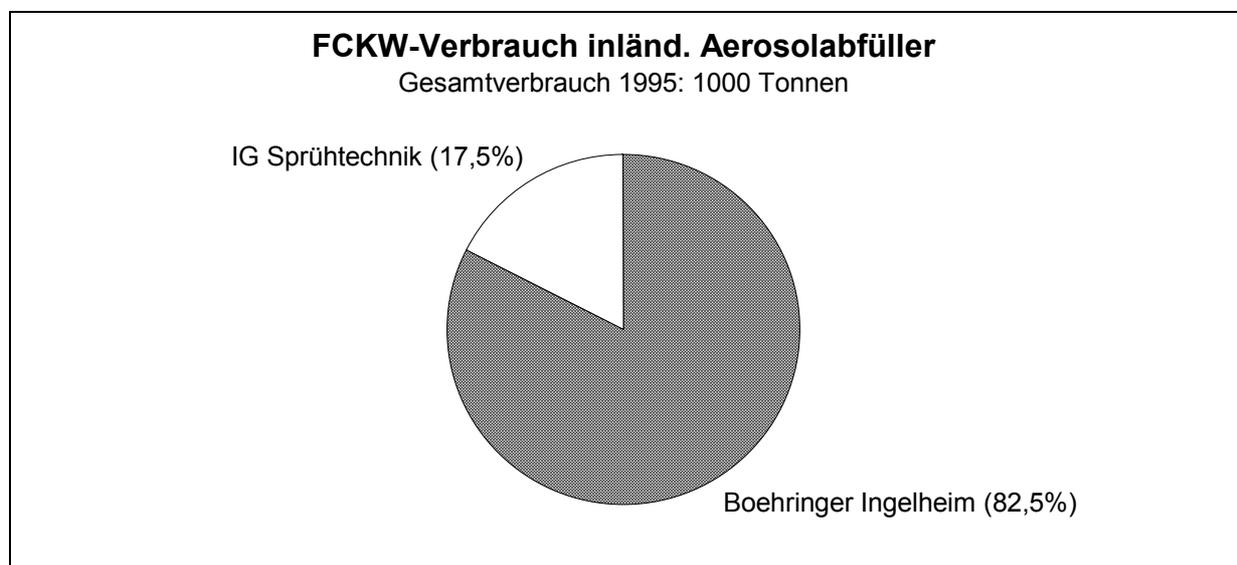


Bild 9. Der 1995 für Deutschland von der EG genehmigte Verbrauch von 1 000 Tonnen FCKW für Asthmasprays kommt dadurch zustande, daß mit Boehringer Ingelheim einer der weltgrößten Aerosolanbieter, auf den allein über 80 Prozent jener 1 000 Tonnen entfallen, hierzulande abfüllt.

2. Über 25 Mio. verordnete Spraydosen jährlich für Asthmakranke

Die Behandlung von Asthma, worunter in den Industrieländern 4 bis 5 Prozent der Bevölkerung leiden, besteht hauptsächlich darin, kurzfristig und langfristig wirkende Arzneistoffe durch den Mund tief in die Lunge zu inhalieren, um Anfälle der Atemnot zu beheben bzw. ihnen vorzubeugen.

Seit 1959 setzten sich Dosieraerosole durch, die die winzigen Wirkstoffpartikel (meist β_2 -Sympathomimetika und/oder Kortikoide) mithilfe von FCKW-Treibgas feinverteilt und dosiergenau aus der Spraydose in die Lunge befördern können. Übliche Wirkstoffmenge pro Dose: unter 1 Prozent, übliche FCKW-Menge: über 99 Prozent. Die FCKW sind in der Regel Mischungen, die bei deutschen Abfüllern zur Hälfte aus FCKW-12 und je zu einem Viertel aus FCKW-11 und FCKW-114 bestehen; letzterer heißt in der pharmazeutischen Terminologie "Cryofluoran".

Zur Zeit werden auf dem deutschen Pharma-Markt über fünfzig derartige FCKW-haltige Präparate (alle rezeptpflichtig) angeboten. Die Hälfte der im Inland jährlich verordneten rd. 25 Mio. kleinen Spraydosen zwischen 5 und 30 ml Füllvolumen stammt vom einheimischen Marktführer Boehringer Ingelheim. Mit gehörigem Abstand folgt der weltweit größte Pharmakonzern und weltgrößte Anbieter von Asthma-Dosieraerosolen Glaxo aus Großbritannien (Eigenabfüllung in England: 3 600 Tonnen). Nach unseren Berechnungen (auf Basis der Daten für 1993) sind außerdem vorne mit dabei noch der britische Atemwegsspezialist Fisons, das deutsche Degussa-Unternehmen ASTA Medica, der schwedische Pharmakonzern Astra und 3M, die alle in England abfüllen lassen bzw. - wie 3M - selber abfüllen. Auch die Asthmasprays von Klinge und Orion wurden im Ausland, und zwar in Finnland, hergestellt. Dazu kommen gegenwärtig weitere 12 inländische und ausländische Anbieter mit zusammen etwa 7 Prozent Anteil an den in Deutschland verordneten Aerosolmengen. Darunter sind auch die Kunden der IG Sprühtechnik.

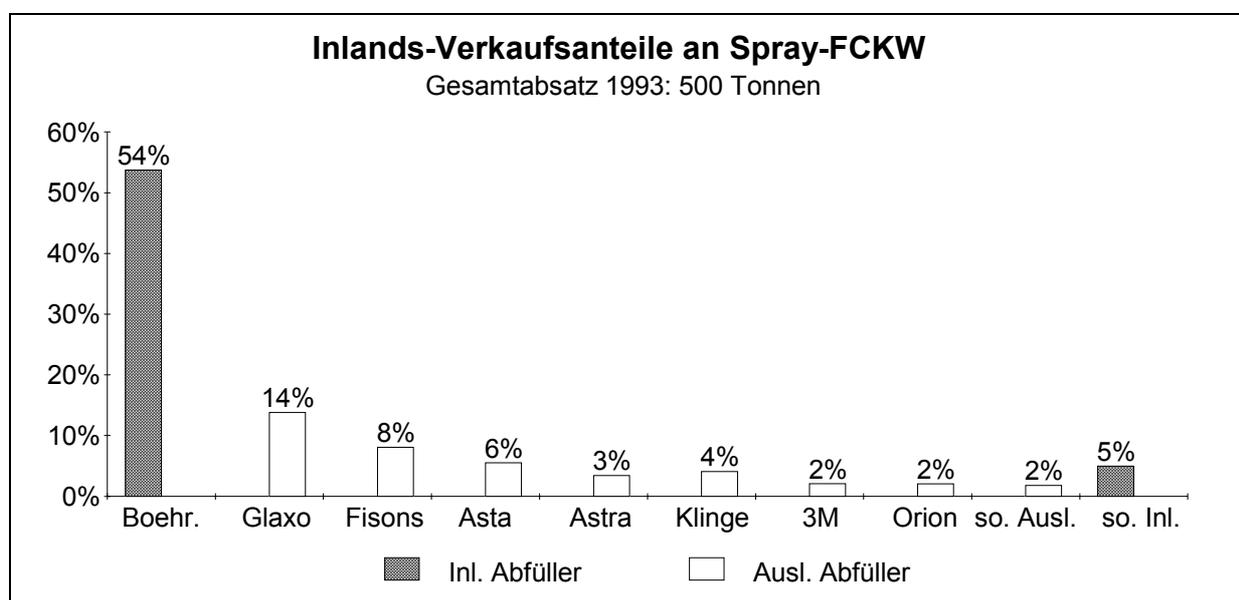


Bild 10. Die im Inland 1993 verordneten antiasthmatischen Dosieraerosole mit FCKW-Treibmittel-Gemisch verteilten sich nach ihrem Gewicht zu über die Hälfte auf den inländischen Abfüller Boehringer Ingelheim. Auf Importe entfielen etwa 40 Prozent. Die deutsche Exportmenge dürfte etwa 700 Tonnen betragen. Sie ergibt sich vor allem als Unterschied zwischen Boehringers Abfüll- und inländischer Verkaufsmenge. Die Firma Orion entfällt für 1995 aus dieser Aufstellung, insofern sie seit Jahresende 1994 keine FCKW-haltigen Dosieraerosole für den deutschen Markt mehr herstellt.

3. Umweltverträgliche Pulverinhalation - wirklich zu kompliziert?

Die Alternative Pumpspray entfällt bei der Asthmabehandlung, weil mit solchen Geräten nicht die geforderte Dosiergenauigkeit erzielt werden kann. Seit Jahren werden aber von einigen Herstellern FCKW-haltiger Asthma-Sprays parallel auch Treibmittelfreie und somit klimaunschädliche Pulverinhalatoren angeboten. Deren anfängliche Probleme wie Feuchtigkeitsempfindlichkeit (Verklumpung) und nicht exakte Dosierbarkeit gelten mittlerweile, zumindest bei neuentwickelten Geräten, als behoben. Auch bezüglich der therapeutischen Wirkung ist ihre Ebenbürtigkeit mit Treibgasinhalatoren in Fachkreisen kaum mehr umstritten. Zunehmend werden sogar

ihre spezifischen medizinischen Vorzüge gegenüber Sprays hervorgehoben, auf die wir hier nicht im einzelnen eingehen können.

Dennoch setzen gerade die auf dem Weltmarkt führenden Anbieter wie Glaxo und Boehringer mit dem Hinweis auf die "gewöhnungsbedürftige" Anwendungsweise von Pulverinhalatoren den eindeutigen Schwerpunkt auf Treibgas-Sprays.

Wer die von diesen Firmen entwickelten, umständlichen Pulvergeräte kennt, muß in der Tat Verständnis für die mangelnde Umstellungsbereitschaft von Ärzten und Patienten aufbringen. Die Bedienungsweise ist ohne ausgiebiges Studium der Anleitung undurchsichtig und auch danach noch viel zeitaufwendiger als diejenige der herkömmlichen Sprays. Die Entwicklung einfacherer Anwendungsformen von Pulvergeräten wurde in Deutschland und Großbritannien bewußt oder unbewußt vernachlässigt, so daß die großen Pharmahersteller ihre chemischen FCKW-Fossilien mit Verweis auf die sonst überforderten Patienten immer noch als "essential uses" deklarieren können.

4. Bequemer Umstiegsversuch auf Treibhausgase 134a oder 227

Da die FCKW-Halon-Verbotsverordnung auch für medizinische Dosieraerosole nur "ausnahmsweise" FCKW zuläßt und auch die großen Pharmahersteller nach langfristig erlaubten Alternativen suchen müssen, liegt es ganz auf der Linie ihrer wenig originellen Treibgas-Philosophie, daß sie es nunmehr mit FKW probieren wollen. Statt FCKW, die sowohl die Ozonschicht zerstören als auch zum Treibhauseffekt beitragen, werden als Aerosol-Treibmittel die FKW-134a und FKW-227 getestet, die beide "nur" den Treibhauseffekt fördern.

Auch wenn FCKW oder FKW nur Hilfsstoffe, nicht die eigentlichen Wirkstoffe sind, handelt es sich bei einem Dosieraerosol mit FKW statt FCKW medizinisch gesehen um ein neues Arzneimittel. Dies ist insofern verständlich, als das Treibgas tief in die Lunge eingeatmet und unverändert wieder ausgeatmet werden soll. Folglich unterliegen chlorfreie Asthasprays ebenfalls scharfen Zulassungsaufgaben - vergleichbar Pharmapräparaten mit neuen Wirkstoffen. Dazu kommt, daß teilhalogenierte Stoffe wegen ihres Wasserstoff-Anteils grundsätzlich leichter als vollhalogenierte abbaubar sind, so daß ein Gesundheitsrisiko infolge körpereigener biologischer Umwandlung der inhalierten Substanz nicht von vorneherein ausgeschlossen werden kann.

Da bei neuen Humanarzneimitteln die für technische Zwecke üblichen Toxizitätsstudien nicht genügen, testen die großen Hersteller im Rahmen zweier internationaler Konsortien (IPACT 1 und 2) die Toxizität der chlorfreien Ersatztreibmittel FKW-134a und FKW-227. Diese Untersuchungen sind für 134a abgeschlossen und dauern für 227 noch an. Im Anschluß daran werden für die einzelnen Aerosole noch klinische Studien bei Menschen durchgeführt, deren Resultate der Beantragung auf die Zulassung als Medikament zugrundeliegen. Die Markteinführung chlorfreier Dosieraerosole kann somit - so die Absicht der großen Aerosolanbieter - ab 1996 nach und nach stattfinden. Für die Zulassung als Medikament ist in Deutschland das Berliner "Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte" zuständig. Ein Außenseiter auf dem deutschen Markt, der aber ein großer internationaler Lohnabfüller von Dosieraerosolen ist, nämlich 3M, hat bei diesem Bundesinstitut für ein 134a-haltiges Asthma-

spray Ende September 1994 die Zulassung beantragt. In Großbritannien ist dieses Präparat seit Mitte März 1995 unter dem Namen "Airomir" auf dem Markt.

IPACT 1 und 2: Tests von FKW-134a und -227

IPACT heißt International Pharmaceutical Aerosol Consortium for Toxicology Testing. In zwei Konsortien teilen sich internationale Pharmakonzerne die rund 40 Millionen DM, welche die toxikologischen Untersuchungen der neuen Treibgase an Mäusen, Ratten, Kaninchen, Hunden und Meerschweinchen auf krebserregende Wirkung u. dgl. hin kosten. (Die anschließenden klinischen Prüfungen der fertigen Aersole bei Menschen finanzieren die einzelnen Unternehmen selbst.)

Von IPACT 1 wurde als Treibmittel FKW-134a (Hersteller: Du Pont), von IPACT 2 wird das Hoechst-Produkt FKW-227 getestet.

Das erste Konsortium bestand aus: Ciba-Geigy (CH), Fisons (GB), Boehringer Ingelheim (D), ASTA (D), 3M (USA), Roche (CH), Merck (USA), Rhone-Poulence-Rorer (F), Schering-Plough (US), Norton Healthcare (GB) und Servier-ADIR (F). (Glaxo hat eigene Tests mit FKW-134a durchgeführt.)

Im zweiten Konsortium sind: Ciba-Geigy (CH), Fisons (GB), Boehringer Ingelheim (D), ASTA (D), 3M (USA), Roche (CH), Rhone-Poulence-Rorer (F), Norton (GB) und Schering-Plough (USA), die alle auch IPACT 1 beteiligt sind. Es fehlen der amerikanische Pharmariese Merck und das französische Forschungsinstitut ADIR. Dafür sind hier Glaxo und die Hoechst AG vertreten.

Vermutlich noch ein bis zwei Jahre dauert es, bis die Branchengroßen mit zugelassenen Dosieraerosolen auf Basis von FKW-134a oder FKW-227 auf den Markt kommen. Das heißt, daß die Asthmapatienten noch zwei Jahre lang vollhalogenierte FCKW ein- und ausatmen müssen und somit ungewollt zu Ozonschichtzerstörung und Treibhauseffekt beitragen. Da die Treibmittel nach Inhalation wieder ausgeatmet werden, ist auch ein Recycling dieser Stoffe nicht möglich. In zwei bis vier Jahren wird die Asthmathherapie auch nach gänzlichem Wegfall vollhalogenierter FCKW zum Treibhauseffekt beitragen, zwar nicht mehr mit den 7,1 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten der 1 000 Tonnen FCKW, aber im Falle von FKW-134a immerhin noch mit 3,3 Mio. Tonnen und im Falle von FKW-227 (GWP: 4 500) sogar noch mit 4,5 Mio. Tonnen.

Das entspricht immer noch dem zwei- bis dreifachen jährlichen Treibhauspotential der Emissionen sämtlicher inländischer Hausmüllverbrennungsanlagen.

5. Neue Chancen aus Skandinavien für die Pulverinhalation

Die Pharmaunternehmen stehen insofern vor der Aufgabe, eine umweltfreundliche Anwendungsform der bewährten Asthmamittel zu entwickeln, statt auf umweltschädliche Treibgase zu setzen, die mit der Asthmabehandlung selbst gar nichts zu tun haben. Die Jahre der Umstellung von FCKW auf FKW sind für die Entwickler von handlichen und anwendungssicheren Pulverinhalatoren Herausforderung und Chance, um treibmittelfreie Alternativen auf den Märkten zu verankern und zu be-

weisen, daß Ausnahmegenehmigungen für Asthmasprays nicht mehr erforderlich sind.

Die bisher interessantesten Anstöße zur treibmittelfreien Inhalationstherapie kommen aus Skandinavien - außerhalb des Herrschaftsbereichs der Weltmarktführer für Dosieraerosole. So erreicht der schwedische Pharmakonzern **Astra** seit einigen Jahren mit seinem "Turbohaler" nicht nur in Schweden größere Verkaufszahlen als mit seinem parallel vertriebenen FCKW-Aerosolen, sondern auch in Deutschland übersteigen bereits die Umsätze der Pulverinhalatoren diejenigen der wirkstoffgleichen Dosieraerosole für das Präparat Pulmicort (Ausk. Fa. Astra, Wedel). Astra ist von den Großen der Branche auch der einzige, der nicht auf FKW umrüsten will und daher den internationalen FKW-Testkonsortien IPACT 1 und 2 fernblieb. Kritisch zu vermerken ist indessen, daß das schwedische Unternehmen, das in Norwegen, Kanada und Griechenland ausschließlich Pulvergeräte verkauft, in den großen Absatzländern - auch in Deutschland - den Parallelverkauf von FCKW-Sprays, solange diese noch zugelassen sind, nicht einzustellen gedenkt. Ob die erst am 20. März 1995 bekanntgewordene Teilübernahme von Fisons durch Astra bei Astra zu einem Einstieg in FKW-Sprays führt, war bei Redaktionsschluß dieser Studie noch nicht absehbar, aber zu befürchten.

Die Münchener **Klinge Pharma GmbH**, die ihre in Finnland abgefüllten FCKW-haltigen Dosieraerosole (Hauptpräparat: Broncho-Spray) in Deutschland vertreibt, fehlt ebenfalls bei den FKW-Konsortien IPACT, was mit den für mittelgroße Pharmaunternehmen kaum erschwinglichen Finanzaufwendungen für dieses Testprogramm der Großkonzerne zusammenhängt. Um nach 1996 weiterhin Mittel gegen Asthma verkaufen zu können, entwickelt Klinge einen neuen Pulverinhalator, der ab 1997 die FCKW-Sprays ablösen soll. Gleichzeitig hält sich dieses Unternehmen aber die Option für eigene FKW-Sprays über Lizenzen offen.

Nur ein einziger Hersteller ist uns bekannt, nämlich die finnische **Orion Pharma GmbH** mit Vertriebsitz in Hamburg, die Ende 1994 die Produktion ihres FCKW-haltigen Dosieraerosols (Beclomet) für den deutschen Markt gänzlich eingestellt hat. Orion stellt statt dessen 1995 ausschließlich Pulvergeräte her. Das Unternehmen führt Mitte Juni einen den herkömmlichen FCKW-Sprays - wie es heißt - "anwendungsgleichen" Pulverinhalator ein, der von den Patienten kaum Umstellungen bei der Benutzung abverlangt (Easyhaler). Damit entfiel das Argument der "Gewöhnungsbedürftigkeit" der Pulverinhalation.

Dieses Unternehmen nahm bisher auf dem deutschen Markt für antiasthmatische Inhalatoren auf FCKW-Basis den siebten Rang ein - hinter Boehringer Ingelheim, Glaxo, Fisons, ASTA Medica, Astra und Klinge. Nicht nur die Pharmabranche, auch Umweltschützer, sind auf den neuartigen Pulverinhalator gespannt. Bei erfolgreicher Einführung könnte er zu Marktverschiebungen führen, die durchaus im Sinne des Erhalts der Ozonschicht und unseres Klimas liegen.

IV. FCKW und Tetrachlorkohlenstoff für Laborzwecke

Wie die FCKW für Asthma-Dosieraerosole zählen auch einige ozonschichtschädigende Laborchemikalien zu den "essential uses". Die EG teilte deutschen Firmen für 1995 127 Tonnen FCKW-113 und 85,5 Tonnen Tetrachlorkohlenstoff (CCl_4 bzw. R-10) zu. Deren ODP beträgt zusammen 196 äquivalente FCKW-11-Tonnen. Ihr GWP beläuft sich auf 0,8 Mio. äquivalente CO_2 -Tonnen.

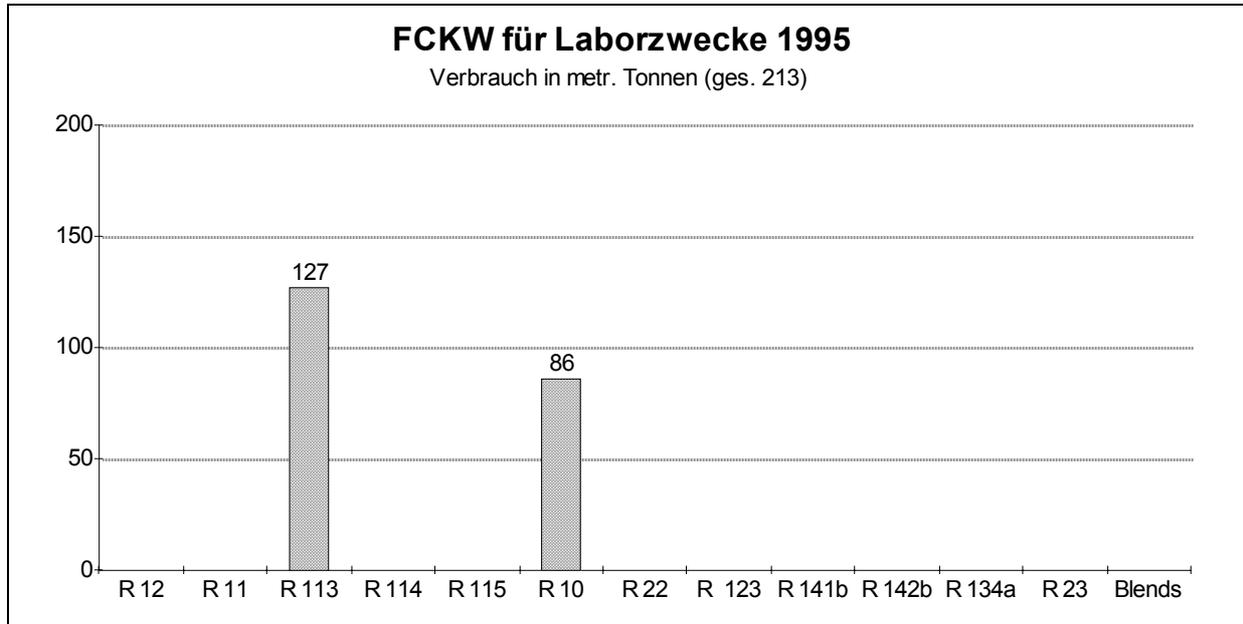


Bild 11. FCKW und Tetrachlorkohlenstoff für Laborzwecke. Die EG hat für 1995 insgesamt 213 Tonnen dieser vollhalogenierten Stoffe deutschen Chemikalienhändlern zugeteilt. 156 Tonnen oder 73 Prozent der Gesamtmenge entfallen auf die Fa. E. Merck. (R 10 ist die Kurzschreibweise von Tetrachlorkohlenstoff.)

Über die Zuteilung ozonschichtschädigender Stoffe im EG-Rahmen für 1995 hat die EG-Kommission in Brüssel am 20. Dezember 1994 entschieden und die Ausnahmegenehmigungen für die einzelnen Unternehmen publiziert. Auf diese Angaben im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 350 vom 31.12.1994 stützen wir uns nachfolgend.

Größter inländischer Vertreiber von FCKW-113 ist die Fa. E. Merck in Darmstadt, auf die allein 76 Tonnen entfallen, gefolgt von dem auf Umweltanalyse spezialisierten mittelständischen Unternehmen Promochem in Wesel mit 33 Tonnen. Weitere 16 Tonnen verkauft die Hoechst-Tochter Riedel de Haen in Seelze. Die restlichen 2 Tonnen hat die Vertriebsgesellschaft für Fein- und Forschungschemikalien Sigma-Aldrich in Neu-Ulm im Angebot.

FCKW-113 wird zum ausschlaggebenden Teil in der Umweltanalytik eingesetzt. So wird der Öl- und Fettgehalt von Abwasser oder Bodenproben IR-spektroskopisch nach Extraktion mit FCKW-113 bestimmt. Das Verfahren ist sogar nach DIN (38409 H 18) vorgeschrieben, so daß alternative Methoden wie die Gaschromatografie kaum eingesetzt werden. Ein weiterer, sehr viel kleinerer Anwendungsbereich von FCKW-113 zu Laborzwecken ist die Qualitätsprüfung von Trocknungsfiltren in Kühlsystemen.

Bei Tetrachlorkohlenstoff (R 10) finden wir dieselben Handelsfirmen wieder, die auch FCKW-113 im Angebot haben: 80 Tonnen entfallen auf Merck, 3 Tonnen auf Promochem und 2,5 Tonnen auf Sigma-Aldrich (Riedel entfällt hier).

Tab. 22: Inländischer Bedarf von FCKW und Tetra für Laborzwecke 1995 in Tonnen			
Laborchemikalie	R-113	R 10*	gesamt
<i>ODP rel. zu R 11</i>	<i>0,8</i>	<i>1,1</i>	
<i>GWP₂₀ zu CO₂</i>	<i>5000</i>	<i>2000</i>	
Verbrauch in Tonnen	127	85,5	196
Gesamt-GWP Mio. t CO ₂	0,63	0,17	0,8

* R 10 ist die Kurzschreibweise für Tetrachlorkohlenstoff bzw. Tetrachlormethan (CCl₄)

Anwendungsgebiete von Tetrachlorkohlenstoff sind u. a.: Prüfung von Gasfiltern, Halogenierungsreaktionen in Forschungslaboratorien, Standard zur Kontrolle chemischer Produkte und zur Überwachung der Wasser- und Luftverschmutzung durch organische Stoffe sowie allgemein die Extraktion fettlöslicher Substanzen. In der Wasseranalytik wird Tetrachlorkohlenstoff, das zudem krebserregend ist, kaum mehr eingesetzt (Ausk. Fresenius AG, Taunusstein). Es fand in der Vergangenheit häufig bei der fotometrischen Bestimmung (mit Dithizon) von Schwermetallen wie Quecksilber oder Zink Verwendung.

Der metrischen Tonnage nach stellen die ozonschichtschädigenden Stoffe für Laborzwecke keine bedeutende Größenordnung dar. Da es sich jedoch um vollhalogenierte Stoffe handelt, die ein hohes ODP aufweisen, ist der Beitrag zur Schädigung der Ozonschicht recht groß. Daß ausgerechnet die Umweltanalyse per DIN-Norm auf das Ozongift und Treibhausgas FCKW-113 verpflichtet wird, ist nicht tolerierbar. Die Vorschrift muß geändert werden. Hier könnten moderne Untersuchungs- und Forschungslabors mehr Druck ausüben.

V. Die Jahresemissionen von Alt-FCKW

Hartschaumausgasung, Kältemittel bei Anlagenverschrottung, illegale Halonentsorgung

Bislang haben wir den Neuverbrauch 1995 von FCKW, H-FCKW und FKW beziffert. Aus dem Neuverbrauch von 1995 ergeben sich die Sofortemissionen und die Emissionen künftiger Jahre, wenn keine durchgreifenden Verbesserungen bei der Anlagendichtheit und bei der Entsorgung von nicht mehr gebrauchten Stoffen stattfinden. Wir wechseln zum Abschluß die Sichtweise und fragen nach den **laufenden Jahresemissionen**. Zu den bereits bekannten Sofortemissionen kommen die Altemissionen aus dem angehäuften Bestand hinzu: Erstens die laufenden Hartschaumemissionen, zweitens die beim Verschrotten von Kälteanlagen freigesetzten Kältemittel und drittens die Halone, soweit sie nicht regulär entsorgt werden. Werfen wir einen Blick auf diese drei Bereiche!

Tab. 23: Altemissionen bei Verschrottung und ungeordneter Entsorgung				
Schätzwerte für 1995 in metr. Tonnen				
Typ	FCKW-11	H-FCKW-22	Halon 1301	gesamt
<i>ODP rel. zu R 11</i>	1	0,055	10	
<i>GWP₂₀ zu CO₂</i>	5000	4300	6200	
Hartschaum	1300			1300
Kältetechnik		1500		1500
Löschanlagen			200	200
Gesamt	1300	1500	200	3000

1. Hartschaum: 1 300 Jahrestonnen Ausgasung von Alt-FCKW

Nach verschiedenen Quellen (zusammengestellt bei Greenpeace: Probleme bei der FCKW-Entsorgung aus Kühlgeräten und Baudämmstoffen, 2.A., Hamburg 1993) sind in den knapp dreißig Jahren, in denen Hartschäume aus PU und XPS mit Hilfe von FCKW produziert wurden, d.h. von Mitte der sechziger Jahre bis Ende 1993, im Inland über 100 000 Tonnen Hartschaum-FCKW angespeichert worden. Nach unserer Schätzung sind z. Zt. in PU-Schäumen ca. 120 000 Tonnen, und in XPS-Schäumen ca. 20 000 Tonnen vollhalogenierter FCKW-11 und -12 eingeschlossen.

Die weitaus größten Mengen enthalten die Baudämmstoffe, deren Nutzung noch andauert. Spätestens ab dem Jahre 2000 wird ein reales Entsorgungsproblem aus den PU- und XPS-geschäumten Bauabfällen, die wegen ihres FCKW-Gehalts nicht auf normalen Bauschuttdeponien abgelagert werden dürfen. Dies verbietet zumindest der Entwurf der "Baustellenrestverordnung" aus dem Jahre 1994. Im Jahre 1995 sind erst drei große Shredderanlagen für FCKW-haltige Bauhartschäume teils in Betrieb, teils im Bau (Ausk. Hoesch Siegerlandwerke), welche durch Zermahlen und Pressen der metallisch ummantelten Hartschäume die FCKW-Gase daraus austreiben sollen, um sie in der Spaltanlage der Hoechst AG verbrennen zu lassen. (Das Hauptinteresse der Anlagenbetreiber gilt allerdings den rückgewinnbaren Metallen.) Der FCKW-Gesamtvorrat in verbauten Dämmschäumen beläuft sich auf rd. 100 000 Tonnen; doch die 1995 hiervon zu entsorgenden FCKW-Mengen sind noch nicht sehr groß.

Anders verhält es sich mit den PU-Hartschäumen von Haushaltskühlgeräten, gewerblichen Kühlmöbeln sowie Lkw-Aufbauten und Containern, die aufgrund ihrer nur zehn- bis fünfzehnjährigen Nutzungsdauer schon zur Hälfte außer Gebrauch sind. Diese - ältere - Hälfte der Kühldämmschäume, die ca. 20 000 Tonnen FCKW enthält, liegt auf normalen Hausmülldeponien, mit Ausnahme eines geringen Anteils, der im Zuge der Kühlschranksverwertung in einer der rd. 20 kleinen FCKW-Rückgewinnungsanlagen (überwiegend vom Typ Adelman) zermahlen worden ist. Die auf diese Weise aus dem PU-Schaum jährlich rückgewonnene FCKW-Menge (meist FCKW-11) übertraf vor 1995 allerdings nicht einmal 100 Tonnen. Die normale Hausmüllverbrennung von FCKW-haltigen Kühlgeräteschäumen spielt im übrigen keine wesentliche Rolle.

Das bedeutet, daß die große Masse der bisher entsorgten PU-Isolierschäume ihre langsame, aber stetige FCKW-Ausgasung fortsetzt, zwar nicht mehr während des Dämmvorgangs, aber auf der Abfallhalde. (Von den nicht unerheblichen FCKW-Emissionen während der Rückgewinnung aus dem Alt-Schaum, die bis zu 30 Prozent des ursprünglichen Gasgehalts reichen, wird hier abgesehen.)

Die im Inland insgesamt vorhandenen FCKW-haltigen Hartschäume aus PU und XPS befinden sich zu etwa 85 Prozent noch im Gebrauch, vor allem als Baustoffe, und zu fast 15 Prozent auf Deponien als ausgemusterter PU-Kühldämmschaum. Bei einer Halbwertszeit von hundert Jahren für FCKW in verbauten Hartschäumen beträgt die jährliche Emissionsrate 0,5 Prozent. Bei metallisch ummantelten Schäumen ist die Ausgasung noch geringer, bei offenen, beschädigten und feuchten Schäumen auf der Deponie aber um ein Vielfaches höher. Denn Wasser (z.B. vom Regen) verdrängt die FCKW innerhalb weniger Jahre fast vollständig aus den Zellen (Ausk. Fa. Adelman, Karstadt).

Von den 120 000 Tonnen FCKW, die seit Mitte der 60er Jahre in noch im Gebrauch befindlichen Dämmschäumen stecken, entweichen pro Jahr etwa 300 Tonnen. Aus dem PU-Dämmschaum dagegen, der feucht und zerbrochen auf Deponien lagert (oft als Teil weggeworfener und beschädigter Alt-Kühlgeräte), gasen von den ursprünglich 20 000 Tonnen FCKW jährlich weit über 1 000 Tonnen aus.

Eine geordnete, durch Anlagenkapselung möglichst emissionsarme FCKW-Rückgewinnung aus den Hartschäumen und ihre anschließende Vernichtung ist daher ein erstrangiges umweltpolitisches Gebot. FCKW-haltige Schäume dürfen nicht mehr auf die Deponie!

Das ODP der ausgasenden FCKW-Menge entspricht 1 300 Tonnen FCKW-11, das GWP beträgt 6,5 Mio. äquivalente CO₂-Tonnen.

2. Kältemittel: 1 500 Jahrestonnen FCKW-Verluste bei der Anlagenverschrottung

Der Vorrat an Kältemitteln in bestehenden Anlagen wird von der Bundesregierung (Dritter Bericht an den Deutschen Bundestag über Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht, BT-DS 12/8555) auf ca. 44 000 Tonnen geschätzt. Nach Du Pont (Ausk. an die Autoren) sind es nur 33 000 Tonnen FCKW, davon 18 000 teilhalogenierte, vor allem H-FCKW-22, und 15 000 Tonnen vollhalogenierte. Die statistische Differenz

von 11 000 Tonnen ist auch durch die 4 000 Tonnen chlorfreier Kältemittel (FKW-134a) nicht ganz zu schließen. Unsere eigenen Schätzungen decken sich eher mit denen von Du Pont als mit denen der Bundesregierung: 33 000 Tonnen FCKW und H-FCKW sowie 4 000 Tonnen FKW in Altanlagen.

Während in unseren Verbrauchsprognosen für 1995 die laufenden Betriebsemissionen in Form ihres jährlichen Ersatzes erfaßt sind, fehlen darin die jährlichen Kältemittelverluste bei der Verschrottung der alten Kälteanlagen. Deren Nutzungszeiten weisen je nach Anwendung eine große Spanne auf. Sie reichen von unter sieben Jahren (manche gewerblichen Kühlmöbel und Kühl-Lkw) bis weit über zwanzig Jahre hinaus (viele Industrieanlagen). Die mittlere Anlagennutzungsdauer für die gesamte Kälte- und Klimatechnik dürfte bei 15 Jahren liegen, so daß jährlich von den insgesamt 37 000 Tonnen organisch-synthetischer Kältemittel etwa 2 500 Tonnen Altware zur Entsorgung anstehen. Diese verteilen sich im Verhältnis Zwei zu Eins auf teilhalogenierte und vollhalogenierte FCKW. FKW stehen gegenwärtig noch kaum zur Entsorgung an.

Da das inländische Recycling in seinen besten Zeiten (1993/94) kaum mehr als 600 Tonnen FCKW-Kältemittel zurückbrachte, die zudem zu fast 400 Tonnen aus Haushaltsgeräten stammten, gingen bisher mindestens 1 800 Tonnen FCKW bei der Außerbetriebnahme von Altanlagen durch ungeordnetes Ablassen verlustig.

Insbesondere in der Gewerbe- und Industriekälte fand kaum eine geordnete Entsorgung statt, was der geringe Rücklauf des gewerblichen und industriellen Hauptkältemittels H-FCKW-22 in Höhe von jährlich nur etwa 100 Tonnen bestätigt. Aber auch aus der Verschrottung von Fahrzeugklimaanlagen, Transportkältegeräten und Gebäudeklimaanlagen flossen nur geringe Mengen der Wiederaufarbeitung zu.

Im Jahre 1995 ist wegen der Knappheit bei vollhalogenierten FCKW sicherlich mit größerer Behutsamkeit bei der Verschrottung von mit FCKW-12 und R 502 befüllten Altanlagen zu rechnen, da der Emissionsersatz erstmalig nicht mehr mit fabrikfrischer Neuware stattfinden darf, sondern aus gehorteten Händlerbeständen und aus Recycling gedeckt werden muß. Gegen die stoffliche FCKW-Wiederaufarbeitung der Händler hat die Hoechst AG seit 1994 eine konkurrierende Variante der geordneten Entsorgung eingerichtet, und zwar in Form einer Anlage zur Verbrennung der FCKW.

Obwohl 1995 durchaus mit einem umweltbewußteren Entsorgungsverhalten der Kältefachleute gegenüber Alt-Kältemitteln als in früheren Jahren zu rechnen ist - Anzeichen dafür sind zumindest in den Vertragswerkstätten der Autohersteller in der Frage der Klimaanlagenentsorgung erkennbar -, ist es auch nach Ansicht des Kältemittelhandels dennoch mehr als fraglich, ob sowohl das alte Niveau des FCKW-Recyclings erhalten bleibt als auch gleichzeitig die Verbrennungsanlage der Hoechst AG mit einer gleichgroßen Menge beschickt werden kann. Denn dafür müßte die Entsorgungsmenge gegenüber 1994 auf über 1 300 Tonnen verdoppelt werden. Auch angesichts des an die Hoechst AG zu entrichtenden Entsorgungspreises zwischen 5 und 15 DM pro Kilogramm Alt-FCKW (bei einem gleichzeitigen Kaufpreis von 10 DM für ein Kilogramm neuer H-FCKW-22-Ware) ist eine wirklich konsequente Abkehr von der Kältemittelentsorgung durch kurzes "Öffnen der Anlage" eher unwahrscheinlich.

Es dürfte auch 1995 bei hohen Verschrottungsemissionen von FCKW-Kältemitteln bleiben. Im besten Fall ist mit einem Rückgang von den bisher üblichen 1 800 Tonnen auf 1 500 Tonnen zu rechnen, für den Fall, daß wegen der besonderen Problemlage

bei den vollhalogenierten FCKW lediglich teilhalogenierte (im wesentlichen H-FCKW-22) ungeordnet abgelassen werden.

Das ODP von 1 500 Tonnen H-FCKW-22 beträgt 82,5 äquivalente FCKW-11-Tonnen, das GWP beläuft sich auf 6,45 Mio. äquivalente CO₂-Tonnen.

3. Halonentsorgung: Emissionen nur schwer schätzbar, aber besorgniserregend (Schätzung: 200 Tonnen)

Die Verwendung von Halon-Handlöschern ist seit Anfang 1992 verboten, seit Anfang 1994 gilt das Verwendungsverbot auch für die in stationären Feuerlöschanlagen eingesetzten Halone - auch in Altanlagen. Selbst der Besitz einer Halon-Feuerlöschanlage ist nicht mehr erlaubt, sondern strafbar. Denn wer Halon in der Löschanlage vorhält, bekundet eine "Verwendungsabsicht" im Brandfall, mit anderen Worten: einen Angriff auf die Ozonschicht. Ausnahmeregelungen lassen den Einsatz nur noch zu, wo er zum "Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen zwingend erforderlich" ist. Das gilt für Flugzeuge, Schiffe, Atomkraftwerke und für den militärischen Bereich. Bis auf diese z.T. fragwürdigen Spezialfälle muß auf Halone als Löschmittel verzichtet werden, so daß die für 1992 auf mindestens 6 000 Tonnen geschätzten Halonbestände (UBA-Pressesprecher Brackemann, VDI nachrichten, 11.2.94) bis auf die ca. 400 Tonnen per Ausnahmegenehmigung erlaubten Restmengen (BT-DS 12/8555) eigentlich längst entsorgt sein müßten. Die 6 000 Tonnen Halon für 1992 ist dabei sicherlich eine maßvolle Untergrenze.

"Rückgekommen" waren lt. Brackemann Anfang 1994 aber erst "deutlich unter 1 000 Tonnen", so daß selbst für den Fall, daß es bis Ende 1994 "über 1 000 Tonnen" waren, über das Schicksal von etwa 5 000 Tonnen Halon Unklarheit besteht. "Unklarheiten" in solchen Dingen geben jedoch Anlaß zu schlimmen Befürchtungen.

Glaubt man den Herstellern der Löschgeräte und -anlagen, die anstatt der Halonhersteller gesetzlich in die Rücknahmepflicht genommen worden waren, dann ist 1995 "die Sache schon gelaufen". Nach Auskunft des Bundesverbandes Feuerlöschgeräte und -anlagen (BVFA) in Hagen kommen seitens der Anlagenbetreiber kaum noch Nachfragen, Altgeräte zurückzunehmen und das Halon der Entsorgung zuzuführen.

Auch die Halon-Verbrennungsanlagen melden keinen Hochbetrieb, sondern freie Kapazitäten. 1992/93, als das totale Halonverbot erst die Handlöcher (Halon 1211 bzw. 1011) betraf, wurden Halone noch zur Entsorgung nach England exportiert, wo die Fa. Rechem in Pontypool/Southampton eine Verbrennungsanlage betreibt. Der gegenwärtige Hauptentsorgungsweg führt nicht mehr außer Landes, sondern zu den beiden Sonderabfallverbrennungsanlagen HIM in Biebesheim (Hessen) und - in der Hauptsache - GSB in Ebenhausen (Bayern), wo alle vier Halone (1211, 1301, 2402, 1011) in kleinen Zudosierungen zum sonstigen Sondermüll mitverbrannt werden. Die Tageskapazität der GSB, die im Unterschied zur HIM Halone bundesweit entgegennimmt, beträgt 1 bis 2 Tonnen, pro Jahr maximal 500 Tonnen. Wären die 6 000 Tonnen seit 1992 geordnet entsorgt worden, müßten bei der GSB 4 000 Tonnen Halon auf ihre Verbrennung warten. Die befürchtete jahrelange Halon-Zwischenlagerung in Druckbehältern trat mangels Anlieferung aber nicht ein.

Die Bundesregierung spricht von einer "Diskrepanz zwischen rückgegebener Menge, Ausnahmegenehmigungen und bekannter Einsatzmenge", deren Gründe ihr "nicht bekannt" sind (BT-DS 12/8556). Aber es gibt zumindest naheliegende Gründe. Für die Verbrennung einer angelieferten Tonne Halon stellt die GSB stolze 5 360 DM (ohne MwSt) in Rechnung. Ein Kilogramm Halon verbrennen zu lassen, kostet den Halonbesitzer 65 DM, das Kilogramm einfach verschwinden zu lassen, kostet ihn das Risiko, bei einer Ordnungswidrigkeit erlappt zu werden. Dieses Risiko ist gering. Im Zweifelsfalle entscheiden sich Halonbesitzer, wie andere Warenbesitzer auch, eher gemäß den Prinzipien unserer Wirtschaftsordnung als gemäß jenen unserer Rechtsordnung. Von Seiten der GSB werden übrigens auch Halonverschiebungen nach Osteuropa vermutet.

Hinter der Halonentsorgung steckt das gleiche Problem wie hinter der ungeordneten Kältemittelentsorgung bei der Anlagenverschrottung. Die Chemiekonzerne, die die Umweltgifte FCKW und Halone gegen gutes Geld verkauft hatten, brauchen nicht nur für die Schäden, die von ihren Produkten ausgehen, nicht zu haften, sondern sie konnten sich auch der Verpflichtung entziehen, diese Produkte wenigstens gratis zurückzunehmen. Die Solvay braucht dies nicht, weder für ihre FCKW, noch für ihre hochgradig ökotoxischen Halone. Die Hoechst AG, bis 1994 Deutschlands größter FCKW-Hersteller, braucht die FCKW ebensowenig zurückzunehmen, aber sie tut es: Sie verlangt aber für die Verbrennung genauso hohe Preise wie für den früheren Verkauf. Es wundert nicht, wenn dem Konzern unterstellt wird, an den FCKW doppelt verdienen zu wollen. So ist die Mentalität vieler FCKW- und Halonbesitzer durchaus erklärlich, für ihre Kälte- oder Löschmittel nicht doppelt bezahlen zu wollen, nach dem Kauf auch noch für die Entsorgung. Eine Stimmung, in der die eine Seite den Eindruck hat, doppelt bezahlen zu müssen, während die andere Seite zweimal abkassiert, ist einem geordneten Umweltschutz nicht förderlich.

Wieviel von den statistisch verschwundenen Halonen wirklich bereits "schwarz entsorgt" wurden, wieviel sich noch in Löschanlagen befinden, wieviel davon noch in die illegale und wieviel davon noch in die geordnete Entsorgung gehen werden, dies wissen wir nicht. Auch die für die Überwachung der Halonentsorgung zuständigen Landesbehörden sind nicht klüger. Dennoch neigen wir der These zu, daß sich der größere Teil des für 1992 auf 6 000 Tonnen geschätzten Halon-Bestands unversehrt auf dem Weg hinauf zur stratosphärischen Ozonschicht befindet. Gewiß ist noch ein gewisser (nichtgenehmigter) Bestand in bestehenden Löschanlagen vorhanden, vor allem Halon 1301. Die jährlichen illegalen Emissionen aus Altanlagen für 1995 exakt zu beziffern, ist aber unmöglich. Als unterste Schätzgrenze gilt für uns eine Menge von 200 Tonnen Halon 1301 (ODP: 10) aus stationären Anlagen.

Das ODP von 200 Tonnen Halon beträgt 2 000 äquivalente FCKW-11-Tonnen, der Beitrag zum Treibhauseffekt beläuft sich auf 1,24 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente. Diese Werte sind mit großen Unsicherheiten behaftet.

VI. Für weitergehenden Schutz von Ozonschicht und Klima

Die Berechnung und Berücksichtigung von Tonnage, ODP und GWP der Altemissionen ergibt folgendes Gesamtbild im Vergleich zum Jahresverbrauch:

Tab. 24: Vergleich der Emissionen 1995 mit dem Jahresverbrauch 1995 Schätzwerte in metr. Tonnen (kursiv:ODP- und GWP-gew. Tonnen)								
	Kälte	Schaum	Spray	Labor	Entsorg	Summe	ODP-t	GWP-t
Emission	3659	1400	1010	213	3000	9282	5552*	45 Mio. t
Verbrauch	8524	6625	1010	213		16373	2672	69,4 Mio

*Eine statistische Unsicherheit kommt durch die ungeklärten Halonemissionen zustande, die hier auf 200 metrische Tonnen geschätzt werden. Das hohe ODP 10 für Halon 1301 bedeutet 2 000 ODP-gew. Tonnen, die am Gesamt-ODP der Jahresemissionen 36 Prozent ausmachen. Ohne diese beträgt das ODP der Jahresemissionen 3 552 FCKW-11-Tonnen, während sich das GWP kaum (um 1,24 Mio. CO₂-Tonnen) verringert.

Die von uns abgeschätzten **Jahresemissionen** (Sofortemissionen plus Altemissionen) liegen trotz um 43 Prozent geringerer metrischer Tonnage im ODP **höher** als der **Jahresverbrauch** (5 552 zu 2 672 ODP-gew. Tonnen), während sie beim GWP niedriger sind: 45 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente zu 69,4 Mio. Tonnen. Dies hängt mit der früher stärkeren Verwendung "harter" FCKW (und der Halone) zusammen, die in den nachfolgenden Jahren auch in kleinen Emissionsmengen noch ein hohes Zerstörungspotential gegenüber der Ozonschicht mitbringen.

Obwohl sich Jahresverbrauch und Jahresemissionen 1995 in bezug auf das Umweltschädigungspotential rein quantitativ nicht sehr unterscheiden, gilt doch festzuhalten: Der in den nächsten Jahren erfolgende Rückgang beim **Verbrauch** von vollhalogenierten und teilhalogenierten FCKW berührt vorerst kaum die Umweltgefährdung durch die **Emissionen** von Alt-FCKW. Lediglich bei den Halonen werden die illegalen Emissionen mangels Bestandsmasse demnächst aufhören, was aber das Treibhauspotential der Alt-Emissionen kaum berührt.

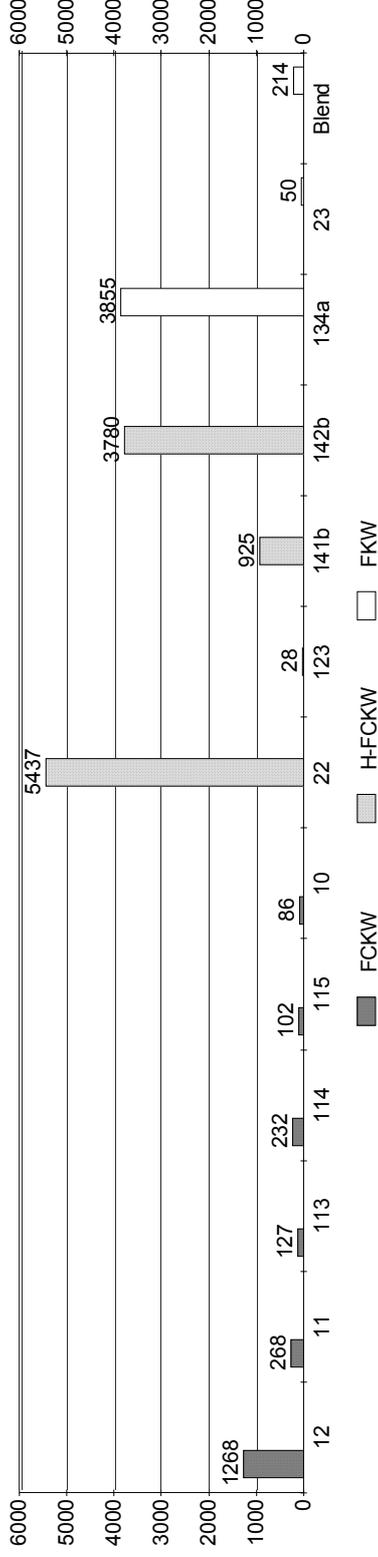
Bleibt es bei den bestehenden gesetzlichen Regelungen, dann werden aus alten Kälteanlagen auch noch im ersten Viertel des nächsten Jahrhunderts FCKW und H-FCKW in die Atmosphäre entweichen und zur stratosphärischen Ozonschicht aufsteigen. Bei den voll- und teilhalogenierten FCKW in den Hartschaumporen setzt die Ausgasung ab dem Jahre 2000 überhaupt erst sprunghaft ein.

Konsequenter Schutz der Ozonschicht und des globalen Klimas erfordern daher über die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung hinausgehende Maßnahmen:

1. Statt Emissionsersatz von FCKW und H-FCKW in kältetechnischen Anlagen systematische Umstellung auf umweltverträglichere Verfahren und Stoffe.
2. Vollständiges Auffangen und Vernichten aller FCKW und H-FCKW bei der Verschrottung von Kälteanlagen und bei der Entsorgung von Hartschäumen.
3. Kein Einsatz von treibhausfördernden FKW im Kälte-, Schaum- und Aerosolbereich, wenn umweltverträglichere Alternativen zur Verfügung stehen.

FCKW-, H-FCKW- und FKW-Verbrauch 1995

in metr. Tonnen (Summe: 16 372 t)



**Gesamttabelle: Verbrauch, Ozonschicht-Zerstörungs-Potential und Treibhauseffekt der FCKW, H-FCKW und FKW
Schätzwerte für 1995 - in metrischen Tonnen und FCKW-11- bzw. CO₂-Äquivalenten**

	R 12	R 11	R 113	R 114	R 115	R 10	R 22	R 123	R 141b	R 142b	R 134a	R 23	Blends	Gesamt
<i>ODP rel. zu R 11</i>	1	1	0,8	1	0,6	1,1	0,055	0,02	0,11	0,065	0	0	0	
<i>GWP (20a) zu CO₂</i>	7900	5000	5000	6900	6200	2000	4300	300	1800	4200	3300	9200	4400	
Kältetechnik														
in metr. Tonnen	723	35			102		4917	28			2455	50	214	8524
Hartschaum														
in metr. Tonnen							520		925	3780	1400			6625
Asthasprays														
in metr. Tonnen	545	233		232										1010
Laborzwecke														
in metr. Tonnen			127			86								213
Gesamtmenge	1268	268	127	232	102	86	5437	28	925	3780	3855	50	214	16372
Gesamt-ODP														
in R-11-Tonnen	1268	268	102	232	61	94	299	0,6	102	246				2672,6
Gesamt-GWP														
Mio. Tonn. CO ₂	10,0	1,3	0,6	1,6	0,6	0,2	23,4	0,008	1,7	15,9	12,7	0,5	0,9	69,4

Abkürzungen

- FCKW** Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff. Bezeichnung für die vollhalogenierten Kohlenstoffverbindungen, in deren Molekül außer Kohlenstoff nur die Halogene Fluor und Chlor enthalten sind. Werden in der erdnahen Atmosphäre nicht abgebaut, sondern erst in der Stratosphäre (11-50 km Höhe) durch energiereiche UV-Strahlung gespalten.
- FKW** Fluor-Kohlenwasserstoffe. Verbindungen ohne Chlor und Brom und daher ohne direktes Ozonabbaupotential. Die gängigen FKW sind teilhalogeniert (H-FKW) und durch ihren Wasserstoffanteil bereits in der erdnahen Atmosphäre zum Teil abbaubar. Sie sind stark klimawirksam, da sie die von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung (IR-Bereich) dort zurückhalten, wo CO₂ und Wasserdampf sie durchläßt. (Darauf beruht auch der Treibhauseffekt der FCKW und H-FCKW.)
- GWP** Global Warming Potential. Beitrag zur Erwärmung der Atmosphäre, bezogen auf Kohlendioxid als Einheitsmasse. Bei dem als Treibhauseffekt bekannten Vorgang absorbieren "Spurengase" (sehr geringe Konzentration in der Luft) die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche in den Weltraum. Aufgrund der hohen Lebenszeit von CO₂ (120 Jahre) ergeben sich für kurzlebigere Vergleichssubstanzen bei einem Zeithorizont der Berechnung von 100 Jahren kleinere Werte als bei einem Berechnungszeitraum von 20 Jahren. In dieser Studie wird ein Zeithorizont von 20 Jahren (GWP 20) zugrundegelegt, weil in kurzer Frist politisch gehandelt werden muß; zudem sind die auf 20 Jahre berechneten Werte genauer bestimmbar.
- Halon** Halogenierter Kohlenwasserstoff, enthält Brom in Kombination mit Fluor (1301, 2402), mit Chlor und Fluor (1211) oder mit Wasserstoff (1011). Halone waren bis 1994 in stationären Löschanlagen erlaubt.
- H-FCKW** Teilhalogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, in deren Molekül mindestens 1 Wasserstoffatom (H) enthalten ist. Sie werden teilweise in der erdnahen Atmosphäre abgebaut, so daß ihr Beitrag zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht geringer als bei den FCKW ist.
- ODP** Ozone Depletion Potential. Ozonabbaupotential, bezogen auf FCKW-11. Das in den FCKW enthaltene Chlor (in Halonen auch Brom), das in der oberen Stratosphäre (über 25 km Höhe) durch UV-Strahlen abgespalten wird, zerstört das stratosphärische Spurengas Ozon, das die Erdoberfläche von harter UV-Strahlung schützt.
- PU** Polyurethan. Kunststoff, der aus der Reaktion von Isocyanaten und Polyolen entsteht. Für die Schaumbildung muß bei der chemischen Reaktion ein Treibmittel (FCKW, H-FCKW, Pentan, CO₂) mitwirken, das im gasförmigen Zustand den Kunststoff aufbläht und zugleich als Dämmgas in dessen Schaumporen verbleibt.
- R** engl. Refrigerant (Kältemittel). In Verbindung mit 2 bis 4 Ziffern gängige Kurzschreibweise für FCKW, H-FCKW und FKW in der Kältebranche.
- XPS** Extrudiertes Polystyrol. Anders als der allgemein als Styropor bekannte leichte, expandierte Polystyrolschaum (EPS) wird extrudiertes Polystyrol mit Hilfe von H-FCKW geschäumt. Umstellung auf CO₂ im Gange.

Regulierungsstand für ozonschichtschädigende Stoffe in Deutschland 1995

1. Einschränkungen für vollhalogenierte FCKW

Die am 1.8.1991 in Kraft getretene FCKW-Halon-Verbots-Verordnung hat sämtliche vollhalogenierten FCKW und Halone sowie 1,1,1-Trichlorethan und Tetrachlorkohlenstoff spätestens ab 1.1.1995 in Anwendung und Verkauf verboten.

Diese Regelung hat auch die EG-Verordnung vom 15.12.94 für alle Mitgliedsstaaten verbindlich gemacht (nur 1,1,1-Trichlorethan darf in nichtdeutschen EG-Ländern noch bis Ende 1995 verwendet werden).

Die EG-weite Produktion und Verwendung von Methylbromid darf bis 1998 die hergestellte Menge des Jahres 1991 (11 530 Tonnen) nicht überschreiten und muß ab 1998 auf 75 Prozent des Standes von 1991 verringert werden. Ein Totalausstieg aus diesem Pestizid ist nicht vorgesehen. (Verwendung in Deutschland ca. 100 Tonnen.)

In Deutschland wurden vollhalogenierte FCKW zum Teil schon vor dem 1.1.95 verboten:

Ab. 1.1.92:

- als Treibmittel für Spraydosen (ausgenommen Medizinalsprays),
- als Kältemittel in stationären Neuanlagen über 5 kg Kältemittelinhalt,
- als Löschmittel Halon in neuen Anlagen und Handlöschern,
- als Lösemittel Tetrachlorkohlenstoff (außer für wichtige Zecke).

Ab 1.1.93:

- als Lösemittel 1,1,1-Trichlorethan und FCKW-113 in Anlagen zur Oberflächenbehandlung und Chemischreinigung.

Ab. 1.1.94:

- als Kältemittel in neuen mobilen Kälteanlagen über 5 kg Füllmenge,
- Außerbetriebnahme der Halone in Löschgeräten und -anlagen (mit Ausnahmebestimmungen).

Allerdings dürfen Kälteanlagen (nicht Löschanlagen, nicht Oberflächenbehandlungsanlagen), die schon vor dem Verbot bestanden, weiterhin mit diesen Stoffen betrieben und nachgefüllt werden. Da ab 1.1.1995 im EG-Raum die FCKW-Neuproduktion eingestellt ist (außer für "wichtige Zwecke"), darf für den Emissionsersatz (z.B. FCKW-12 in Autoklimaanlagen) nur noch Recyclingware eingesetzt werden oder Importware aus Nicht-EG-Ländern, deren Umfang von den Behörden genehmigt werden muß.

Drei wichtige Ausnahmen vom Verbot vollhalogenerter FCKW und Halone sind:

1. Halonlöschgeräte und -anlagen dürfen weiterbetrieben werden, wenn sie "für die Gesundheit des Menschen zwingend erforderlich" sind: in der zivilen und militärischen

Luftfahrt, in Atomkraftwerken, im Motorsport, in Panzern, auf Seeschiffen. Befristete Erlaubnis erteilen Landesbehörden.

2. Für medizinische Sprays zur Behandlung von Asthma dürfen auf Antrag bei der EG und (ab 1996) bei der UNEP vollhalogenierte FCKW jährlich befristet weiterverwendet werden.

3. Wie für Asthmasprays dürfen FCKW-113 und Tetrachlorkohlenstoff auch für andere "wichtige Zwecke" (essential uses), insbesondere fürs Labor, auf Antrag der Chemikalienhändler weiterhin verkauft werden.

2. Einschränkungen für teilhalogenierte FCKW (H-FCKW)

Grundsätzlich gilt, daß innerhalb der EG-Staaten die teilhalogenierten FCKW bis 2004 auf dem Niveau von 1995 als Obergrenze bleiben dürfen. Bis 2015 müssen sie auf Null gesenkt werden. (Grundlage: EG-Verordnung vom 15.12.1994). Ab dem Jahr 2004 muß der Verbrauch von teilhalogenierten FCKW stufenweise bis zum 31.12.2014 eingestellt werden. Der 1995er Verbrauch darf - in der EG insgesamt - bis 2003 nicht mehr überschritten werden. Ab 2004 muß er auf 65 Prozent, ab 2007 auf 40 Prozent, ab 2010 auf 20 Prozent, ab 2013 auf 5 Prozent und ab 1.1.2015 auf 0 Prozent der 1995er-Höchstmenge reduziert werden.

Es gibt für bestimmte Stoffe und bestimmte Einsatzgebiete vorgezogene **Ausnahmen**:

1. National

Die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung hat in Deutschland für den teilhalogenierten FCKW-22 **Einschränkungen** gemacht:

In Montageschäumen ist H-FCKW-22 schon seit 1.1.1993 verboten. (Hier wird FKW-134a eingesetzt.)

Verwendung und Vertrieb von H-FCKW-22 als Kältemittel und Treibmittel für Schaumstoffe (außer Montageschaum) sind nur bis zum 31.12.1999 erlaubt. Anders gesagt: H-FCKW-22 ist ab 1.1.2000 verboten, aber nur in Neuanlagen. Für Altanlagen (Anlagen, die bis zum 1.1.2000 hergestellt wurden) darf H-FCKW-22 bis zur "Außerbetriebnahme" auch nach 2000 weiterverwendet werden.

2. EG-weit

Mittlerweile ist die EG-Verordnung Nr. 3093/94 des Rates vom 15. Dezember 1994 auch in Deutschland (wie in allen anderen EG-Staaten auch) in Kraft getreten. Diese Verordnung enthält eine "Regelung der Verwendung teilhalogenierter FCKW" (Artikel 5). Innerhalb der teilhalogenierten FCKW wird nicht nach H-FCKW-22, 123, 141b, 142b u. dgl. differenziert.

Diese EG-Verordnung engt teilhalogenierte FCKW in wenigen bestimmten Anwendungsgebieten ein:

Ab. 1.1.96 Verwendungsverbot in Neuanlagen:

- als Kältemittel in nichtgeschlossenen Direktverdampfungssystemen,
- als Kältemittel in Haushaltskühlgeräten und -gefriergeräten,
- zur Klimatisierung von Kraftfahrzeugen,
- zur Klimatisierung von Straßenfahrzeugen im öffentlichen Verkehr.

Diese Einschränkungen sind für Deutschland relativ belanglos, weil teilhalogenierte FCKW hier ohnehin nicht eingesetzt werden, sondern früher vollhalogenierte, jetzt FKW 134a oder Isobutan. Achtung: Zur Klimatisierung verboten heißt nicht: zur Kühlung verboten. Kühlung in Kraftfahrzeugen ist weiterhin mit H-FCKW erlaubt.

Ab. 1.1.98 Verwendungsverbot in Neuanlagen:

- zur Klimatisierung in Schienenfahrzeugen für den öffentlichen Verkehr.

Ebenfalls belanglos, da die Eisenbahn von FCKW 12 auf FKW 134a bzw. auf Luft umstellt.

Ab. 1.1.2000 Verwendungsverbot in Neuanlagen:

- als Kältemittel in öffentlichen bzw. Verteilerkühlhäusern und -lagern,
- als Kältemittel in Geräten mit einer Eingangsleistung von 150 kW oder mehr.

*Das ist eine **wichtige Einschränkung der teilhalogenierten FCKW**, weil es sich um einen großen Einsatzbereich von H-FCKW-22 handelt. Die EG-Verordnung verhindert, daß in Deutschland im genannten Anwendungsbereich ein Ausweichen von H-FCKW-22 auf andere teilhalogenierte FCKW stattfinden kann. Die Alternative ist dann logischerweise Ammoniak. Aber hier gelang es der Chemischen Industrie, folgenden einschränkenden Passus einzuführen:*

"soweit keine Vorschriften, Sicherheitsbestimmungen oder andere Auflagen für die Verwendung von Ammoniak bestehen".

3. Einschränkungen für FKW

Gesetzliche Beschränkungen der Fluorkohlenwasserstoffe gibt es bisher nicht.

Die ist vor dem Hintergrund der zunehmenden globalen Erwärmung bedauerlich. Es widerspricht auch der klaren Empfehlung der Klima-Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags, die bereits 1990 als internationale und EG-weite Handlungsempfehlung gab, "**daß die klimawirksamen FKW (Fluorkohlenwasserstoffe) befristet und nur dann eingesetzt werden dürfen, falls und solange nachweislich weder ein für Ozon noch für Klima weniger schädlicher Ersatzstoff großtechnisch noch eine Ersatztechnologie oder ein Ersatzverfahren verfügbar sind**". (BT-DS-11/8030, S. 47.)