

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen 360 09 003

R 12-Ersatz bei Altanlagen von 1996 bis Mitte 1998

Ermittlung des Sachstandes bei der Umrüstung bestehender R 12-haltiger
Kälte-, Klima- und Wärmepumpen-Anlagen

von

Dr. Winfried Schwarz
Dr. André Leisewitz

Öko-Recherche
Büro für Umweltforschung und –beratung GmbH
Frankfurt/Main

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

August 1998

Inhalt

Inhalt	I
Zusammenfassung: Der R12-Ausgangsbestand 1996 und sein Ersatz	III
Erster Teil Gewerbekälte	1
Einleitung: Was ist Gewerbekälte in dieser Studie?	1
Kapitel 1: R12-Ersatz in der handwerklich betreuten Gewerbekälte	3
1.1 Umfrage unter Kältefachbetrieben vom Juni 1998	3
Fragebogen zum R-12-Austausch in Altanlagen der Kältetechnik	5
1.2 Hauptergebnisse der Umfrage	6
1.2.1 Kältehandwerk: R12-Ersatz zu 63 Prozent	6
1.2.2 Der Anteil von Neuanlagen an der Umrüstung	7
1.2.3 Umrüstquote in neuen Bundesländern höher als in alten	7
1.2.4 Die beim Ersatz in Altanlagen verwendeten Kältemittel	8
1.2.4.1 Technische Erläuterung zu den Kältemitteln	9
1.2.4.2 Die Kältemittelmengen für die Altanlagenumrüstung	10
1.3 R12-Ersatz des Handwerks nach Branchen der Gewerbekälte	12
1.3.1 Die 1996er R12-Ausgangsbestände der Branchen der Gewerbekälte	12
1.3.2 Umrüstquoten der Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte	16
1.3.3 Mögliche Ursachen unterschiedlicher Umrüstquoten	18
1.4 Hochrechnung auf die gesamte handwerklich betreute Gewerbekälte	19
1.4.1 Zur Hochrechnungsmethode: 1880 Betriebe mit R12-Erfahrung	19
1.4.2 Der hochgerechnete R12-Ersatz in Tonnen und Prozent	20
1.4.3 Die hochgerechneten Ersatzkältemittel des Handwerks für Altanlagen	20
1.4.4 Die hochgerechneten R12-Ausgangsbestände nach Branchen	21
1.4.5 Hochgerechnete Umrüstung durch handwerkliche Kältebetriebe	22
Kapitel 2: R12-Ersatz in der übrigen Gewerbekälte	23
2.1 Lebensmittelmärkte (28% Nicht-Kältehandwerk)	23
2.2 Fleischer/Metzger (3% Nicht-Kältehandwerk)	24
2.3 Transportkälte (75% Nicht-Kältehandwerk)	24
2.4 Milchkühlung (100% Nicht-Kältehandwerk)	25
2.5 Industriekühlung (10% Nicht-Kältehandwerk)	26
2.6 Zusammenfassung: Kältemittel und Umrüstquoten in übriger Gewerbekälte	27
2.6.1 R12-Umstellung in der übrigen Gewerbekälte	27
2.6.2 R12-Ausgangsbestand und Umrüstquoten nach Branchen	27
2.6.3 Die Kältemittel für Altanlagen	28
Kapitel 3: Zusammenfassung: Gesamte Gewerbekälte und ihr R12-Ersatz	29
3.1 Die R12-Ersatzquote 64% für die gesamte Gewerbekälte	29
3.2 Ersatzkältemittel für Altanlagen der gesamten Gewerbekälte	31
3.3 R12-Umrüstung nach Branchen der gesamten Gewerbekälte	32
3.4 Fazit zur gesamten Gewerbekälte	34

Zweiter Teil Fahrzeugklima	35
Zu den niedrigen R12-Ersatzquoten bei Fahrzeugklimaanlagen	35
Gang der Darstellung	36
Kapitel 1: Pkw-Klima	37
1.1 Der aktuelle Bestand von Pkw-Altanlagen	37
1.1.1 Der ursprüngliche Gesamtbestand R12-haltiger Pkw-Klimaanlagen	37
1.1.2 Der bereinigte Gesamtbestand R-12-haltiger Pkw-Klimaanlagen	39
1.1.3 R12-Menge in Pkw-Altanlagen: 1600 Tonnen	41
1.2 Die Umrüstung der Pkw-Altanlagen	41
1.2.1 Drei Gruppen von Umrüstern	42
1.2.2 Umrüstquote 7 Prozent	42
1.2.3 Die verwendeten Kältemittel: Nicht nur das freigegebene R134a	43
Kapitel 2: Lkw, Reisebusse und Eisenbahn	44
2.1 Lkw-Fahrerkabinen	44
2.1.1 R12-Ausgangsbestand: 30 Tonnen	44
2.1.2 Umrüstung: 2 Tonnen Kältemittel ersetzt	44
2.2 Reisebusse	44
2.2.1 R12-Ausgangsbestand: 80 Tonnen	45
2.2.2 Umrüstquote 30 Prozent	45
2.3 Eisenbahn	46
2.3.1 R12-Ausgangsbestand 1996: noch 30 Tonnen	46
2.3.2 Umrüstung 100-prozentig	46
Dritter Teil Großkälte mit Turboverdichtern	48
1 Technische Eigenschaften von Turboverdichteranlagen	48
2 Der 1996er R12-Ausgangsbestand in Turboanlagen	48
3 R12-Ersatz in Turboverdichteranlagen	49
3.1 Umrüstquote 84 Prozent	50
3.1.1 Neuanlagen nicht immer wieder Turbos	50
3.2 Chemische Industrie: Umrüstung nicht so hoch wie anderswo	51
3.2.1 Sonderfall Chlorverflüssigung	51
4 R134a einziges Ersatzkältemittel für Altanlagen	51
4.1 Leistungsabfall bei einfachem Altanlagen-Retrofit	51
4.2 Leistungserhalt durch erweitertes Retrofit (Umbau)	52
4.3 Altanlagenersatz nach einfachem und erweitertem Retrofit	53
Nachweise	55
Tabellen	59
Diagramme	60

Zusammenfassung

Der R12-Ausgangsbestand 1996 und sein Ersatz bis Mitte 1998

Von Ende Dezember 1995, dem Zeitpunkt der Bekanntgabe von Ersatzkältemitteln für FCKW R12 durch das Umweltbundesamt, bis Ende Juni 1998 vergingen dreißig Monate, in denen die Betreiber R12-haltiger Kälte- oder Klimaanlage Gelegenheiten zur Umrüstung hatten. Inwieweit sie dies getan haben, zeigt diese Studie.

Das Ersatzgebot nach § 10 Abs. 2 der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 6. Mai 1991 bezieht sich auf R12-haltige Erzeugnisse, ausgenommen steckerfertige Geräte, falls die Kältemittel in diesen in einem dauerhaft geschlossenen Kreislauf geführt werden und die Kältemittelmenge unter 1 kg liegt.

In den vom Umrüstgebot nicht betroffenen Geräten befinden sich schätzungsweise 6000 Tonnen R12. Es handelt sich vor allem um Haushalts-Kühl- und -Gefriergeräte.

Die emissionsträchtigeren, nicht steckerfertigen R12-Anlagen mit mehr als 1 kg Kältemittel befinden sich nach unserer Schätzung in drei Hauptbereichen: Gewerbekälte, Fahrzeugklimatisierung und Turboverdichtern. Dort betrug der R12-Bestand Anfang 1996 (Ausgangsbestand) insgesamt 6740 Tonnen (Tabelle A).

Tab. A: R12-Ausgangsbestand 1996 und Ersatz bis Mitte 1998 in Kälteanlagen			
Hauptbereich	R12-Ausgangsbestand 1996	R12-Ersatz bis Mitte 1998	Ersatzquote
Gewerbekälte	4000 t	2552 t	64%
Fahrzeugklima	1740 t	168 t	10%
Großkälte-Turboverdichter	1000 t	840 t	84%
Summe/Durchschnitt	6740 t	3560 t	53%

Im Durchschnitt wurden von 6740 Tonnen R12 53 Prozent ersetzt. Knapp 38 Prozent waren Austausch in bestehenden Altanlagen und 15 Prozent Ersatz durch Neuanlagen. Zwischen Gewerbe-, Großkälte und Fahrzeugklima zeigen sich gravierende Unterschiede in den Ersatzquoten, die von 10 bis 84 Prozent reichen. (Tabelle A)

Wir gehen davon aus, daß mit den drei Hauptbereichen über 90 Prozent der zur Disposition stehenden R12-Anwendungen erfaßt sind. Sonstige Nischenanwendungen stellen keine relevante Größenordnung dar. (Zu Wärmepumpen s.u.).

Gewerbekälte

In der Gewerbekälte geht es zu 80 Prozent um Kühlung verderblicher Güter und zu 20 Prozent um andere Kälteprozesse mit Schwerpunkt Industriekühlung (Flüssigkeitskühlsätze). Zu 90 Prozent wird die Gewerbekälte vom Kältehandwerk betreut, das auch den R12-Ersatz vornimmt. Im Durchschnitt der gesamten Gewerbekälte wurden mit 64 Prozent fast zwei Drittel des R12-Ausgangsbestandes ersetzt: 45 Prozent Kältemittelaustausch in Altanlagen, 19 Prozent durch Neuanlagenbau.

Die Branchendifferenzierung im R12-Ersatz zeigt Tabelle B, welche auch branchenweise die R12-Ausgangsbestände enthält. Hohe Umrüstquoten (Ersatz in Altanlagen und durch Neuanlagen zusammen) von über 75 Prozent weisen Lebensmittelmärkte (85%), Krankenhäuser (84%) und Industriekühlung (79%) auf. Mittlere Ersatzquoten sind in der Landwirtschaft (64%), bei Fleischern/Metzgern (60%), Großküchen (59%) und Gärtnereien (60%) zu finden. Unter der 50-Prozent-Quote liegen Speiserestaurants (49%) und mit je 41% Bäcker/Konditoren und Gaststätten.

Tab. B: R12-Ausgangsbestände in Tonnen und Ersatzquoten in Prozent nach Branchen der Gewerbekälte		
Kältebranche	R12-Ausgangsbestand in t	Ersatzquoten (alt+neu) in %
Fleischer/Metzger	650	60%
Lebensmittelmärkte	561	85%
Bäcker/Konditoren	302	41%
Großküchen (Kantinen usw.)	243	59%
Speiserestaurants	265	49%
Krankenhauskühlung (o.Klima)	153	84%
Gaststätten (Getränke)	257	41%
Gärtnereien, Blumen/Pflanzen	118	60%
Landwirte, Obst/Gemüse/Milch	663	64%
Industriekühlung	529	79%
Sonstiges*	259	53%
Summe/Gew. Durchschnitt	4000	64%

* Zusammenfassung von Trocknung/Luftentfeuchtung, Klimaanlage und "Sonstiges".
Quelle: vorwiegend eine mit dem VDKF durchgeführte Umfrage bei Kältefachbetrieben.

Allgemein gilt: Je größer der Anlagenbetreiber und seine Anlage, desto höher die Bereitschaft zur R12-Umstellung. Anders ausgedrückt: Je kleiner die Betreiber und ihre Anlagen, desto geringer die Umstellungsbereitschaft.

Fahrzeugklima

Mit Abstand größtes R12-Depot sind die ca. 1,29 Mio. Pkw-Alt Klimaanlage mit einem umstellungsbedürftigen R12-Ausgangsbestand von 1600 Tonnen. Davon wurden nur rd. 90 000 Stück umgerüstet, was einen R12-Ersatz von 112 Tonnen oder 7 Prozent bedeutet. (Vgl. Tabelle C.)

Tab. C: Ausgangsbestand und Ersatz von R12 im Bereich Fahrzeugklima			
Fahrzeugart	R12-Ausgangsbestand 1996	R12-Ersatz bis Mitte 1998t	Ersatzquote
Straßenfahrzeuge	1710 t	138 t	8%
Pkw	1600 t	112 t	7%
Lkw-Fahrerkabinen	30 t	2 t	7%
Reisebusse	80 t	24 t	30%
Schienenfahrzeuge	30 t	30 t	100%
Eisenbahn	30 t	30 t	100%
Alle Fahrzeuge	1740 t	168 t	10%

Bei den sonstigen Fahrzeugen mit ursprünglicher R12-Klimatisierung zeigen Lkw ein gleichermaßen niedriges Ersatz-Niveau von 7 Prozent. Dagegen weisen Reisebusse immerhin 30 Prozent Umstellung auf. Vollständig ist dagegen der R12-Ersatz beim Schienenfahrzeug Eisenbahn. Alle 30 Tonnen R12 von Anfang 1996 wurden bis Mitte 1998 ausgetauscht.

Die hohen Unterschiede beim Umrüstverhalten zwischen Gewerbekälte (64%) und Pkw-Klima (7%) werden hier mit dem unterschiedlich gravierenden Folgen eines leakagebedingten Anlagenausfalls nach dem 30.6.1998 für die Betreiber erklärt. Zwar dauert in beiden Fällen der Stillstand einer R12-Anlage dann länger als einer bereits umgerüsteten, weil R12 zum Nachfüllen fehlt und die zeitaufwendige Umrüstung unvermeidlich geworden ist. Aber der Gewerbetreibende riskiert dabei Warenverluste und Umsatzeinbußen, während der Autofahrer höchstens Einschränkungen des persönlichen Komforts in Kauf nehmen muß. Bei der Bahn ist der Ausfall der Klimaanlage zwar gleichfalls nur eine Komforteinbuße. Aber die Klimatisierung ist im Unterschied zum Autofahrer keine Privatsache des Betreibers, sondern gehört zum (in Normen definierten) Leistungsanspruch, den der Fahrgast mit der Fahrkarte bezahlt.

Großkälte mit Turboverdichtern

In Turboverdichtern, deren Kältemittelmenge von 300 bis 3000 kg reicht, standen Anfang 1996 noch 1000 Tonnen R12 in rd. 1200 Anlagen zur Umstellung an. Zu 40 Prozent befand sich R12 in Turbo-Kaltwassersätzen für die Klimatisierung von Bürogebäuden, Kaufhäusern und Kliniken, zu 60 Prozent in Turboanlagen für industrielle Prozeßkälte, die zu über der Hälfte von der Chemischen Industrie verwendet wurden. Sonstige relevante industrielle Anwender waren Auto- und Lebensmittelindustrie sowie Kernkraftwerke.

Der bis Mitte 1998 durchgeführte R12-Ersatz ist hoch: 84 Prozent (58% Austausch in Altanlagen plus 26% Ersatz durch Neuanlagen). Aufgrund zahlreicher Ausnahmegenehmigungen für den R12-Weiterbetrieb in der Chemischen Industrie liegt die Quote hier nur bei 79 Prozent.

Auch in der Industriekühlung und Großklimatisierung ist die Funktionssicherheit von Kälte- und Klimaanlage Bedingung kontinuierlichen Betriebs. Darum ist die hohe Umrüstung bei den Großkälte-Turboverdichteranlagen keineswegs überraschend. Hier treffen beide Determinanten hoher R12-Umstellung, nämlich überdurchschnittliche Größe von Anlage bzw. Anlagenbetreiber und zweitens Notwendigkeit ausfallsicherer Kühlung, zusammen.

Die beim Altanlagenersatz verwendeten Ersatzkältemittel

Wird bei der R12-Umstellung von Neuanlagen abgesehen und nur der Austausch in bestehenden Altanlagen berücksichtigt, dann sind insgesamt nicht 3560 Tonnen R12-Ersatz (Tabelle A) zu betrachten, sondern nur 2528 Tonnen. Diese setzen sich wie folgt zusammen (Tabelle D):

Tab. D: Verwendete Ersatzkältemittel für Altanlagen in der gesamten umstellungsbedürftigen Kälte- und Klimatechnik in Tonnen						
	R134a	R401A	R22	R413A	404A/507	Andere*
Gewerbekälte	620	512	236	195	117	100
Fahrzeugklima	153			15		
Turboverdichter	580					
Summe	1353	512	236	210	117	100

*Andere: R409A (62 t), R402A (13 t), R401B (10 t), Rest: 15 t weitere R22-haltige Gemische.

Von den 2528 Tonnen Ersatzkältemittel sind 1353 Tonnen (54 Prozent) R134a. Zusammen mit 117 Tonnen R404A/R507 kommen diese Retrofit-Kältemittel (reine H-FKW, die mit dem vorhandenen Öl in der Kälteanlage nicht verträglich sind und einen Ölwechsel verlangen) auf 1470 Tonnen oder 58 Prozent.

Drop-In-Kältemittel, die dem vorhanden Kältemaschinenöl dank der chlorhaltigen Gemischkomponente R22 (R401A, R409A, R402A, R22) oder der chlorfreien Gemischkomponente Isobutan (R413A) einfach zugegeben werden können, wurden in einer Gesamtmenge von 1058 Tonnen oder 42 Prozent genutzt.

Tabelle D zeigt: Die starke Verwendung von R134a geht zu über der Hälfte auf das Monopol bzw. Quasi-Monopol bei Turboverdichtern bzw. Fahrzeugklimaanlagen zurück. Turboanlagenbauer rüsten R12-Anlagen aus technischen Gründen grundsätzlich nur auf den "Einstoff" R134a um. Im Fahrzeugklimabereich besitzt R134a als einziges Ersatzkältemittel die Freigabe durch die Automobilindustrie.

In der Gewerbekälte sind die Kältemittel vielfältiger, und das bei Fahrzeugklima und Turboverdichtern fast ausschließlich angewandte Retrofit-Verfahren mit reinen H-FKW dominiert hier nicht. Zwar führt R134a die Reihe an, kommt aber zusammen mit R404A/R507 nur auf 41 Prozent der in Gewerbekälte-Altanlagen eingesetzten Kältemittel. Der - größere - Rest sind für das Drop-In-Verfahren geeignete Ersatzstoffe wie R401A, R22 und nicht zuletzt das chlorfreie Gemisch R413A.

Wärmepumpen-Anlagen

Die im Rahmen dieser Studie ebenfalls zu untersuchende R12-Substitution bei Wärmepumpen ist mengenmäßig aus folgenden Gründen nahezu bedeutungslos.

Erstens: R12-Warmwasserpumpen (rd. 100 000) sind steckerfertige Geräte unter 1 kg Kältemittel. Zweitens: Heizungswärmepumpen haben zwar eine mittlere Füllmenge von 2,5 kg, doch die knapp 50 000 älteren Geräte laufen fast ausschließlich mit R22 oder R502. Drittens: Große - meist gasbefeuerte - Wärmepumpen für industrielle Zwecke wurden in der Vergangenheit im Inland in einer Stückzahl von etwa 200 Stück mit R12 als Kältemittel installiert, wobei Füllmengen bis zu 500 kg und mehr vorkamen. Rund drei Viertel dieser Anlagen sind mittlerweile stillgelegt. Etwa 50 befinden sich noch im Betrieb und wurden auf R134a umgerüstet. Um mehr als 20 Tonnen R12-Ausgangsbestand geht es bei Wärmepumpen demnach nicht. Zum Vergleich: 6740 Tonnen beträgt der Ausgangsbestand der untersuchten drei Hauptbereiche.

Erster Teil

Gewerbekälte

Mit 4000 Tonnen R12-Bestand in nicht steckerfertigen Anlagen Anfang 1996 ist die Gewerbekälte bei weitem größter Einzelbereich für die Umstellung auf Ersatzkältemittel. Sie wird hier zuerst und ausführlich als Teil I behandelt - vor Teil II Fahrzeugklima und Teil III Großkälte. Ihre Anlagen befinden sich allgemein im mittleren Leistungsbereich und haben Kältemittelfüllungen von 1 bis 100 kg. Fahrzeugklimaanlagen, insbesondere im Pkw, gehören zur nicht steckerfertigen Kleinkälte mit Füllmengen um 1 kg. Bei R12 in der Großkälte geht es um Turbo-Flüssigkeitskühler für industrielle Prozeßkälte und Großgebäude-Klimatisierung mit Füllmengen zwischen 300 kg und 3 Tonnen pro Anlage.

Der nachfolgend verwendete Begriff der Gewerbekälte deckt sich nicht ganz mit dem gängigen Verständnis der Gewerbekälte, die in der Praxis meist mit dem Betätigungsfeld des handwerklichen Kältefachbetriebs gleichgesetzt wird.

Einleitung: Was ist Gewerbekälte in dieser Studie?

Gewerbekälte ist zwar im Kern die vom Kältehandwerker betreute Kühlung verderblicher, konsumnaher Güter - außerhalb des nachgelagerten Privathaushalts und außerhalb vorgelagerter industrieller Lebensmittelerzeugung. Allerdings sind Gewerbekälte und Kühlung verderblicher Waren genausowenig völlig gleichzusetzen wie Gewerbekälte und Kältehandwerk.

Erstens umfaßt Gewerbekälte heute mehr als Konsumgüterkühlung. So kühlen ihre Anlagen u.a. auch in der Industrie Hilfsstoffe, Maschinen und Anlagen.

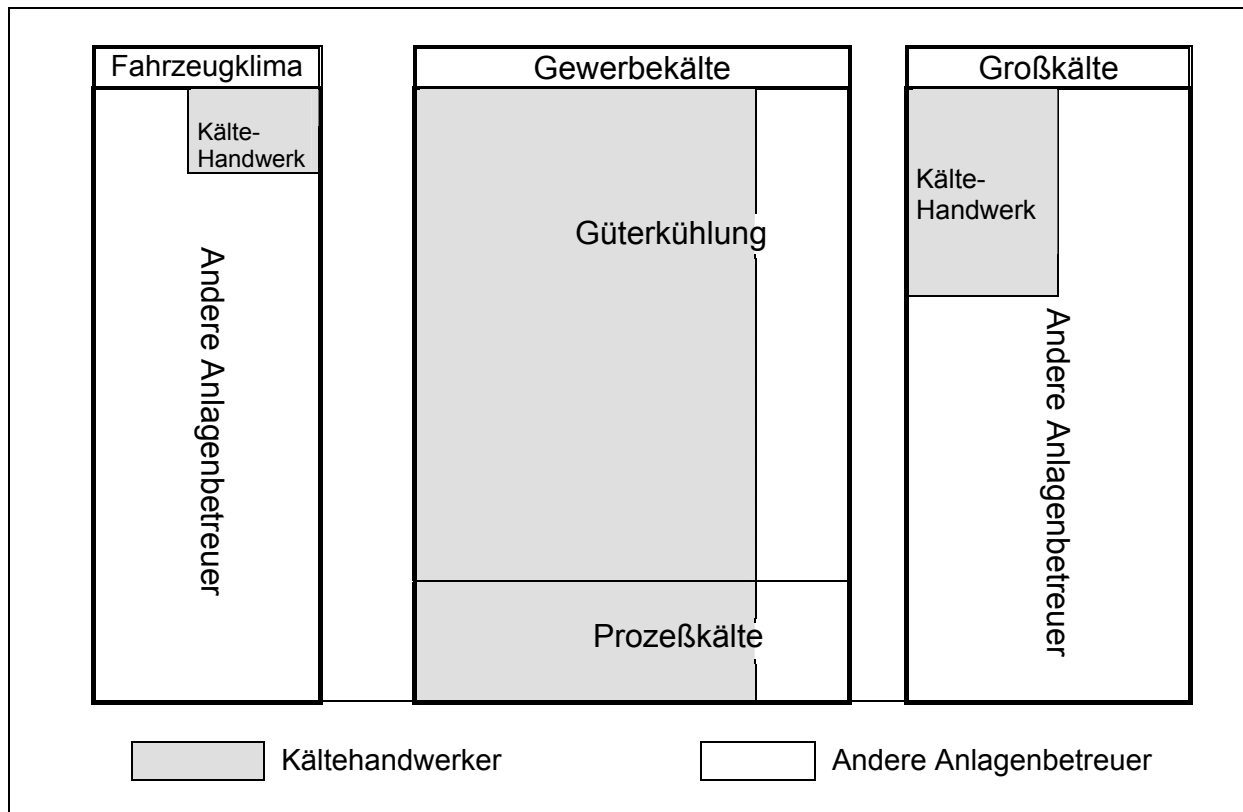
Zweitens haben Kältehandwerker nicht in allen Bereichen der mittleren Konsumgüterkühlung das Installations- und Wartungsmonopol. In Lebensmittelmärkten, bei der landwirtschaftlichen Milchkühlung usw. treten interne und externe Kundendienste industrieller Anbieter als Wettbewerber auf.

Der begrifflichen Erweiterung der Gewerbekälte, nämlich mehr als Konsumgüterkühlung und mehr als handwerklich betreute Kälte zu sein, entspricht in dieser Studie auch eine Einengung: Nicht jede Tätigkeit des Kältefachbetriebs zählt per se zur Gewerbekälte. In gewissem Umfang rüsten Kältehandwerker heute Autoklimaanlagen von R12 auf Ersatzkältemittel um. Sie begeben sich damit von der Gewerbekälte auf das Gebiet der Fahrzeugklimatisierung (vgl. Teil II dieser Studie).

Kältehandwerker sind auch auf dem Sektor der Großkälte tätig, wo sie als Vertragspartner internationaler Großunternehmen der Industriekälte Turbo-Kaltwassersätze von R12 auf R134a umrüsten. Dadurch wird der Turbo-Kaltwassersatz nicht Teil der Gewerbekälte (den Turboanlagen gilt in dieser Studie der spezielle Teil III), sondern in unserer Sicht wird hier der Kältefachbetrieb außerhalb der Gewerbekälte auf dem Gebiet der Großkälte tätig.

Diese Definition der Gewerbekälte beansprucht keine Allgemeingültigkeit¹. Wir sind aber der Meinung, daß sie die für den Zweck, die R12-Umstellung seit Anfang 1996 zu erfassen, tauglich ist.

Zum besseren Verständnis ordnen wir die Gewerbekälte, wie sie nachfolgend vorkommt, in grafischer Form ein.



Die - nicht maßstabsgerechte - Grafik zeigt: Kältehandwerker (grau-schattiert) sind auch außerhalb der Gewerbekälte, bei Fahrzeugklima und Großkälte, aktiv. Innerhalb der Gewerbekälte, die sich ihrerseits in Güterkühlung (oben) und Prozeßkälte (unten) gliedert, teilen sich Kältehandwerk und andere Anlagenbetreuer (weiß) die kältetechnische Arbeit und folglich die R12-Umrüstung.

Schlußfolgerungen für die Darstellung

Für die Untersuchung ist folgende Schlußfolgerung aus der Abgrenzung der Gewerbekälte wichtig: Wie die Grafik verdeutlicht, kann über eine Befragung des Kältehandwerks zwar der größte Teil, aber nicht der ganze R12-Ersatz in der Gewerbekälte erfaßt werden.

Der Umfrage beim Kältehandwerk im Kapitel 1 folgen daher im Kapitel 2 diejenigen Bereiche der Gewerbekälte, wo andere die R12-Umstellung vornehmen. Im Kapitel 3 werden beide Bereiche der Gewerbekälte (Handwerk und andere Anlagenbetreuer) zusammengefaßt.

Der R12-Ersatz des Kältehandwerks bei Fahrzeugklima und Großkälte wird nicht hier, sondern in den beiden anderen Teilen der Studie berücksichtigt.

¹ Vgl. die Debatte um die Systematisierung der kältetechnischen Anwendungen, wie sie jüngst durch den Fachbeitrag von Dieter Steinborn angeregt wurde (Steinborn 1998, 59-62).

Kapitel 1

R12-Ersatz in der handwerklich betreuten Gewerbekälte Ergebnisse einer Befragung

Im diesem Kapitel wird erstens eine beim deutschen Kältehandwerk zum R12-Ersatz durchgeführte Umfrage erläutert. Zweitens folgen die Hauptergebnisse dieser Umfrage. Drittens werden die Resultate nach einzelnen Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte vertieft. Viertens erfolgt eine Hochrechnung von den befragten Kältefachbetrieben auf das gesamte Kältehandwerk.

1.1 Umfrage unter Kältefachbetrieben vom Juni 1998

Eine stichprobenhafte Befragung der handwerklichen Kältefachbetriebe zur im Zeitraum 1996 bis Mitte 1998 durchgeführten R12-Umstellung fand mit Unterstützung der beiden kältetechnischen Fachverbände im Juni 1998 statt.

1.1.1 Adressenauswahl durch VDKF

Angeschrieben wurden 194 Kältefachbetriebe in ganz Deutschland. Der Adressatenkreis spiegelte das deutsche Kälte-Klima-Handwerk gleichmäßig wider, nicht nur geographisch, sondern auch hinsichtlich Betriebsgröße usw. Dies wurde dadurch gewährleistet, daß der Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe (VDKF) nach Abstimmung mit dem Bundesinnungsverband des Deutschen Kälteanlagenbauerhandwerks (BIV) die Adressenauswahl besorgte und dem Auftragnehmer zur Verfügung stellte.

Der Fragebogen für die Untersuchung wurde in Abstimmung mit dem VDKF (R.Pütz) und der Bundeskältefachschule in Maintal (M.Giebe) sowie zwei Kälte-Klima-Fachbetrieben (Pithardt, Hanau, und Pietz, Großkrotzenburg) erarbeitet.

1.1.2 Fragebogen auf wenige Schätzdaten konzentriert

Der am Ende dieses Abschnitts abgedruckte Fragebogen beschränkte sich im Interesse hohen Rücklaufs auf eine Seite und konzentrierte sich auf wenige Fragen, die ohne Hilfe von Aufzeichnungen aus freier Erinnerung zu beantworten waren. Unter diesen Voraussetzungen waren grobe Abschätzungen erbeten, nicht exakte Werte aus den Geschäftsunterlagen von zweieinhalb Kalenderjahren.

Der Postversand an die 194 Betriebe fand vom 26. bis 29.5.1998 statt, eine allgemeine Erinnerung mit modifiziertem Fragebogen folgte eine Woche später per Fax. Rücksendungen trafen bis zum 19.6.1998 ein. Bei über der Hälfte der eingegangenen Antworten wurden Details im Direktgespräch nachgeklärt.

1.1.3 Fernmündliche Nachkorrektur

Die mündliche Nachkorrektur lieferte zusätzliche Informationen zur Ergänzung des Fragebogens. So ermittelte dieser zwar für den Umkreis des Kältefachbetriebs spezifische Quoten der Kältemittelumstellung nach Branchen (Frage 3), nicht aber den relativen Anteil eben dieser Branchen am R12-Ausgangsbestand von 1996. Erst die Kombination von Ersatzquote und dem Gewicht der Branche am Ausgangsbestand läßt hochrechenbare Aussagen zu den einzelnen Branchen der Gewerbekälte zu.

1.1.4 Rücklauf fast 60 Prozent

Von den 194 ausgesendeten Fragebögen wurden 114 zurückgesandt. Das entspricht einem Rücklauf von fast 60 Prozent. Vom Rücklauf waren 7 Bögen nicht brauchbar (unvollständig, Befragung abgelehnt) und sechs Bögen stammten aus Betrieben,

Tab. 1: Zahlen zur Umfrage Juni 1998	
Aussendungen	194
Rücklauf	114
davon nicht brauchbar*	7
davon Betriebe ohne R12-Umstellung	6
Kältebetriebe mit R12-Umstellung	101

* unvollständig ausgefüllt; Befragung abgelehnt.

die durch exklusive Ausrichtung auf Industriekälte oder Klimatisierung mit R12 in der Gewerbekälte keinen Umgang hatten. Von diesen sechs Kälte-Klimafachbetrieben sind drei reine Klimabetriebe, die nur mit R22 zu tun haben. Drei Betriebe sind zwar sehr stark mit R12-Umstellung befaßt, aber ausschließlich auf dem Gebiet der Großkälte, d.h. Turboverdichteranlagen.

1.1.5 Die 101 befragten Betriebe der Gewerbekälte

Es blieben 101 Betriebe übrig, welche für die Gewerbekälte die Eingangsfrage bejahten, ob sie "Kunden betreuen, die Anfang 1996 noch R12 hatten". Von diesen Betrieben wirken 87 in den alten und 14 in den neuen Bundesländern. Auf den Schätzdaten dieser 101 Betriebe beruhen im wesentlichen die hier präsentierten Erkenntnisse zur R12-Umstellung in der Gewerbekälte. Zwei der 101 Betriebe haben R12 nicht in Altanlagen, sondern nur durch Neuanlagenbau ersetzt. Folglich haben nur 99 Betriebe bestehende Altanlagen umgerüstet.

Von den 101 Fachbetrieben sind 93 Mitglied des VDKF, 4 ausschließlich BIV-Mitglieder, und 4 sind Niederlassungen eines in allen neuen Bundesländern vertretenen großen Gewerbekälteunternehmens. Die zusätzliche Auswahl von Nicht-VDKF-Mitgliedern erwies sich wegen der neuen Bundesländer als notwendig, da dort aus historischen Gründen nicht die kleinbetriebliche Struktur des westdeutschen Kälteanlagenbauerhandwerks besteht und die dort ansässigen, meist kleineren VDKF-Betriebe nicht als repräsentativ für die Gewerbekälte der neuen Bundesländer im ganzen gelten können.

Insgesamt als Basis repräsentativ und auf die gesamte handwerklich betreute Gewerbekälte hochrechenbar waren die Antworten von 101 handwerklichen Kältefachbetrieben.

Fragebogen

zum R-12-Austausch in Altanlagen der Kältetechnik

Gruppe: Kältehandwerk

1. Betreuen Sie Kunden, die Anfang 1996 noch R 12 hatten?

○ Ja	○ Nein	Bei "Nein", bitte ebenfalls zurück (siehe 6.)
---------	-----------	---

2. Wenn "Ja": Was geschah mit diesen Anlagen zwischen 1/1996 und 6/1998, wenn Sie die darin enthaltene R-12-Menge als 100% nehmen?

*Bitte für diese Anlagen **insgesamt** grob **schätzen** und Prozentsätze eintragen.*

Umstellung auf Ersatzkältemittel* in <u>bestehender</u> Altanlage %	Komplette <u>Neuanlage</u> mit neuem Kältemittel %	weiter mit R 12 %
---	--	----------------------------

* "Ersatzkältemittel": Ohne R22 wie R134a/404A/407C/413A oder mit R22 wie R22, 401A/B, 409A.

3. Könnten Sie diese Angabe nach einzelnen Anwendern aufgliedern?

Von Ihnen nicht betreute Anwender bitte durchstreichen! (Jede Zeile gibt 100%!)

Anwender	Umstellung auf Ersatzkältemittel in <u>bestehender</u> Altanlage in %	Komplette <u>Neuanlage</u> mit neuem Kältemittel in %	Weiter mit R-12 in %
Fleischer/Metzger			
Lebensmittelmärkte			
Großküchen (Kantinen usw.)			
Speiserestaurants			
Gaststätten (nur Getränke)			
Gärtner und Blumenläden			
Krankenhaus (Kühlung ohne Klima)			
Landwirtschaft, Obst, Gemüse			
Bäcker/Konditoren			
Trocknung/Druckluftentfeuchtung			
Klimaanlagen			
Industriekühlung			
Sonstiges			

4. Aufteilung der Kältemittel für bestehende R12-Altanlagen (nicht Neuanlagen):

Kältemittel	Anteil in Prozent
R 134a	
R 413A (Isceon 49)	
R 404A (HP 62; FX 70), R 507	
R 22	
R 401A (MP 39)	
R 409A (FX 56)	
Andere	
Summe	100 %

5. Diese 100% Ersatzkältemittel für bestehende R-12-Altanlagen (ohne Neubeu) - wieviel war das etwa in Kilogramm? (Wichtig!)

Ersatzkältemittel für Altanlagen (vorher R 12): kg

**6. Bitte innerhalb einer Woche an: Öko-Recherche, Kaiserstr. 61, 60329 Frankfurt. Fax: 069-25 23 06
Vielen Dank für Ihre Mitarbeit.**

1.2 Hauptergebnisse der Umfrage

1.2.1 Kältehandwerk: R12-Ersatz zu 63 Prozent

Bis Juni 1998 wurden von den befragten 101 Kältefachbetrieben 63 Prozent der Anfang 1996 bei ihren Kunden der Gewerbekälte vorhandenen Menge des Kältemittels R12 (193,9 Tonnen) ersetzt, und zwar durch Kältemittel mit keinem oder mit nur geringem Ozonschicht-Zerstörungspotential (ODP).

Tab. 2: R12-Ersatz durch das Kältehandwerk – in Tonnen und Prozent Bezug: 101 befragte Fachbetriebe, Zeitraum Anfang 1996-Mitte 1998		
	Tonnen	Prozent
1. Ersatz in Altanlagen	81,7	42
2. Ersatz durch Neuanlagenbau	40,1	21
<i>Ersatz (alt + neu)</i>	<i>121,8</i>	<i>63</i>
3. R12-Weiterbestand	72,1	37
<i>R12-Ausgangsbestand 1996</i>	<i>193,9</i>	<i>100</i>

Tabelle 2 und Diagramm 1 zeigen: 42 Prozent der von den befragten Betrieben betreuten R12-Ausgangsmenge wurden in bestehenden Anlagen ausgetauscht. Weitere 21 Prozent des R12-Bestands schieden im Rahmen eines Anlagenneubaus zugunsten neuer Kältemittel aus. 37 Prozent des R12-Bestandes sind geblieben.

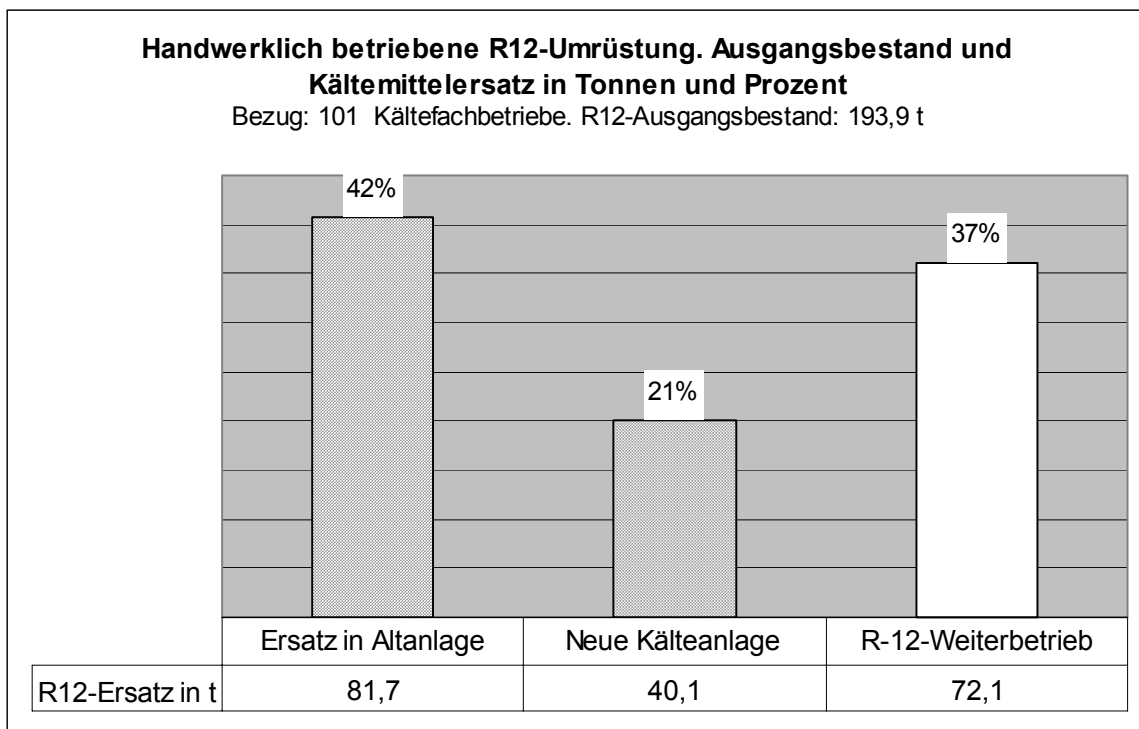


Diagramm 1: Handwerkliche Umrüstung von R12-Anlagen der Gewerbekälte 1/96-6/98. 63 Prozent des R12-Ausgangsbestandes von 193,9 t wurden ersetzt, davon 42 Prozent in bestehenden Anlagen. 21 Prozent schieden im Zuge von Neubauten aus. 37 Prozent R12 blieben.

Diese Prozentsätze ergeben sich aus der Gesamtheit der Angaben von 101 repräsentativ befragten kältetechnischen Handwerksbetrieben.

Im einzelnen nennen die individuellen Kältefachbetriebe unterschiedliche Umstellungsquoten (Altanlagenersatz und Neubau zusammen).

- 43 Betriebe nennen Umstellungen von über 75 Prozent.
- 37 Betriebe nennen Umstellungen zwischen 50 und 75 Prozent.
- 21 Betriebe nennen Umstellungen unter 50 Prozent.

Sechs Betriebe führen sogar einen Umrüstgrad von 100 Prozent an, während auf der anderen Seite nur drei eine Quote von unter 20 Prozent nennen.

1.2.2 Der Anteil von Neuanlagen an der Umrüstung

Im Durchschnitt erfolgte der R12-Ersatz zu 21 Prozent durch Neuanlagen. Unter Neuanlage wurde von den Befragten im allgemeinen keine 100-prozentige Neuinstallation des gesamten Kältekreislaufs verstanden, allerdings auch mehr als der Wechsel eines Verdampfers oder Einspritzventils. Da vorhandene Komponenten oft teilweise weitergenutzt werden können, gilt als Neuanlage, wenn die Gesamtkosten der Umrüstung 50% einer kompletten Neuinstallation übersteigen.

Angesichts einer mittleren Lebensdauer von Anlagen in der Gewerbekälte von 12 bis 18 Jahren war im Zeitraum von 2 ½ Jahren (Januar 1996 – Juni 1998) eine Totalüberholung (Neubau) im Umfang von 14 bis 21 Prozent zu erwarten.

Vorgezogene Neuananlagenbauten

Der Umstand, daß 21 Prozent des R12-Ersatzes durch Neuanlagen erfolgten, läßt nicht den Schluß zu, daß die Bekanntgabe der 30-Monatsfrist für den R12-Ausstieg in hohem Maße vorgezogene Neubauten ausgelöst hat. Allerdings in gewissem Umfang doch. Es gilt die – mehrfach mitgeteilte – Erfahrung: Je kleiner eine Anlage, desto eher wird sie im Reparaturfall komplett erneuert. Hintergrund: Bei Kleinanlagen mit 1-2 kg Kältemittel, wie sie etwa in Gaststätten oder bei Bäckern üblich sind, fallen die Arbeitskosten gegenüber den Sachkosten so stark ins Gewicht, daß ein neues Kälteaggregat kaum teurer ist als der Kältemittelwechsel in der Altanlage. Dazu kommt, daß solche Kleinanlagen meist mit vollhermetischen Verdichtern arbeiten, die einen Öl- und Kältemittelaustausch erschweren.

Hier ist anzumerken, daß die Kältefachbetriebe in der Frage Altanlagenfortbestand oder Neuanlage keine einheitliche Position vertreten. Immerhin führten elf Betriebe überhaupt keinen R12-Ersatz durch Neuanlagen durch, sondern ausschließlich in Altanlagen. Andererseits gab es nur zwei Betriebe, die eine Altanlagenbefüllung mit Ersatzkältemitteln grundsätzlich ablehnen und nur Neuanlagen einrichten. Die Mehrheit der Kältefachbetriebe (insgesamt 82) hat – in Abhängigkeit von Alter und Zustand der R12-Anlage - beide Verfahren angewandt.

1.2.3 Umrüstquote in neuen Bundesländern höher als in alten

Tabelle 3 zeigt für die alten Bundesländer nahezu das Schema "40:20:40", nämlich:

- 40% Ersatz in Altanlagen,
- 20% Ersatz durch Neubau,
- 40% Weiterbetrieb von R12.

Tab. 3: R12-Ersatz in alten und neuen Bundesländern – in Tonnen und Prozent				
	ABL (87 Betriebe)		NBL (14 Betriebe)	
	<i>Tonnen</i>	Prozent	<i>Tonnen</i>	Prozent
Ersatz in Altanlage	65,4	40,8	16,3	48,2
Ersatz durch Neuanlagen	30,8	19,2	9,3	27,6
Zusammen (Umrüstquote)	96,2	60,0	25,6	75,8
<i>R12-Ausgangsbestand</i>	160,1	100	33,8	100

Tabelle 3 zeigt aber auch für die neuen Bundesländer (NBL) eine höhere Umrüstquote als in den alten (ABL).

In den neuen Bundesländern (NBL) ist die Umrüstquote um etwa 15 Prozent höher (75,8 Prozent), und dieser höhere Wert verdankt sich nicht nur höherem Altanlagenersatz (48,2%), sondern auch einer höherer Neubauquote (27,6%). Die hohe Umrüstquote (alt plus neu) ist nicht auf einzelne "Ausreißer" zurückzuführen: Der Kältebetrieb der NBL mit der niedrigsten Quote weist immerhin noch eine Umstellung von 60 Prozent auf.

In den neuen Bundesländern ist R12 weit weniger ein Thema der Kältetechnik als in den alten. Im Jahre 1996 war R12 – gemessen am Bestand der alten Bundesländer – in weit geringerem Umfang noch vorhanden und folglich zu ersetzen. Die Erklärung dafür ist nicht umwelt-, sondern wirtschaftspolitischer Art.

Wirtschaftspolitischer Hintergrund der hohen Umrüstung

Die Hauptbetreiber gewerblicher R12-Kälteanlagen, nämlich Lebensmittel-, Fleisch- und Backwarenhandel sowie Betriebskantinen und andere Großküchen, wurden in den neuen Bundesländern nach 1990 zahlenmäßig stark reduziert. Speiserestaurants und Gaststätten hatte es ohnehin nicht in so großer Dichte wie in der alten Bundesrepublik gegeben. In der ersten Hälfte der 90er Jahre wurde eine Vielzahl von Lebensmittelmärkten und gastronomischen Einrichtungen völlig neu errichtet, und deren Kühlanlagen wurden mit neuen Kältemitteln auf Basis von HFKW oder wenigstens R22 befüllt. Dazu kommt, so wurde von Kältebetrieben der NBL berichtet, daß schon in den letzten Jahren der DDR häufiger als in der Bundesrepublik R22 anstelle von R12 eingesetzt worden war.

Diese beiden Faktoren bewirkten, daß es in den neuen Bundesländern im Jahre 1996 weniger Kundenüberzeugung seitens der kältetechnischen Fachbetriebe bedurfte als in den alten Bundesländern, um den Restbestand von R12 in der Gewerbekälte zu ersetzen und somit eine hohe Umrüstquote zu erreichen.²

1.2.4 Die beim Ersatz in Altanlagen verwendeten Kältemittel

Im Fragebogen wurde ausdrücklich eine Abschätzung der verwendeten Menge von Ersatzkältemitteln "für Altanlagen (nicht Neuanlagen)" und darüber hinaus deren prozentuale Zusammensetzung nach einzelnen Typen erbeten.³

² Ein 1989 in den neuen Bundesländern gegründeter Betrieb meldete, daß er trotz Engagements in der Gewerbekälte bisher keine einzige R12-Anlage in seinem Kundenkreis angetroffen habe. (Der Fragebogen wurde den sog. nicht brauchbaren Rückmeldungen zugeordnet – s. Tabelle 1.)

³ Da, wie in 1.2.2 angemerkt, zwei der 101 Kältebetriebe R12-Ersatz ausschließlich durch Neuanlagen durchführten, beziehen sich folgende Angaben grundsätzlich auf Auskünfte von nur 99 Betrieben.

Das Umweltbundesamt hatte in seiner "Bekanntmachung von Ersatzkältemitteln für R 12-haltige Erzeugnisse nach der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung" vom 30. Dezember 1995 zwar erklärt, daß die Kältemittel R134a bzw. R22 eingesetzt werden können. Damit wurden aber andere Kältemittel nicht ausgeschlossen.

Quantitativ bedeutend sind die sieben Kältemittel, die in Tabelle 4 aufgeführt sind. Diese Kältemittel wurden für die Altanlagenbefüllung eingesetzt.

Tab. 4: Eigenschaften der Kältemittel für den R12-Ersatz in Altanlagen der handwerklich betreuten Gewerbekälte						
Kältemitteltyp	Zusammensetzung (Massen-%)			Siedebeginn (bei 1 bar)	ODP (R11 = 1)	GWP (100a)
R134a	R134a 100%			- 26,1°C	0	1300
R22	R22 100%			-40,8°C	0,055	1700
R401A	R22 53%	R152a 13%	R124 34%	-33°C	0,037	1082
R413A	R134a 88%	R218 9%	R600a 3%	-26,5°C	0	1774
R404A	R143a 52%	R125 44%	R134a 4%	-46,4°C	0	3260
R507	R143a 50%	R125 50%		-46,5°C	0	3300
R409A	R22 60%	R142b 15%	R124 25%	-34,5°C	0,05	1440
R402A	R22 38%	R125 60%	R290 2%	-49,1 bis -47,2°C	0,02	2326

Quellen: Zusammensetzung: Deutscher Bundestag 1997, 55-64; GWP-Werte: IPCC 1995. Andere Gemische wie R407C, R403A und 408A kamen nur in Geringstmengen vor. Die in der Transportkälte eingesetzten R401B und 409B ähneln sehr R401A bzw. R409A.

1.2.4.1 Technische Erläuterung zu den Kältemitteln

Retrofit ohne und Drop-In mit ODP

R134a und R404A/507 sind reine HFKW, die mit dem vorhandenen Öl in der Altanlage generell nicht verträglich sind. Ihr Einsatz ist mit Absaugung und Ausspülung des Öles verbunden sowie mit der Neuzugabe von Esteröl. Wegen des Ölwechsels und des erforderlichen Wechsels der Dichtungen und ev. anderer Komponenten spricht man im Falle des Einsatzes reiner HFKW vom Retrofit-Verfahren, das aufwendiger und folglich teurer ist als Drop-In. Drop-In-Kältemittel sind aufgrund ihres R22-Bestandteils mit dem Kältemaschinenöl der Altanlage verträglich, so daß ein Ölaustausch unterbleiben kann. Zu diesen Kältemitteln gehören außer R22 das R401A, R409A und R402A.

Der Nachteil der genannten Drop-In-Kältemittel ist ihr nach wie vor bestehendes Potential zur Zerstörung der Ozonschicht (ODP), das aus ihrem Chlor- bzw. R22-Gehalt entspringt. Damit unterliegen diese Stoffe dem Montrealer Abkommen sowie der nationalen Regulierung, die mittelfristig den Ausstieg aus dem H-FCKW R22 vorsieht. Diese Kältemittel gelten daher als Übergangskältemittel.

Drop-In ohne Ozon-Zerstörungs-Potential: R413A

Eine Sonderrolle spielt R413A. Es besteht hauptsächlich aus R134a, aber zu gewissen Teilen aus dem vollfluorierten FKW R218 sowie Isobutan (R600a). Während das Isobutan statt R22 die Verträglichkeit mit herkömmlichem Öl garantiert, verhindert der Zusatz des vollfluorierten Kohlenwasserstoffs R218 (C_3F_8) die Brennbarkeit des Gemischs (Voigt 1998). Diese Zusätze sind chlorfrei, somit ohne ODP. Da R413A zwar ein Drop-In, aber kein Übergangskältemittel mit ODP ist, hat es in den letzten beiden Jahren einen Aufschwung erfahren.⁴

Auch Tiefkühl-Kältemittel als R12-Ersatz

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, sind aufgrund ihres niedrigen Siedepunkts sowohl R 404A/R507 als auch R402A an sich Kältemittel für die Tief- nicht für die Normalkühlung, die mit R12 betrieben wurde. Dennoch bedeutet das Vorkommen dieser Kältemittel nicht fehlerhaftes Ausfüllen des Fragebogens. Vielmehr hat sich erwiesen, daß z.B. R404A nach oben hin einen großen Temperaturbereich abdecken kann, der früher R12 vorbehalten war. Auch R22 hat einen viel tieferen Siedepunkt als R12, nämlich $-40,8^{\circ}C$, und wird gleichfalls als R12-Ersatzstoff benutzt. Das Konzept "ein einziges Kältemittel für die Tief- und Normalkühlung" anstatt zweier Kältemittelkreisläufe erwies sich vielerorts als tragfähig.

Natürliche Kältemittel

Sogenannte natürliche Kältemittel wie die Kohlenwasserstoffe Propan und Isobutan oder Ammoniak sind R12 nicht nur ökologisch überlegen, sondern gerade in kleineren Anwendungen ihm häufig thermodynamisch ebenbürtig. Wegen der erforderlichen zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen kommt ihre Anwendung beim R12-Altanlagenersatz "nur in Ausnahmefällen" (Ahnefeld/Vollmer 1998, 57) vor bzw. in unserer Umfrage gar nicht. Ein in der Fachliteratur beschriebener Fall der Umstellung einer Krankenhauskühlung von R12 auf R290 plus Flo-Ice umfaßt derart viele Umbaumaßnahmen (G.S./P.W. 1998), daß er u.E. als Neuinstallation zu werten ist, nicht als Ersatz in bestehender Altanlage.

1.2.4.2 Die Kältemittelmengen für die Altanlagenumrüstung

Die vorliegende Studie untersucht primär den R12-Ersatz in Altanlagen. Das ist der Grund dafür, daß bei Neuanlagen, die R12-Anlagen ersetzen, die Kältemittel nicht erfaßt wurden. Daß R134a dabei das Hauptkältemittel ist, ist jedoch unbestritten.

Auch in bestehenden Altanlagen ist lt. Diagramm 2 das R134a mit Abstand das vom Kältehandwerk am meisten verwendete Ersatzkältemittel für R12 (39%). Es folgt das R22-haltige Gemisch R401A mit 22%. An dritter und vierter Stelle kommen R22 (14%) und das chlorfreie R413A (12%). An fünfter Stelle folgen die gleichfalls chlorfreien Gemische R404A bzw. R507 (8%). Die anderen Gemische sind von untergeordneter Bedeutung. Insgesamt verwendet das Kältehandwerk für Altanlagen mit ca. 59% deutlich mehr chlorfreie Ersatzkältemittel für R12 als chlorhaltige.

⁴ Ökologische Bedenken richten sich gegen das im Gemisch enthaltende R 218. Dieser Stoff gehört zur Gruppe der perfluorierten Alkane und hat eine sehr lange atmosphärische Verweilzeit von 2600 Jahren gegenüber R134a mit 16 Jahren. Sein Beitrag zum Treibhauseffekt steigt gegenüber R134a bzw. CO_2 mit der Länge des angelegten Zeithorizontes an (Elsner 1998, 36/37).

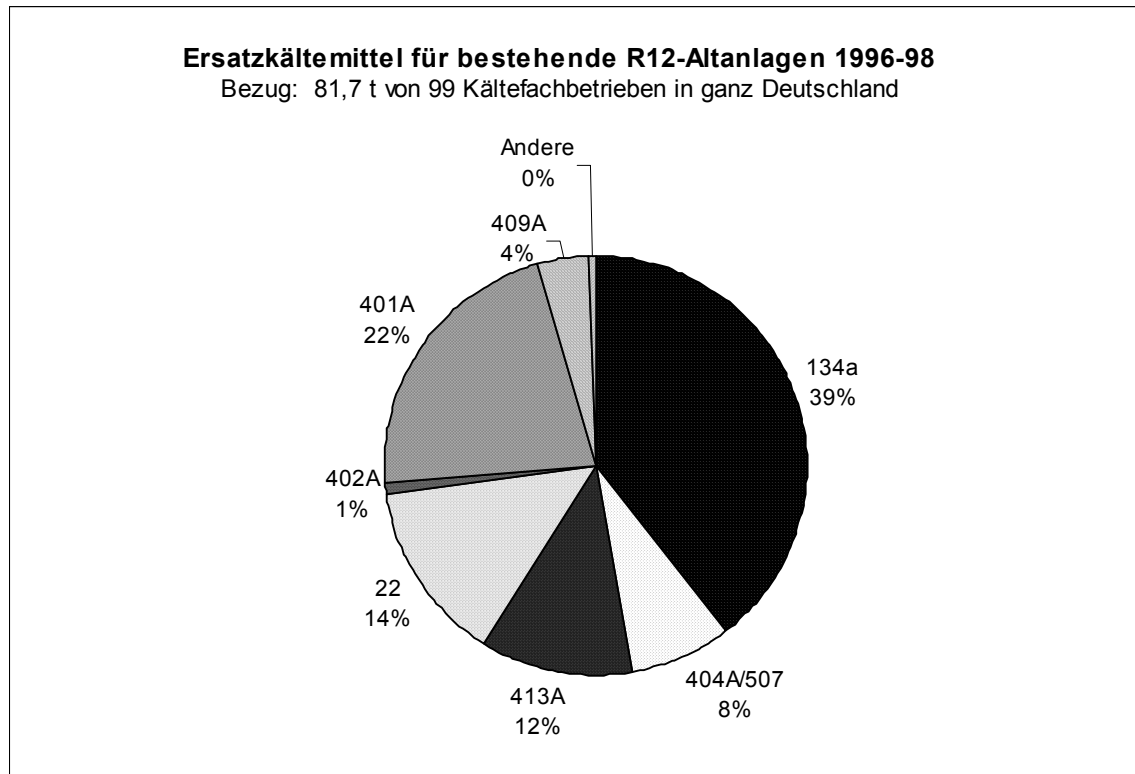


Diagramm 2: Ersatzkältemittel für bestehende R12-Altanlagen 1996-1998. Es dominiert mit 39% klar das "Retrofit"-Kältemittel R134a. Retrofitkältemittel, d.h. reine HFKW, die einen Ölwechsel in der Anlage verlangen, sind auch R404A/R507 (8%). Zusammen von gleichgroßer bis größerer Bedeutung sind Drop-In-Kältemittel, die ohne Ölwechsel einsetzbar sind. Zu den wichtigen Drop-In gehören R401A, R413A, R22 und 409A.

Retrofit-Kältemittel R134a am häufigsten verwendet

Beim Ersatz in Altanlagen ist nicht nur von der Tonnage, sondern auch von der Anwendungshäufigkeit her der Favorit R134a. Es wird von 84 Kältefachbetrieben eingesetzt, d.h. von allen, die nicht ausschließlich nach dem Drop-In-Verfahren arbeiten. In 44 Fällen war es das meistverwendete Kältemittel für Altanlagen.

Wichtigste Drop-In Kältemittel: R401A und R413A

Die Drop-In-Kältemittel R401A, R22, R413A, R409A und R402A sind zwar einzeln nicht so bedeutend wie R134a. Aber zusammen werden sie in größerem Umfang (53%) eingesetzt als Retrofit-Kältemittel. Unter den Drop-In-Kältemitteln ist R401A mit einem Anteil von 22% am R12-Ersatz von Altanlagen das wichtigste. R22 kommt an zweiter Stelle, nimmt aber an Bedeutung seit 1996 ab, und zwar vor allem gegenüber dem chlorfreien R413A. Für den Vorsprung von R401A gegenüber R413A ist u.E. ausschlaggebend, daß R401A früher auf dem Markt verfügbar war.

Neuanlage, Retrofit und Drop-In je zu einem Drittel beteiligt

Von Kälteexperten wird als Entscheidungsschema für den R12-Ersatz die Restnutzungsdauer der Anlage angeführt. Bei mittellanger Restnutzung empfiehlt sich Retrofit, bei kurzer bzw. sehr kurzer Lebensdauer genügt Drop-In bzw. sollte eine auf das Ersatzkältemittel optimierte Neuanlage erwogen werden (vgl. u.a. Beermann 1998; Ahnefeld/Vollmer 1998). Die 63% R12-Ersatz in der Gewerbekälte setzen sich aus 21% Neubauten und 42% Altanlagenersatz zusammen, dessen Kältemittel wieder je zur Hälfte Retrofit- (47%) bzw. Drop-In-Stoffe (53%) sind. Somit bestätigt die Studie, daß alle drei Verfahren etwa gleichmäßig, je zu einem Drittel, vorkommen.

1.3 R12-Ersatz des Handwerks nach Branchen der Gewerbekälte

In 47 von 101 Fällen schätzten die befragten Betriebe nicht nur für ihren Kundenstamm Branche für Branche die Umstellquoten ab ("Wieviel 1996er R12 ist bei den Bäckern jetzt umgestellt?"), sondern darüber hinaus auch das relative Gewicht der einzelnen Branchen am 1996er R12-Ausgangsbestand des ganzen Kundenstamms. Demzufolge ergibt sich die in Diagramm 3 abgebildete Aufteilung der R12-Ausgangsbestände in der handwerklich betreuten Gewerbekälte vor der 1996 einsetzenden Kältemittelumstellung.

Vor dem Mißverständnis ist zu warnen, daß damit die allgemeine Struktur der Gewerbekälte abgebildet würde. Es handelt sich um weniger:

Erstens wird nur Kühlung mit R12 dargestellt, nicht mit R22, R502 bzw. ihren Ersatzstoffen. Es zählen auch nicht die Anlagen, die schon vor 1996 ein R12-Ersatzkältemittel enthielten. So sind Lebensmittelmärkte schon deshalb gegenüber Fleischern geringer vertreten, weil ihre Neuanlagen früher (ab 1988) R22 als Standardkältemittel hatten.

Zweitens: Das Diagramm 3 enthält nur die vom Kältehandwerk ("Frigoristen") betreuten Anlagen. Bereiche wie Milchkühlung oder Lebensmittelmärkte werden in beachtlichem Umfang auch von industriellen Anbietern betreut, die zugleich Kühlgeräte bzw. Kühlmöbel herstellen und liefern, und auch in der Transportkälte gibt es kein handwerkliches Monopol.

Aus Diagramm 3 geht hervor, daß R12 in handwerklich betreuten Gewerbekälte-Anlagen zu über 80 Prozent zur Kühlung verderblicher Konsumgüter eingesetzt wurde. Dieser Bereich ist durch die weißen Segmente der Säule dargestellt, die von Fleischer/Metzgern (17%) bis zur Landwirtschaft (16%) reichen. Oberhalb der 80%-Linie beginnen andere Kühlprozesse, von denen die industrielle Prozeßkälte (ohne Turboanlagen) mit über 13% des R12-Ausgangsbestands die wichtigste ist.

1.3.1 Die 1996er R12-Ausgangsbestände der Branchen der Gewerbekälte

Im einzelnen geht es um folgende Branchen (in Klammern der geschätzte Anteil am R12-Ausgangsbestand der handwerklich betreuten Gewerbekälte):

1.3.1 Fleischer/Metzger (17%)

Den größten Einzelposten der R12-Kühlung stellen Fleischer/Metzger dar. Die im Jahre 1997 noch 21 500 handwerklichen Fleischerbetriebe zzgl. ihrer 11 000 Filialen unterhalten im allgemeinen zwei Kühllhäuser, einen Ladenkühlraum und zwei gekühlte Theken (Lutz 1998). Diese Kühlstellen für Tief- und Normalkühlung werden häufig über zentrale Verdichter mit Kälte versorgt. Bevor ab 1990/1992 einheitlich R22 in Neuanlagen für beide Kühlbereiche zum Einsatz kam, wurden Fleischerbetriebe mit je einem Kältemittelkreislauf für R502 und R12 ausgestattet. Die mittlere Füllmenge im Fleischerbetrieb beträgt 20-40 kg. Bei den 7000 Eigenschlachtern ist sie etwas höher.

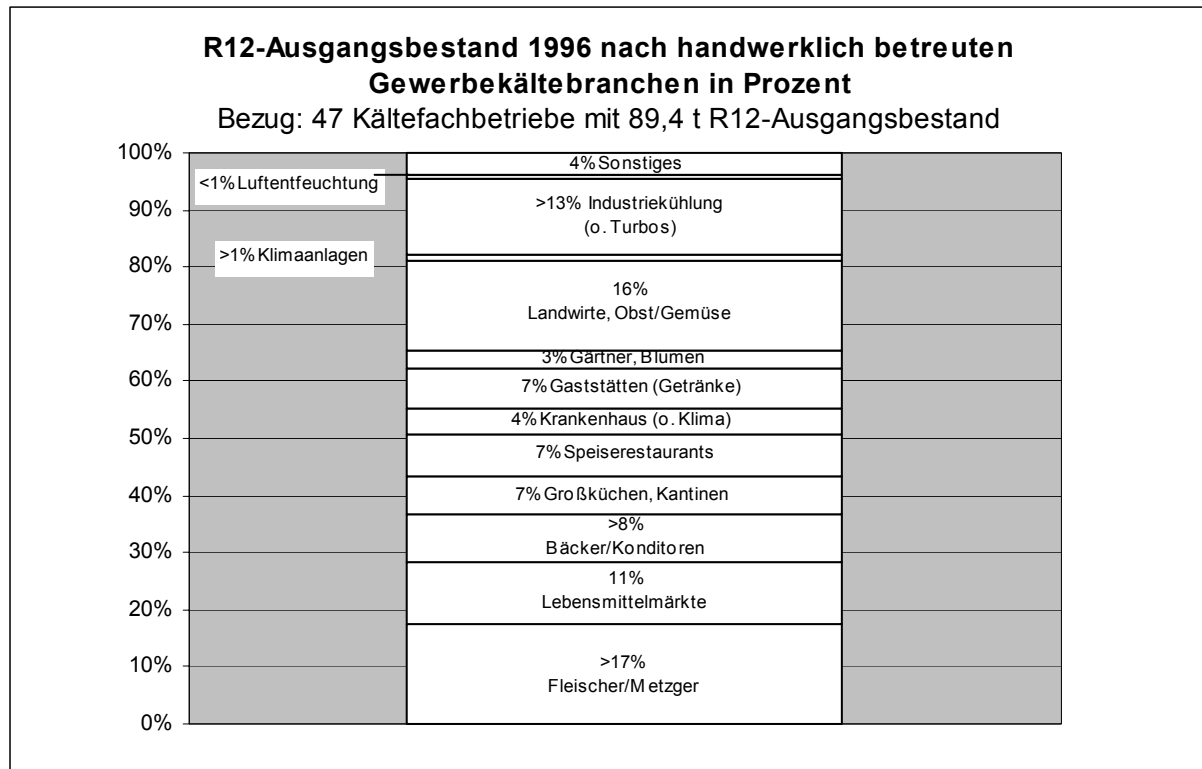


Diagramm 3: R12-Ausgangsbestand 1996 nach Gewerbekältebranchen in Prozent. Der lebensmittelbestimmte Bereich ist durch die unteren Säulensegmente dargestellt. Sie reichen von den Fleischern (17%) bis zur Landwirtschaft (16%). Oberhalb der 82%-Linie sind andere Kühlprozesse aufgetragen, von denen die Industriekühlung mit über 13% der größte ist.

1.3.2 Lebensmittelmärkte (11%)

Die 50 000 Lebensmittelmärkte (Stand 1997, M+M Eurodata 1998, 75 ff.), sind die größten Kältemittelverbraucher im mittleren Kälteleistungsbereich. Allerdings wurde bei Neuanlagen schon früh (ab 1989) weitgehend auf R12 zugunsten R22 verzichtet. Dies gilt für - wie in Fleischereien übliche - Zentralverdichter-Anlagen mit mehreren Kühlstellen, nicht für im Lebensmittelmarkt häufig vorhandene steckerfertige Einzelregale und -truhen unter 1 kg Kältemittel. Kleine Supermärkte haben weniger Kältemittel als Fleischereien, große Verbrauchermärkte haben in weitverzweigten Verbundanlagen Füllmengen von 200 kg und mehr für die Normalkälte.

1.3.3 Bäcker und Konditoren (8%)

Jeder der 25 000 handwerklichen Bäckerbetriebe zzgl. ihrer 21 000 Filialen (1997) verfügt über Kühleinrichtungen (Schafscheer 1998). Dazu kommen 4000 Konditoren. Theken, Vitrinen und Verkaufsregale sind teils steckerfertige Geräte unter 1 kg Kältemittel, teils aber auch größer und somit umstellungsbedürftig. R12 kommt auch als Kältemittel für den mit Einzelverdichter betriebenen Kühlraum vor, den praktisch alle Backbetriebe und Konditoreien zur Lagerung und Frischhaltung haben.

1.3.4 Großküchen/Kantinen, Speiserestaurants, Krankenhäuser (7%, 7%, 4%)

Die drei Branchen Großküchen/Kantinen, Speiserestaurants und Krankenhäuser haben als gemeinsamen Nenner den Kühlraum für die Großküche als wichtigste Kühlstelle der Normalkälte. Technisch handelt es sich meist um Einzelverdichter-Anlagen, in großen Betriebsstätten werden aber auch Zentralverdichter eingesetzt, die Kältemittelmengen von 40 kg und mehr bewegen. Neuanlagen der Pluskühlung wurden noch bis 1991 vorwiegend mit R12 betrieben, das für stationäre Kälteanlagen

über 5 kg seit 1992 generell verboten ist. Kühlräume für Großküchen sind nicht nur in Kantinen, Restaurants und Krankenhäusern zu finden, sondern auch bei Caterern, in Altenheimen, Erholungsheimen, Hotels, Justizvollzugsanstalten, Kasernen usw. Andererseits ist der Kühlraum nur die wichtigste, nicht die einzige Anwendung für Kälteanlagen. In der Speisegastronomie werden etwa Salatbars gekühlt, im Krankenhaus Medikamente. Kältetechnisch wichtiger als die Großküche ist in diesen Sektoren sicherlich die Klimatisierung. Sie ist allerdings der klassische Anwendungsfall von R22, nicht von R12.

1.3.5 Gaststätten (Schwerpunkt Getränke) (7%)

Hierher gehören ca. 150 000 Gaststätten incl. Bars, Cafés und Diskotheken mit Getränke Kühlung (Birkner 1998) bzw. lt. Angaben der befragten Kältehandwerker auch die zahlreichen Betriebe des Getränkehandels. Die meisten Gaststätten unterhalten nur steckerfertige Geräte unter 1 kg. Dazu gehören die Durchlaufkühler für Biertheken und Einschubtresen für Fässer und Flaschen (Kohout 1998). Lediglich separate Kühlräume für Getränke, die von etwa 30% der Gaststätten unterhalten werden (Paul 1998; Eggert 1998) brauchen Kältemittel zwischen 1,2 bis 1,8 kg. Da jedoch in vielen Fällen Theke und Kühlraum über einen einzigen Verdichter versorgt werden ("Satellitenanlage"), besteht größerer Umstellungsbedarf, als es den R12-betriebenen Kühlräumen entspricht. Dennoch liegt die durchschnittliche Kältemittelmenge unter 2 kg.

1.3.6 Gärtner, Blumenläden, Baumschulen (3%)

Genausowenig wie alle Gaststätten Kälteanlagen mit über 1 kg Kältemittel betreiben, ist dies bei Gärtnereien und den ca. 35 000 Blumenläden/Baumschulen der Fall (vgl. Steinborn 1998, 61). Auch hier dürfte nur jeder dritte Betrieb infragekommen.

1.3.7 Landwirtschaft einschl. Obst- und Gemüsehandel (16%)

In der Landwirtschaft ist die Milchkühlung ein eigener Bereich, den das Kältehandwerk nur selten betreut (s. Kapitel 2). Dagegen spielt Kühlung von Obst und Gemüse sowohl beim Erzeuger als auch im Handel eine große Rolle. Anlagen zur Obstkühlung in den süddeutschen Obstanbaugebieten sind nicht nur zahlreich, sondern fassen jeweils Kältemittel bis zu 80 kg und mehr. Auf der Seite des Handels sind nicht nur Einzelhändler, sondern auch Großmärkte wichtige Kunden des Kältehandwerks. Dazu kommen in der Küstenregion Lagerräume für importierte Südfrüchte (etwa Bananen-Reifehäuser) mit R12 als ursprünglichem Kältemittel.

1.3.8 Klimaanlage, Luftentfeuchtung (1%, 1%)

Von den 101 befragten Kältebetrieben führten jeweils 24 "Klimaanlagen" und "Luftentfeuchtung" als - wenn auch kleine - Umstellungsbereiche von R12 an. Bei der Klimatisierung handelt es sich um sehr kleine Stückzahlen und um sehr alte Anlagen. Hier kommt seit Jahrzehnten nahezu ausschließlich R22 zum Einsatz - steckerfertige Schaltschrankkühler ausgenommen. Luftentfeuchter sind zum einen mobile Bautrockner zur Neubautentfeuchtung oder zur Behebung von Wasserschäden. Selten enthalten solche Geräte, die schon vor zehn Jahren standardmäßig mit R22 ausgeliefert wurden, mehr als 1 kg Kältemittel (Bache 1998). Zum andern geht es um Entfeuchtung von Druckluft. In allgemeinen Industriebetrieben, die dieses Arbeitsmedium verwenden, schützt Entfeuchtung das Rohrleitungssystem vor Korrosion. In Lebensmittelbetrieben, wo etwa Teigmasse durch Rohrleitungen transportiert wird, muß die Prozeßluft trocken genug sein, um Verklumpungen

auszuschließen (Weisshaar 1998). Je nach Größe des Druckluftversorgungssystems haben Entfeuchter Kältemittelmengen von weniger als 1 kg bis zu 50 kg und mehr.

1.3.9 Industriekühlung ohne Turbos (13%)

Auf Nachfrage, was sie unter Industriekühlung verstehen, nannten die befragten Betriebe, welche R12-Umstellungen in diesem Bereich gemeldet hatten, Flüssigkeitskühlsätze. Am häufigsten kommen Kaltwassersätze vor, die mit 2-3 kg Kältemittel (Kälteleistung unter 10 kW) eine Sole kühlen, die ihrerseits Wärme aus anderen Medien aufnimmt, insbesondere aus der Metallbearbeitung (Öl- bzw. Emulsionskühlung). Es wurden auch direkte Öl-Rückkühler - ohne Zwischenkühlung von Wasser - genannt. Neben kleineren Geräten, die als Zusteilteile neben Werkzeugmaschinen stehen, sind auch Flüssigkeitskühlsätze mit Kälteleistungen bis zu 100 kW und darüber im Einsatz, die Kältemittelmengen bis zu 20 kg und mehr fassen. Wichtige Anwendungen sind Kunststoffmaschinen. Flüssigkeitskühlsätze werden auch vom Kundendienst der Maschinen- und Geräteelieferanten (Rodecker 1998) oder von betrieblich angestellten Kältemonteuren gewartet, in der Hauptsache jedoch von Kältefachbetrieben (Ulrich 1998).

1.3.10 Sonstiges (4%)

Es gibt sicher zahlreiche Spezialanwendungen von R12, die sich unserer Befragung entziehen. Die Kältehandwerker nannten selber auf Nachfrage, was sie mit "Sonstiges" gemeint hatten, zu jeweils etwa gleichen Teilen drei Bereiche: erstens Bundeswehr⁵, zweitens Forschung (Kälteanlagen in Universitätslabors) und drittens Autoklimaanlagen, Kühlfahrzeuge sowie Kraftwerke bzw. Energieversorgungsunternehmen. Die Transportkälte von Lkws wurde von vier der 101 befragten Betriebe angeführt. Schließlich sind 5 der 47 näher befragten Betriebe partiell mit der Umrüstung von Pkw- und z.T. auch Busklimaanlagen befaßt. Sie tun dies häufig im Auftrag einer oder mehrerer Autowerkstätten, die nicht über das entsprechende Know How verfügen. Fahrzeugklimaanlagen rechnen wir nicht zur Gewerbekälte, sondern zum Bereich Fahrzeugklima (vgl. Einleitung zu Teil I).

⁵ Zu kältetechnischen Anwendungen bei der Bundeswehr s. Blackert 1996.

1.3.2 Umrüstquoten der Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte

Die Umstellquote von R12 auf Ersatzkältemittel (in Altanlagen und durch Neubauten) beträgt in der handwerklich betreuten Gewerbekälte 63%. Das ist zugleich der gewichtete Durchschnittswert aller Einzelbranchen (in Diagramm 4 als Mittelwert-Linie eingetragen). Die nähere Nachfrage bei 47 der 101 befragten Kältefachbetrieben brachte nicht nur ein präziseres Bild der relativen Größe der einzelnen Branchen (Diagramm 3), sondern auch von den branchenspezifischen Umrüstquoten. Diese zeigen lt. Diagramm 4 untereinander erhebliche Unterschiede.

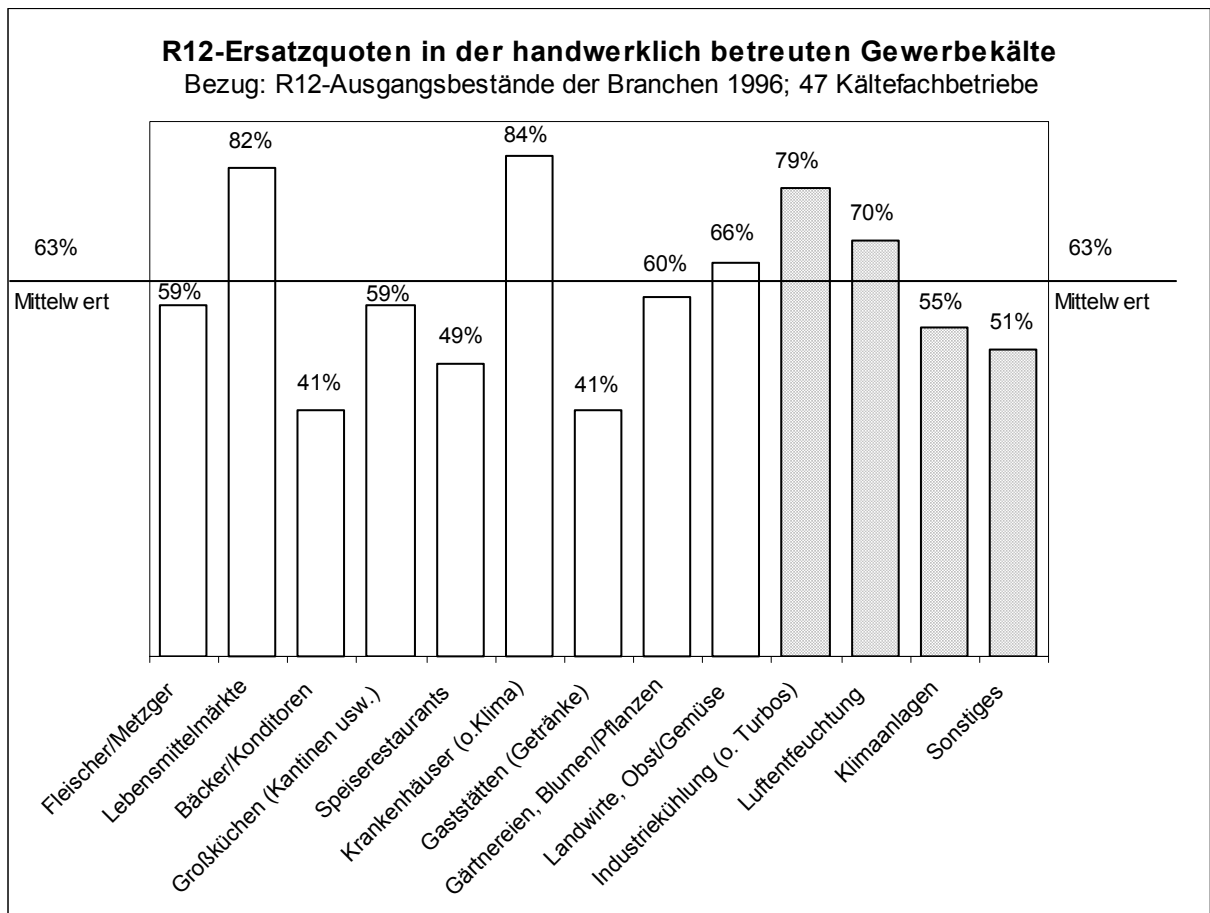


Diagramm 4: R12-Ersatzquoten der Branchen der Gewerbekälte bis Mai/Juni 98. Die höchsten Quoten (um 80%) weisen Lebensmittelmärkte, Krankenhäuser und Industriekühlung auf, nur etwa halb so hohe die Bäcker/Konditoren und Getränkegaststätten. In der Nähe des Mittelwerts von 63% befinden sich Fleischer, Großküchen, Gärtnereien (darunter) und Landwirtschaft (darüber). Luftentfeuchtung, Klimaanlage und Sonstiges sind Sonderfälle. Weiß: Kühlung verderblicher Güter. Grau: Andere Kälteprozesse.

Die dreizehn handwerklich betreuten Kältebranchen bilden vier Gruppen.

1. Branchen mit Schwerpunkt Einzelhandel:
Fleischer/Metzger, Lebensmittelmärkte, Bäcker/Konditoren.
2. Branchen mit Schwerpunkt Speise- und Getränkeversorgung:
Großküchen/Kantinen, Speiserestaurants, Krankenhäuser, Getränkegaststätten.
3. Branchen der Garten- und Agrarprodukte:
Gärtner/Blumenläden und Landwirtschaft.
4. Branchen ohne Kühlung verderblicher Konsumgüter:
Industriekühlung, Luftentfeuchtung, Klimaanlage, Sonstiges.

Innerhalb der vier Gruppen sind die Unterschiede in der R12-Umstellung zwischen den einzelnen Branchen beträchtlich. Dies zeigen Diagramm 4 und Tabelle 5.

Tab. 5: Anteile am R12-Ausgangsbestand und Umstellungsquoten der Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte			
Bezug: 47 Kältefachbetriebe mit 90,1 t R12-Ausgangsbestand			
1. Handwerklich betreute Kältebranchen	2. Anteil am R12-Ausgangsbestand	3. Umrüstquote der Branche	4. Umrüstung nur Altanlagen
Fleischer/Metzger	17%	59%	39%
Lebensmittelmärkte	11%	82%	65%
Bäcker/Konditoren	8%	41%	30%
Großküchen (Kantinen usw.)	7%	59%	44%
Speiserestaurants	7%	49%	32%
Krankenhauskühlung (o.Klima)	4%	84%	58%
Gaststätten (Getränke)	7%	41%	25%
Gärtnereien, Blumen/Pflanzen	3%	60%	46%
Landwirte, Obst/Gemüse	16%	66%	30%
Industriekühlung	13%	79%	56%
Trocknung/Luftentfeuchtung	1%	70%	51%
Klimaanlagen	1%	55%	32%
Sonstiges	4%	51%	40%
Summe/Durchschnitt	100%	63%	42%

1. In den ersten drei, relativ zum R12-Ausgangsbestand (Tabelle 5, Spalte 2) großen Branchen der Fleischer/Metzger, Lebensmittelmärkte, Bäcker/Konditoren reichen die Umrüstquoten (Tabelle 5, Spalte 3) von 41% bis 82%.

Die Fleischer/Metzger liegen mit 59% Umstellungsquote unter dem Durchschnitt der handwerklich betreuten Gewerbekälte, wenn auch der Abstand zum Mittelwert längst nicht so groß ist wie bei den Bäckern/Konditoren. Diese weisen (wie die Gaststätten) mit 41% die niedrigste Umrüstquote aller Branchen auf. Ganz anders die Lebensmittelmärkte. Ihre 82%-ige Umrüstquote ist doppelt so hoch wie die der Bäcker/Konditoren und innerhalb der Gewerbekälte die zweithöchste Branchenquote überhaupt.

2. Die durch Speise- und Getränkeversorgung bestimmten vier "Dienstleistungsbranchen" der Großküchen/Kantinen, Speiserestaurants, Krankenhäuser und Getränkergaststätten weisen untereinander genauso hohe Unterschiede im Umstellungsverhalten auf wie die drei "Einzelhandels"-Branchen. Während Großküchen und Speiserestaurants mit 59 bzw. 49% den Durchschnittswert merklich bzw. beträchtlich unterschreiten und die Gaststätten den niedrigsten Wert von 41% erzielen, weisen Krankenhäuser (einschließlich vergleichbarer öffentlich-rechtlicher Einrichtungen) den Spitzenwert der Gewerbekälte, nämlich 84%, auf.
3. In der Gruppe der Garten- und Agrarprodukte liegen Gärtner/Blumenläden (60%) auf einem leicht geringeren, die Landwirtschaft einschließlich Obst- und Gemüsehandel (66%) dagegen auf einem leicht höheren Umstellungsniveau als der Durchschnitt der handwerklich betreuten Gewerbekälte. Auffällig niedrig ist mit 30% die Umrüstung in Altanlagen der Landwirtschaft (Tabelle 5, Spalte 4).
4. In der Restgruppe, in der nur die Transportkälte verderbliche Konsumgüter kühlt, stellt die Industriekühlung (ohne Turbos) mit Abstand die wichtigste Branche dar (vgl. Diagramm 3 und Tabelle 5). Es sind 79% des R12-Ausgangsbestandes

umgestellt, so daß die Industrie (Flüssigkeitskühlsätze) nach Krankenhaus und Lebensmittelmarkt den dritten Spitzenwert bildet.

Die Umrüstquoten für Luftentfeuchtung und Klimaanlagen haben nur demonstrativen, kaum statistischen Aussagewert, da sich hinter beiden Kategorien nur sehr kleine Kältemittelmengen verbergen. Erst recht problematisch ist eine Quotenangabe für Sonstiges (51%), weil es eine Restgruppe ist, deren Bezugsgröße 100% unbekannt ist. Ersatzweise wurden hier die Quotenangaben genommen, die sich auf Bundeswehr oder Forschung bezogen. Die Transportkälte firmiert unter "Sonstiges", weil die vier Nennungen zusammen nur 250 kg (=0,4%) der Ersatzkältemittel (R22, R413A) darstellen.

Bei Autoklimaanlagen macht eine Umstellquote sehr wenig Sinn, da die Zahl der vom Kältehandwerk umgerüsteten Fahrzeuge in minimalem Verhältnis zur Gesamtheit der R12-klimatisierten Fahrzeuge steht. Immerhin ist hier für später (Teil II) festzuhalten, daß 5 der näher befragten 47 Kältefachbetriebe insgesamt 224 kg R12 in Pkw- und Busklimaanlagen ersetzt haben, und zwar ausschließlich durch R413A.

1.3.3 Mögliche Ursachen unterschiedlicher Umrüstquoten

Tabelle 6 zeigt, in welchen Branchen die Umstellung hoch, mittel oder niedrig ist.

Umstellungsquote		Branchen*
hoch	>75%	Lebensmittelmärkte, Krankenhäuser, Industriekühlung
mittel	59-75%	Fleischereien, Großküchen, Gärtnereien, Landwirtschaft
niedrig	<59%	Bäcker/Konditoren, Speiserestaurants, Gaststätten

* ohne solche mit begrenzter statist. Aussage: Luftentfeuchtung, Klimaanlagen, Sonstiges.

Der gemeinsame Nenner der hohen wie der niedrigen Umstellungsquoten ist nicht das Kühlgut der Branchen. Die hohen Quoten um 80% gehören alle verschiedenen Kühlbereichen an: Lebensmittelmärkte dem Einzelhandel, Krankenhäuser der Speise- und Getränkeversorgung, und die Industriekühlung ist ein Restbereich ohne Konsumgüterkühlung. Umgekehrt ähneln Bäcker, die relativ wenig umgestellt haben, im Kühlgut Lebensmittelmärkten, die eine doppelt so hohe Umrüstquote aufweisen. Der gemeinsame Nenner liegt vielmehr in der Größe der Kälteanlage bzw. der Größe des Anwenderbetriebes. Es gilt der Grundsatz:

Je größer der Anlagenbetreiber, desto höher die Bereitschaft zur R12-Umstellung. Oder andersherum: Je kleiner der Betreiber, desto geringer seine Umstellungsbereitschaft.

Erläuterung

In Familienbetrieben, wie es Bäckereien, Restaurants oder Gaststätten oft sind, fällt selbst die Umrüstung einer kleinen Kälteanlage finanziell ins Gewicht. In Industriebetrieben, Krankenhäusern, Lebensmittelmärkten ist die Kälteanlage zwar viel größer, aber ihre Umrüstung ist ein relativ kleiner Kostenfaktor. Bei Lebensmittelmärkten gibt es sicher auch zahlreiche Kleinbetriebe, nicht größer als Bäcker. Doch ist daran zu erinnern, daß schon 1994 etwa 80% der inländischen Lebensmittelverkaufsfläche

(und damit der Kühlanlagen) von nur zehn Handelsketten kontrolliert wurden (M+M Eurodata 1995). Nimmt man, wie hier, nicht die Zahl der Betriebe, sondern ihre Kältemittelmenge als Bezugsgröße, dann sind Lebensmittelmärkte typische Großanlagenbetreiber.

Weitere Faktoren außer der für sich genommenen Betriebsgröße: In Großbetrieben gibt es häufig eigene personelle Zuständigkeiten für die Kälteanlage (Sicherheitsfachkraft!), so daß Kälteanlagenbauer mit ihrem Hinweis auf die Umrüstpflcht öfter auf informierte und aufgeschlossene Ansprechpartner stoßen. Speziell in den Märkten der großen Lebensmittel-Handelsgruppen tritt als verstärkendes Moment der Umrüstung eine grundsätzlich ökologische Kundenorientierung hinzu, die nicht nur die unmittelbaren Verkaufsprodukte, sondern auch die Logistik betrifft.

Zu einem bestimmten Grad hängt die Umstellungsbereitschaft von der Aufklärungsarbeit von Verbänden, Innungen und Branchenzeitschriften ab. Als eines mehrerer positiver Beispiele sei hier die Presse- und Informationsarbeit des Deutschen Fleischer-Verbandes erwähnt. (DFV 1996 ff.)

1.4 Hochrechnung auf die gesamte handwerklich betreute Gewerbekälte

Die Repräsentativität der befragten 101 bzw. 47 Kältefachbetriebe in Bezug auf den handwerklichen R12-Ersatz in der Gewerbekälte vorausgesetzt, kann auf die Gesamtheit der Kältefachbetriebe hochgerechnet und die Umrüstung in der gesamten handwerklich betreuten Gewerbekälte abgeschätzt werden. Dies wird in diesem Abschnitt 1.4 versucht. Dabei versteht es sich von selbst, daß Zahlenangaben nicht bis auf einzelne Kilogramm wörtlich genommen werden dürfen, sondern Fehlerquoten von schätzungsweise $\pm 10\%$ bestehen. Auf- und Abrundungen wurden wegen des weiteren Fehlerrisikos unterlassen.

1.4.1 Zur Hochrechnungsmethode: 1880 Betriebe mit R12-Erfahrung

Laut VDKF (Pütz 1998) gibt es in Deutschland rd. 2000 Kälte-Klimafachbetriebe. In Abschnitt 1.1 wurde bereits festgestellt, daß nicht alle handwerklichen Kältebetriebe mit R12 in der Gewerbekälte zu tun haben. Von den 107 antwortenden Betrieben sind drei reine Klimabetriebe mit R22 als einzigem chlorhaltigem Kältemittel. Weitere drei Betriebe sind zwar mit R12-Umrüstung befaßt, allerdings als Vertragspartner von Großkälteunternehmen im Bereich der Turboverdichteranlagen.

Entsprechend dem Anteil von 6 an 107 an der Umfrage beteiligter Betriebe sind bei der Gesamtheit der 2000 Kältefachbetriebe von der Hochrechnung ca. 6% auszuklammern, die nichts mit R12-Ersatz in der Gewerbekälte zu tun haben.

Die 101 Betriebe der Umfrage sind folglich nicht auf 2000 Betriebe hochzurechnen, sondern auf nur 1880 Betriebe. Der Faktor der Hochrechnung ist nicht 2000 zu 101, sondern 1880 zu 101. Umgerüstete Autoklimaanlagen werden von der Hochrechnung ebenso ausgenommen wie Turboverdichteranlagen.⁶

⁶ Durch die Herausnahme der Autoklimaanlagen (aus Sonstiges) ergeben sich gewisse, aber unwesentliche Verschiebungen in der Hochrechnung gegenüber den Basisdaten.

1.4.2 Der hochgerechnete R12-Ersatz in Tonnen und Prozent

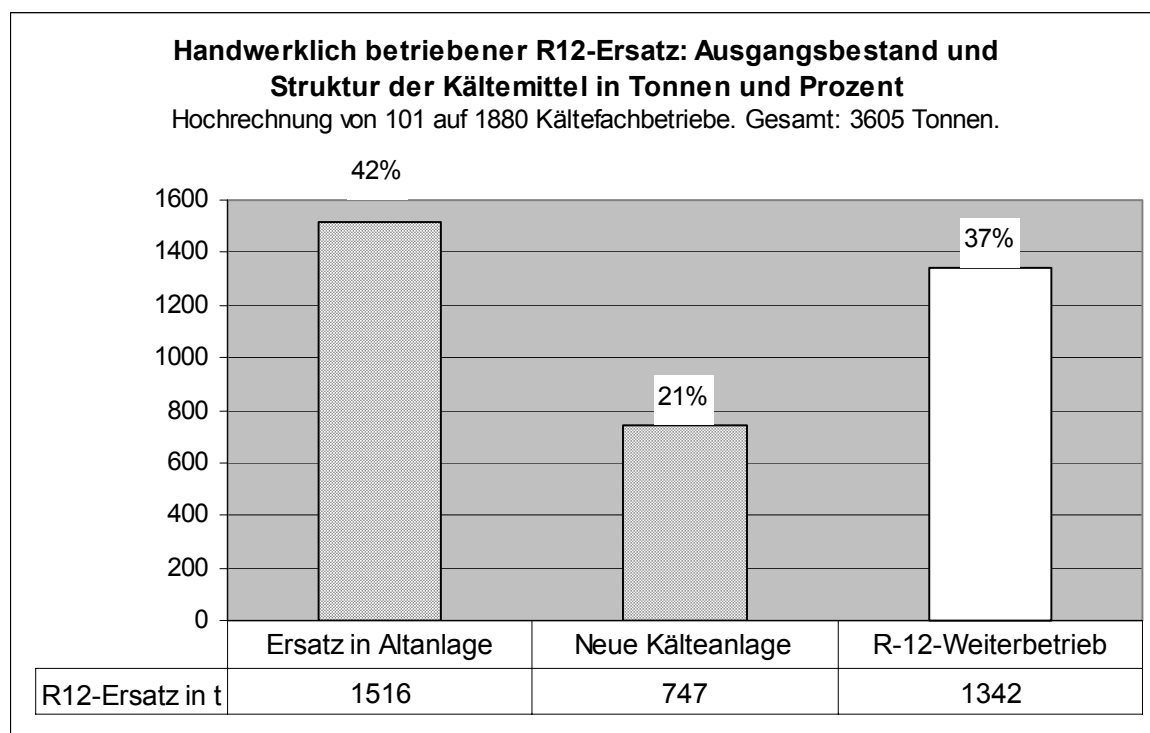


Diagramm 5: Handwerklich betriebener R12-Ersatz: Ausgangsbestand und Struktur der Kältemittel in Tonnen und Prozent. Hochrechnung von 101 auf 1880 Kältefachbetriebe. Autoklimaanlagen sind nicht berücksichtigt. Das Diagramm deckt sich in der Struktur mit Diagramm 1, das die Basis der Hochrechnung ist.

Die Hochrechnung (Diagramm 5) ergibt: Die inländischen handwerklichen Kältefachbetriebe hatten in ihrem Kundenkreis aus der Gewerbekälte Anfang 1996 noch über 3600 Tonnen (3605 t) R12 zu ersetzen. Davon haben sie in Altanlagen 1516 Tonnen ersetzt, durch Neuanlagenbau 747 Tonnen. Die auf Alt- und Neuanlagen bezogene Umrüstquote beträgt 63%. Noch zu ersetzen sind etwa 37% des Ausgangsbestands oder 1342 Tonnen R12 (Stand Ende Mai/Anfang Juni 1998).

1.4.3 Die hochgerechneten Ersatzkältemittel des Handwerks für Altanlagen

Das Diagramm 6 gliedert die 1516 Tonnen Ersatzkältemittel für Altanlagen (Diagramm 5) nach Typen auf. R134a ist das meistgenutzte Kältemittel (601 Tonnen). Von den Drop-In-Gemischen sind die wichtigsten das chorhaltige R401A (334 t) und das chlorfreie R413A (172 t)⁷. Der chlorhaltige "Einstoff" R22 wurde insgesamt zwar in höherem Maße (211 t) als R413A benutzt, aber seine Einsatzmenge ist seit 1997 rückläufig.

Ebenso ist zu beachten, daß es in jüngerer Zeit eine Marktverschiebung zwischen den beiden wichtigsten Drop-In-Kältemitteln R401A und R413A gibt, und zwar zugunsten von R413A, das wie R134a den ökologischen Vorteil der Chlorfreiheit und damit der längerfristigen rechtlichen Anwendungssicherheit aufweist.

⁷ Durch Herausnahme der Autoklimaanlagen aus der Gewerbekälte fehlen hochgerechnet 8 t R413A, die beim Teil II Fahrzeugklima berücksichtigt werden. In der Hochrechnung hier kommt es dadurch zu einer Verschiebung zwischen R134a und R413A gegenüber der Basisumfrage. Statt 39 zu 12 Prozent nunmehr 40 zu 11 Prozent.

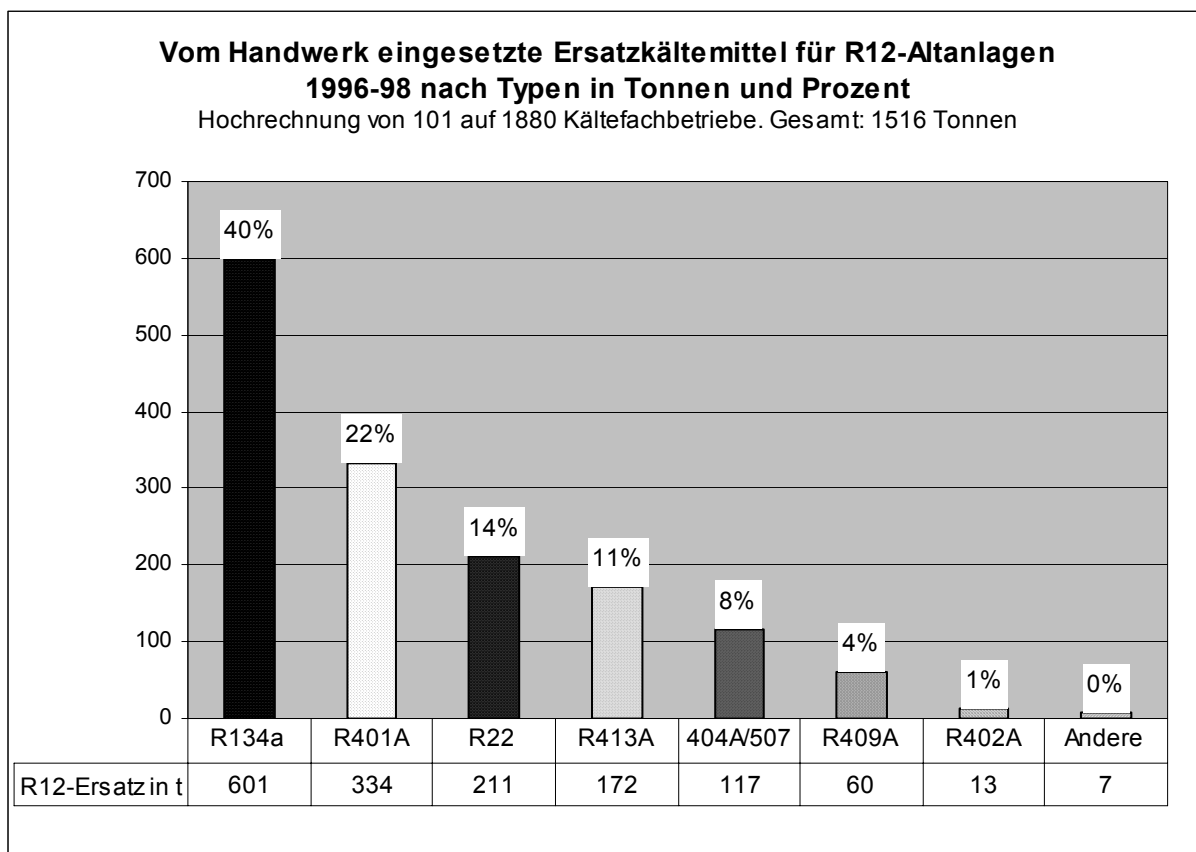


Diagramm 6: Vom Handwerk eingesetzte Ersatzkältemittel für Altanlagen nach Typen in Tonnen und Prozent (Hochrechnung ohne R413A für Autoklimaanlagen). Klar dominiert mit 40% der Ersatzkältemittel R134a, gefolgt von den chlorhaltigen Drop-In R401A (22%) und R22 (14%). Das chlorfreie R413A kommt auf über 11%.

1.4.4 Die hochgerechneten R12-Ausgangsbestände nach Branchen

Tab. 7: Branchenanteile am R12-Ausgangsbestand der handwerklich betreuten Gewerbekälte in Prozent und Tonnen Hochrechnung von 47 auf 1880 Kältefachbetriebe		
1. Handwerklich betreute Kältebranchen	2. Anteil am R12-Ausgangsbestand	3. R12-Ausgangsbestand in t
Fleischer/Metzger	17 %	629
Lebensmittelmärkte	11 %	397
Bäcker/Konditoren	8 %	302
Großküchen (Kantinen usw.)	7 %	243
Speiserestaurants	7 %	265
Krankenhauskühlung (o.Klima)	4 %	153
Gaststätten (Getränke)	7 %	257
Gärtnereien, Blumen/Pflanzen	3 %	118
Landwirte, Obst/Gemüse	16 %	563
Industriekühlung	13 %	479
Trocknung/Luftentfeuchtung	1 %	21
Klimaanlagen	1 %	43
Sonstiges*	4 %	134
Summe/Durchschnitt	100%	3605

* ohne Hochrechnung von 224 kg R413A für handwerklich umgerüstete Autoklimaanlagen.

Tabelle 7 zeigt die R12-Ausgangsbestände der einzelnen Branchen in absoluten Mengen. Bei allem Vorbehalt gegen die Exaktheit der auf Schätzungen gründenden Zahlenangaben sind die Größenordnungen der Ausgangsbestände eindeutig: Die Hauptbranchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte hatten R12-Ausgangsbestände zwischen 400 und 630 Tonnen. Die Reihenfolge lautet, was schon durch Diagramm 4 und Tabelle 5 aus der Basisumfrage klar war: Fleischer/Metzger (629 t), Landwirtschaft/Obst/Gemüse (563 t), Industriekühlung (479 t) und Lebensmittelmärkte (397 t).

1.4.5 Hochgerechnete Umrüstung durch handwerkliche Kältebetriebe

Die branchenspezifischen Umrüstquoten sind aus der Basis-Befragung (Tabelle 5), und die absoluten Mengen der R12-Ausgangsbestände aus Tabelle 7 bekannt. Tabelle 8 errechnet aus beiden Größen Branche für Branche die ersetzte R12-Menge in Tonnen. Diese Werte benötigen hier keinen weiteren Kommentar über das in Abschnitt 1.3.2 Ausgeführte hinaus. (Sie sind für spätere Berechnungen wichtig.)

Tab. 8: R12-Ausgangsbestände und Umrüstquoten nach Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte in Tonnen und Prozent Hochrechnung von 47 auf 1880 Kältefachbetriebe*			
1. Handwerklich betreute Kältebranchen	R12-Ausgangsbestand in t	Umrüstquote (alt+neu) in %	Umrüstung in t KM**
Fleischer/Metzger	629	59%	373
Lebensmittelmärkte	397	82%	326
Bäcker/Konditoren	302	41%	125
Großküchen (Kantinen usw.)	243	59%	144
Speiserestaurants	265	49%	131
Krankenhauskühlung (o.Klima)	153	84%	129
Gaststätten (Getränke)	257	41%	106
Gärtnereien, Blumen/Pflanzen	118	60%	71
Landwirte, Obst/Gemüse	563	66%	372
Industriekühlung	479	79%	377
Trocknung/Luftentfeuchtung	21	70%	15
Klimaanlagen	43	55%	24
Sonstiges	134	51%	69
Summe/Gew. Durchschnitt	3605	63%	2263

* ohne Hochrechnung von handwerklich umgestellten Autoklimaanlagen. **KM = Kältemittel.

Kapitel 2

R12-Ersatz in der übrigen Gewerbekälte

Wie in der Einleitung zu Teil I ausgeführt, wird die Gewerbekälte nicht nur von Handwerksbetrieben betreut, sondern je nach Branche zu hohem oder geringem Teil bzw. gar nicht auch von anderen Unternehmen. Dieses Kapitel befaßt sich mit Branchen, in denen nicht ausschließlich Kältehandwerker, sondern auch andere Betriebe die R12-Umrüstung vornehmen. Diese nicht-handwerklich betreuten Teilbranchen nennen wir die übrige Gewerbekälte.

2.1 Lebensmittelmärkte (28% Nicht-Kältehandwerk)

Zwar betreuen handwerkliche Kältefachbetriebe die Mehrzahl der inländischen Lebensmittelmärkte, was Zahl der Betriebe und Kältemittelmengen betrifft. Doch im Bereich der größeren Lebensmittelmärkte über 1500 qm Verkaufsfläche, den SB-Warenhäusern und Groß-Verbrauchermärkten, ist der Marktanteil industrieller Markteinrichter beträchtlich. Die drei wichtigsten Anbieter von Verkaufskühlmöbeln und Kältetechnik zugleich sind: Linde, BKT Bonnet (früher York) und Elektrolux.

Nach deren zusammengefaßten Informationen (Befragung Lebensmittelmarkt-Einrichter) betrug der R12-Ausgangsbestand in den von ihnen betreuten Märkten Anfang 1996 noch 163 Tonnen, und zwar in rd. 6200 Betrieben. Diese 163 Tonnen dürfen nicht mit dem Marktanteil bei Lebensmittelmärkten insgesamt verwechselt werden, da im überwiegenden Teil der betreuten Märkte kein R12 mehr vorhanden war, sondern nur noch in den vor 1989 installierten Kälteanlagen, soweit sie 1996 noch bestanden bzw. noch nicht umgerüstet waren.

Die gewichtete Umrüstquote bei den drei Unternehmen beträgt 92%. Diese Quote setzt sich aus 82% für Ersatz in Altanlagen und 10% für Verschrottung/Neubau zusammen. Der Weiterbetrieb mit R12 wird auf 8% geschätzt. (s. Tabelle 9.)

Tab. 9: Lebensmittelmärkte. R12-Ausgangsbestand und Struktur der Umrüstung in Tonnen und Prozent		
1. Ersatz in bestehenden Altanlagen	134 Tonnen	82%
2. Ersatz durch Anlagenneubau	16 Tonnen	10%
3. Geschätzter R12-Restbestand	13 Tonnen	8%
4. R12-Ausgangsbestand (Summe)	163 Tonnen	100%

Quelle: Befragung Lebensmittelmarkt-Einrichter.

Da es sich überwiegend um recht alte Anlagen handelt, betreiben die drei genannten Unternehmen kaum Retrofit, sondern nahezu ausschließlich Drop-In. Drop-In-Kältemittel ist durchweg R401A, das am frühesten marktverfügbar war (Tabelle 10).

Tab. 10: Kältemittel für Altanlagen industriell betreuter Lebensmittelmärkte		
R134a	6 t	4,5%
R401A	128 t	95,5%
Summe	134 t	100,0%

Quelle: Befragung Lebensmittelmarkt-Einrichter.

2.2 Fleischer/Metzger (3% Nicht-Kältehandwerk)

Ungefähr 15 zusätzliche Prozent ihres Geschäfts mit Verkaufskälte führen industrielle Lebensmittelmarkteinrichter (es handelt sich um die unter 2.1 genannten Unternehmen) auch in anderen Bereichen durch. Dabei ist der Schwerpunkt der Fleischer- und Metzgerbetrieb. Die Umrüstquote durch Ersatz in Altanlagen und durch Neubau entspricht derjenigen bei Lebensmittelmärkten, ebenso die Zusammensetzung der Kältemittel. Hier ist von einem R12-Ausgangsbestand (Kundenkreis der Großeinrichter) von 20 t auszugehen, die zu 82% (16 t) in bestehenden Anlagen und zu 10% (2 t) durch Neubauten ersetzt wurden. Der R12-Weiterbetrieb wird auf 2 t geschätzt.

Von den 16 t Kältemitteln für Altanlagen sind 1 t R134a, 15 t R401A.

2.3 Transportkälte (75% Nicht-Kältehandwerk)

Die Transportkälte zählt hier zur Gewerbekälte, da sie es mit Kühlung verderblicher Waren zu tun hat. Während Kühlschiffe, Hochseefischereischiffe und Kühlwaggons mit R22 kühlen (Öko-Recherche 1996, 102), kommt bei Kühl-Lkw R12 als Kältemittel vor (ebenso bei Kühl-Containern, mit denen wir uns hier wegen der schwierigen nationalen Zuordnung nicht weiter befassen⁸).

Vom gegenwärtigen Kühl-Lkw-Bestand von rd. 44 000 selbstfahrenden Fahrzeugen und rd. 20 000 Anhängern (Andres 1998) wird mehr als die Hälfte in der Normalkühlung (Rest: Tiefkühlung) eingesetzt. Im Temperaturbereich von -20°C bis +5°C war R12 bis Ende 1992 Standardkältemittel. Von den 35 000 Fahrzeugen mit Normalkälte sind 25 000 sog. Frischdienstautos, deren Kälteanlage (2 kg Kältemittel) vom Fahrzeugmotor angetrieben wird. 10 000 sind größere Fahrzeuge (Lkw bzw. Anhänger), die über ein eigenes dieselgetriebenes Kälteaggregat (7 kg Kältemittel) verfügen. Die Kältemittelsumme für Normalkälte beträgt damit 120 Tonnen.

Nach Schätzungen der drei Marktführer bei Transportkältemaschinen Carrier Transicold, Euram Thermoking und Frigoblock-Großkopf (Befragung Transportkälte) waren Mitte 1998 noch 50% der Kälteaggregate in Betrieb, die vor 1992 (bei Frigoblock nur vor 1990) mit R12 ausgeliefert wurden. Damit beträgt der ersatzbedürftige R12-Ausgangsbestand die Hälfte von 120 Tonnen, folglich 60 Tonnen (25 t bei Klein-Lkw und 35 t bei Groß-Lkw).

Kältemittlersatz und Anlagenwartung werden bei jedem der drei Hersteller anders gehandhabt. So verfügt Thermoking über ca. 40 Werkstätten, die teils Eigenbetriebe und teils auf Transportkälte spezialisierte Subunternehmer sind. Bei Carrier gibt es nur sechs Eigenwerkstätten und außerdem rd. 40 "Servicepartner", die teils selbständige Lkw- oder Autoelektrik-Werkstätten (Boschdienste), teils spezielle Transportkältebetriebe sind oder auch Kältehandwerker (7-8 Betriebe), deren Schwerpunkt sonst die stationäre Gewerbekälte ist. Frigoblock verfügt über keine Eigenbetriebe, sondern arbeitet ausschließlich mit selbständigen Handwerkern

⁸ Da Kühl-Container weltweit zirkulieren, ist nach Auskunft des Marktführeres bei Container-Kälteaggregaten Carrier, Rotterdam (Ernst 1998), ein einheitliches Kältemittel erforderlich, das in jedem Land der Welt verfügbar ist. Aus diesem Grund läuft die Umrüstung ausschließlich auf R134a.

zusammen, die zum überwiegenden Teil allgemeine Kältefachbetriebe sind.
(Befragung Transportkälte)

Die R12-Umstellung im Bereich Transportkälte wird generell als schleppend bezeichnet. Freiwillige Anmeldungen kommen so gut wie nicht vor (Befragung Transportkälte). Als Umrüstquote werden knappe 50% genannt. Von den 60 t R12 von Anfang 1996 sind folglich erst maximal 30 t substituiert (s. Tabelle 11).

Tab. 11: Transportkälte. R12-Ausgangsbestand und Struktur der Umrüstung in Tonnen und Prozent		
1. Ersatz in bestehenden Altanlagen	30 Tonnen	50%
2. Ersatz durch Neuanlagen	0 Tonnen	0%
3. Geschätzter R12-Restbestand	30 Tonnen	50%
4. R12-Ausgangsbestand (Summe)	60 Tonnen	100%

Quelle: Befragung Transportkälte.

Als Ersatzkältemittel für R12 favorisiert jeder der drei Aggregatehersteller ein anderes. R134a wird zwar für neuere R12-Anlagen ab und zu eingesetzt. Es dominieren aber klar die Drop-In-Kältemittel. Thermoking nimmt in seinen Eigenwerkstätten R401B und legt auch seine Subunternehmer darauf fest. Frigoblock hat nur R22 als Ersatzkältemittel freigegeben. Carrier setzt in seinen Eigenbetrieben R409A ein und empfiehlt es seinen Servicepartnern. Die Durchschlagskraft dieser zentralen "Freigaben" bzw. "Empfehlungen" ist jedoch begrenzt. Daß die Servicepartner der drei Hersteller auch andere Drop-In-Kältemittel anwenden (s. Tabelle 12), insbesondere R413A, ist kein Geheimnis.

Tab. 12: Kältemittel für Altanlagen der Transportkälte		
R401B	10,5 t	35%
R409B	9 t	30%
R413A	6 t	20%
R22	3 t	10%
R134a	1,5 t	5%
Summe	30 t	100%

Quelle: Befragung Transportkälte.

Etwa 25% der R12-Umstellungen wurden von handwerklichen Kältefachbetrieben vorgenommen. Der - größere - Rest von anderen Servicepartnern der Aggregatehersteller bzw. von deren Eigenwerkstätten selbst.

2.4 Milchkühlung (100% Nicht-Kältehandwerk)

Zwischen Melken und Abtransport zur Molkerei muß Milch kühl gehalten werden. Die rd. 200 000 milcherzeugenden Agrarbetriebe (Statistisches Jahrbuch 1997, 157) setzen dafür Tauchkühler (bei Kleinmengen) oder Kühlwannen bzw. Kühl tanks (bei Großmengen) ein. Tauchkühler enthalten im Durchschnitt 1,5 kg Kältemittel, das bis 1993 standardmäßig R12 war. Die Wannen und Tanks mit Kältemittelmengen zwischen 6 und 8 kg wurden schon seit Mitte der 70er Jahre mit R22 ausgeliefert, und die Altgeräte wurden im Servicefall kontinuierlich auf R22 umgestellt. Dies war bei den drei befragten Marktführern Westfalia Landtechnik, Alfa-Laval Agrar und Lemmer-Fullwood durchweg der Fall, aber auch bei kleineren Anbietern (Befragung

Milchkühlung). Allerdings sind heute noch Wannen und Tanks im Einsatz, die älter als 20-25 Jahre sind und noch R12 enthalten.

Unsere Befragung der Experten zeigt: Kühlwannen waren Anfang 1996 nur noch zu 5% mit R12 befüllt und Tanks zu 2%. Im Bestand der Tauchkühler waren dagegen erst vier R12-freie Jahrgänge enthalten, so daß 1996 noch über 80% R12 enthielten. Es ergibt sich folgendes Bild vom Kältemittelbestand und seiner Zusammensetzung in der Milchkühlung (Tabelle 13):

Tab. 13: Kühlgeräte und Kältemittel in der landwirtschaftlichen Milchkühlung				
Kühlgerät	Stückzahl	Kältemittel- füllung	Kältemittelbestand insgesamt	
			alle Kältemittel	R12 in 1996
Tauchkühler	<50 000	1,5 kg	75 t	60 t
Kühlwannen	100 000	6 kg	600 t	30 t
Kühltanks	50 000	6-8 kg	350 t	10 t
Summe	200 000		1025 t	100 t

Quelle: Befragung Milchkühlung.

Der R12-Ausgangsbestand in der Milchkühlung betrug ca. 100 t. Die seither stattgefundene Umrüstung beziffern die befragten Experten mehr oder weniger übereinstimmend für alle Kühlgerätetypen auf 50% (Befragung Milchkühlung). Das bedeutet:

- 50 Tonnen Ersatzkältemittel in Altanlagen und
- 50 Tonnen R12-Weiterbetrieb.

Die Umstellungen werden generell nicht von Kältefachbetrieben vorgenommen, sondern von den Vertragshändlern der Gerätelieferanten, die dafür spezielle Kurse absolviert haben (Befragung Milchkühlung; Westfalia Landtechnik 1998).

Das Ersatzkältemittel ist für Wannen und Tanks in der Regel R22 (vgl. Tabelle 14). Für die Tauchkühler wird zu 80% R401A eingesetzt, zu 20% R413A.

Tab. 14: R12 und Ersatzkältemittel vor und nach 30 Monaten Umstellung in der Milchkühlung				
Kühlgerät	R12-Ausgangs- bestand	Umrüst Quote	Ersatzkältemittel nach 30 Monaten	
Tauchkühler	60 t	50%	24 t R401A	6 t R413 A
Kühlwannen	30t	50%	15 t R22	
Kühltanks	10t	50%	5 t R22	

Quelle: Befragung Milchkühlung

2.5 Industriekühlung (10% Nicht-Kältehandwerk)

Den größten R12-Verwendern im Industriebereich, den Turbo-Kaltwassersätzen, gilt ein eigener Teil dieser Studie. Hier handelt es sich um Flüssigkeitskühlsätze niedrigerer Leistung, die vornehmlich Kaltwasser im Temperaturbereich von +15 bis +25°C zur Wärmeabfuhr erzeugen. Einsatzgebiete reichen von Metall-Bearbeitungsmaschinen (Ölkühlung) über Kunststoffmaschinen bis zur Kühlung von

Druckwalzen, Papiermaschinen, Laser- und Röntgenanlagen usw. Auch in der Großchemie und Ernährungsindustrie werden solche Flüssigkeitskühlsätze genutzt. Während einfache Reparaturen am Flüssigkeitskühler von der betrieblichen Instandhaltung durchgeführt werden, ist für den Kältemittelwechsel eine spezielle Qualifikation erforderlich. In 90 Prozent der Fälle (Schätzungen Ulrich 1998; Grunow 1998; Schaller 1998) wird die R12-Umrüstung von einem handwerklichen Kältefachbetrieb durchgeführt. Auf etwa zehn Prozent oder rd. 50 t des R12-Ausgangsbestands sind Umstellungen zu beziffern, die von betrieblichen Kältemonteuren (Schwerpunkt Großchemie) oder vom Kundendienst des Lieferanten realisiert werden.

Die R12-Umstellungsquote entspricht derjenigen des Handwerks und liegt bei 80%. Bei den Ersatzkältemitteln (40 t, davon 35 t in Altanlagen) dürften die vom Handwerk und Nicht-Handwerk verwendeten kaum voneinander abweichen. R134a, R413A und R401A kommen etwa gleichmäßig vor, während R409A und R22 nur eine untergeordnete Rolle spielen.

2.6 Zusammenfassung: Kältemittel und Umrüstquoten in der übrigen Gewerbekälte

Nachfolgende drei Tabellen fassen die Daten aus den oben dargestellten fünf Branchen der Gewerbekälte zusammen, soweit die R12-Umstellung vom nicht-handwerklichen Kältefachbetrieb vorgenommen wurde.

2.6.1 R12-Umstellung in der übrigen Gewerbekälte

Tab. 15: R12-Umstellung in der gesamten übrigen Gewerbekälte in Tonnen und Prozent		
1. Ersatz in bestehenden Altanlagen	265 Tonnen	67%
2. Ersatz durch Anlagenneubau	23 Tonnen	6%
3. Weiterbetrieb mit R12	105 Tonnen	27%
4. R12-Ausgangsbestand (Summe)	393 Tonnen	100%

Quelle: überwiegend Tabellen 9, 11, 14.

In der "übrigen" Gewerbekälte standen lt. Tabelle 15 Anfang 1996 rd. 393 Tonnen R12 zur Umrüstung an. Das ist gemessen an der handwerklich betreuten Gewerbekälte (3605 Tonnen) nur ein Anteil von 10 bis 11 Prozent. Damit wird deutlich, daß Kältefachbetriebe die bestimmende Kraft in der Gewerbekälte sind. Die übrige Gewerbekälte ist nur in wenigen Branchen nennenswert vertreten.

Von den 393 Tonnen R12 wurden 265 Tonnen oder 67% in Altanlagen umgestellt (Tabelle 15). Entscheidend hierfür sind die Lebensmittelmärkte und - in geringerem Maß - die Milchkühlung. Ersatz durch Neuanlagen spielt in der übrigen Gewerbekälte mit knapp 6% eine völlig untergeordnete Rolle. Zum Vergleich: Bei der handwerklich betreuten Gewerbekälte sind es knapp 20%.

2.6.2 R12-Ausgangsbestand und Umrüstquoten nach Branchen

Die Umrüstquote auf die 393 t R12-Ausgangsbestand liegt bei 73% und damit 10% höher als bei den rein handwerklich umgestellten Gewerbekälteanlagen. Wie Tabelle 16 zeigt, geht die höhere Umstellungsrate entscheidend auf die in hohem Maße (92%)

umgerüsteten Lebensmittelmärkte zurück. (Im Handwerkbereich lag die Umrüstquote der Lebensmittelmärkte mit 82% darunter, allerdings auch relativ hoch.) Im Bereich Milchkühlung liegt die Umrüstquote deutlich unter der für handwerklich betreute Kälteanlagen festgestellten Quote von 66% für die Landwirtschaft.

Es ist festzustellen, daß das Kältehandwerk nicht weniger R12-Umrüstung betreibt als seine industriellen Wettbewerber.

Tab. 16: Übrige Gewerbekälte. R12-Ausgangsbestand in Tonnen und Umrüstquote in Prozent		
Branche	R12-Ausgangsbestand	Umrüstquote (alt+neu)
Lebensmittelmärkte	163 t	92%
Fleischer/Metzger	20 t	92%
Transportkälte	60 t	50%
Milchkühlung	100 t	50%
Industriekühler	50 t	80%
Summe/Gew. Mittelwert	393 t	73%

Quelle: Abschnitte 2.1-2.5 dieses Kapitels 2.

2.6.3 Die Kältemittel für Altanlagen

Die Zusammensetzung der Kältemittel für Altanlagen (Tabelle 17) weicht erheblich von derjenigen ab, die die handwerklich betreute Gewerbekälte aufweist.

Tab. 17: Kältemittel für Altanlagen in der übrigen Gewerbekälte		
Kältemittel	Menge in Tonnen	Anteile
R134a	19 t	7%
R401A	178 t	67%
R413A	23 t	9%
R22	25 t	9%
R401B	10 t	4%
R409B	8 t	3%
R409A	2 t	1%
Summe	265 t	100%

Quelle: überwiegend Tabellen 10, 12 und 14.

Von den 265 Tonnen Ersatzkältemittel für Altanlagen entfällt der Löwenanteil, nämlich zwei Drittel (178 Tonnen), auf R401A. Beim Handwerk liegt der Anteil dieses Kältemittels nur bei 22%. Die anderen Kältemitteltypen spielen im nicht-handwerklichen Bereich der R12-Umstellung nur eine untergeordnete Rolle. Dank der Verwendung in der Transportkälte kommen auch die Kältemittel R401B und R409B vor, wenn auch in verschwindend geringen Mengen.

Die große Bedeutung von R401A geht wie die hohe Umrüstquote der übrigen Gewerbekälte auf das besondere Gewicht der von industriellen Großeinrichtern betreuten großen Lebensmittelmärkte bei der R12-Umstellung zurück. Wie bereits bemerkt, setzen alle drei industriellen Verkaufskälteanbieter in Altanlagen zu über 95% R401A ein.

Kapitel 3

Zusammenfassung: Die gesamte Gewerbekälte und ihr R12-Ersatz

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Daten aus dem Bereich der handwerklich betreuten Gewerbekälte (Kapitel 1) und der übrigen Gewerbekälte (Kapitel 2) zur gesamten Gewerbekälte zusammengefaßt.

Ziel dieses Kapitels ist nicht die Wiederholung dessen, was zur R12-Umstellung in den beiden vorausgehenden Kapiteln steht. Durch die Addition beider Bereiche ergeben sich jedoch bei den Ersatzquoten und anderen Daten Veränderungen, die hier zu betrachten und kommentieren sind.

Angesichts der Dominanz des Kältehandwerks in der gesamten Gewerbekälte - es führt 90 Prozent aller R12-Umstellungen durch -, sind wichtige Einzelheiten, welche die Gewerbekälte insgesamt betreffen, zum größten Teil dort (Kapitel 1) abgehandelt.

Das Kapitel beschränkt sich auf die wichtigsten Unterschiede der gesamten Gewerbekälte zu der rein handwerklich betreuten.

3.1 Die R12-Ersatzquote 64% für die gesamte Gewerbekälte

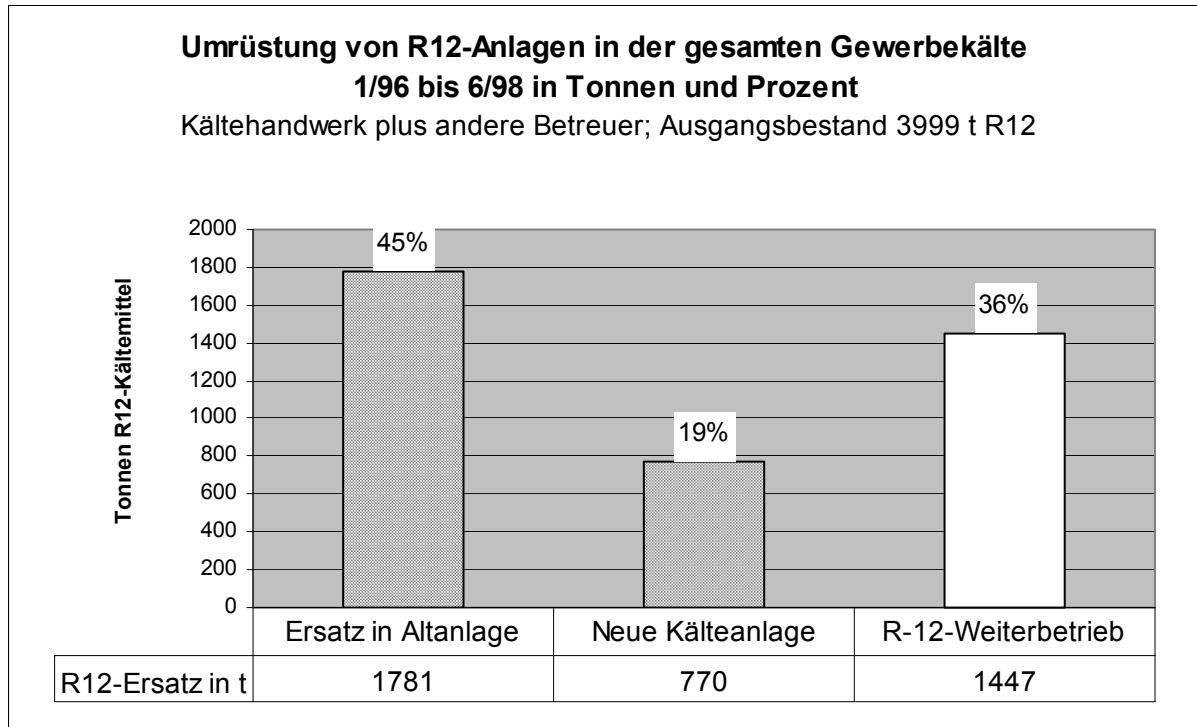


Diagramm 7: Umrüstung von R12-Anlagen in der gesamten Gewerbekälte 1/96 bis 6/98 in Tonnen und Prozent. Bezug: Kältehandwerk und andere Anlagenbetreuer; Ausgangsbestand 3999 t R12. Seit Anfang 1996 wurden vom Ausgangsbestand 45% in Altanlagen und 19% durch Neuanlagenbau ersetzt. Die Umrüstung beträgt 64%. Es blieben 36% R12 in Betrieb.

Diagramm 7 zeigt, wie sich der R12-Ausgangsbestand von insgesamt 4000 Tonnen in handwerklich und anders betreuten Gewerbekälteanlagen seit der Ersatzkältemittel-Bekanntgabe durch das Umweltbundesamt entwickelt hat. Ersetzt durch Ersatzkältemittel wurden in Alt- und Neuanlagen zusammen knapp 64% (2551 t). Diese Ersatzquote teilt sich in 45% Umstellung in bestehenden Altanlagen (1781 t) und 19% in Neuanlagenbau (770 t). Im Mai/Juni 1998 wurden noch 36% des Ausgangsbestandes von Anfang 1996 mit R12 weiterbetrieben. Das sind 1448 t.

Die nachfolgenden Tabelle 18 und 19 rekapitulieren, wie sich die Umrüstung in den beiden Bereichen "handwerklich betreute" und "übrige" Gewerbekälte jeweils getrennt vollzog. Die lt. Tabelle 19 in der übrigen Gewerbekälte um 10% höhere Umrüstquote (alt + neu) von 73% führt dazu, daß in der gesamten Gewerbekälte die Umrüstquote nunmehr 64% statt 63% (nur Handwerk) beträgt.

Tab. 18: R12-Ersatz in der gesamten Gewerbekälte			
Ausgangsbestand und Struktur der Kältemittel in Tonnen			
	Kälte-Handwerk allein*	übrige Gewerbekälte**	Gesamte Gewerbekälte
Ersatz in Altanlagen	1516	265	1781
Ersatz durch Neubau	747	23	770
<i>Umstellung alt+neu</i>	2263	288	2551
R12-Restbestand	1342	105	1448***
R12-Ausgangsbestand	3605**	393	3999***

* siehe Kapitel 1, Diagramm 5; ** siehe Kapitel 2, Tabelle 15. *** aufgerundet.

Die hohe Umrüstquote in der übrigen Gewerbekälte ist auf die lt. Tabelle 19, Zeile 1, mit 67% sehr hohe Quote in der Altanlagenumstellung zurückzuführen (zum Vergleich: 42% beim Kältehandwerk). Wir erinnern an Kapitel 2.1: Die gewichtige Teilbranche der großen Lebensmittelmärkte wurde mit dem Spitzenwert 92% umgerüstet, davon 82% durch Ersatz in Altanlagen (Tabelle 9).

Tab. 19: R12-Umrüstung in der gesamten Gewerbekälte			
Ausgangsbestand und Struktur der Kältemittel in Prozent			
	Kälte-Handwerk allein*	übrige Gewerbekälte**	Gesamte Gewerbekälte
Ersatz in Altanlagen	42%	67%	45%
Ersatz durch Neubau	21%	6%	19%
<i>Umstellung alt+neu</i>	63%	73%	64%
R12-Restbestand	37%	27%	36%
R12-Ausgangsbestand	100%	100%	100%

* siehe Kapitel 1, Diagramm 5; ** siehe Kapitel 2, Tabelle 15.

Gegenüber der vom Kältehandwerk allein durchgeführten R12-Umstellung steigt durch die Einbeziehung der nicht-handwerklich betreuten Gewerbekälte die R12-Umrüstquote (alt + neu) von 63% auf 64% an. Beim Ersatz in bestehenden Anlagen erhöht sich die Umrüstquote gar von 42% auf 45%. Beim Ersatz durch Neuanlagen reduziert sie sich von 21% auf 19%.

3.2 Ersatzkältemittel für Altanlagen der gesamten Gewerbekälte

Diagramm 8 gliedert die 1781 Tonnen Ersatzkältemittel für Altanlagen (s. Diagramm 7) nach Typen auf. Durch die Zusammenfassung von Kältehandwerk und anderen Anlagenbetreuern findet eine deutliche Verschiebung in der Kältemittel-Zusammensetzung gegenüber der rein handwerklich durchgeführten Altanlagenumstellung statt (vgl. Kapitel 1, Diagramm 6).

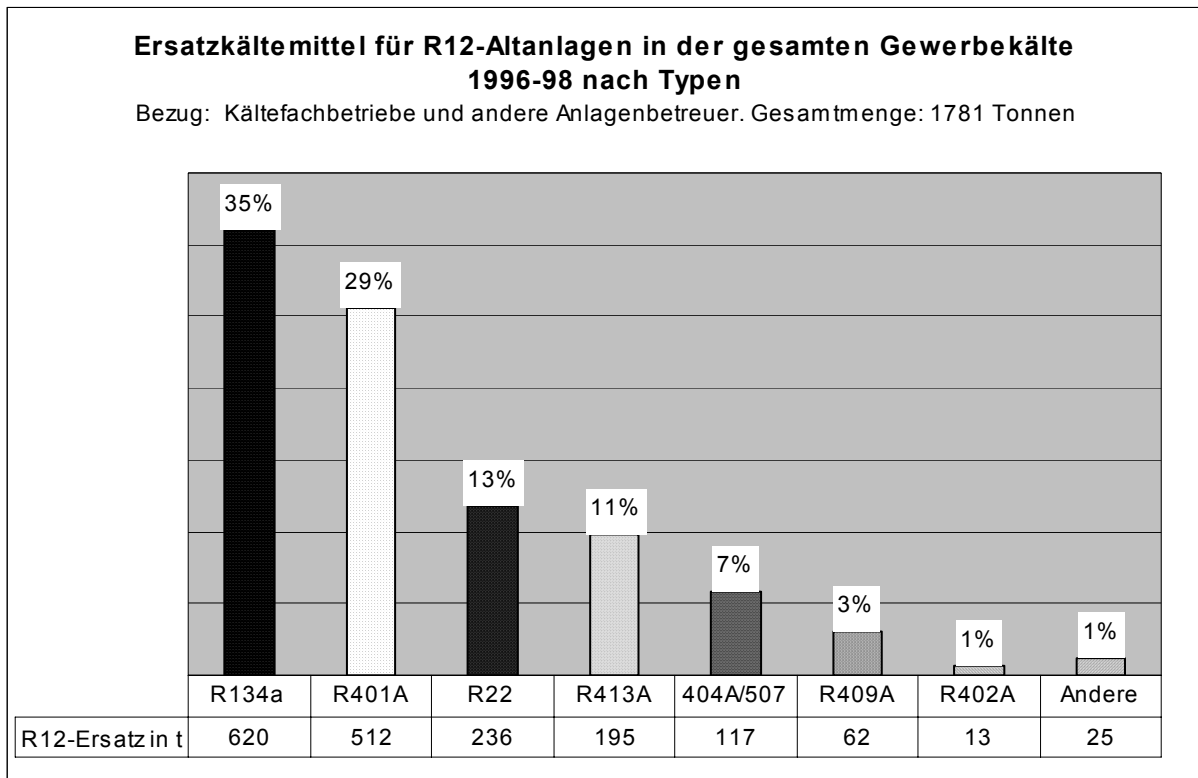


Diagramm 8: Ersatzkältemittel für R12-Altanlagen in der gesamten Gewerbekälte 1996-98 nach Typen. Bezug: 1781 Tonnen ersetztes R12. Gegenüber der rein handwerklichen R12-Umrüstung ist der Anteil von R401A deutlich höher: 29% statt 22%. Alle anderen Kältemittel sind prozentual geringer vertreten als bei der rein handwerklichen R12-Umstellung.

R134a ist zwar auch jetzt noch das meistgenutzte Kältemittel (620 Tonnen bzw. 35%). Aber das Drop-In-Kältemittel R401A hat aufgrund seiner ausgiebigen Verwendung in der nicht-handwerklich betreuten Gewerbekälte (s. Tabelle 20) in der gesamten Gewerbekälte absolut und relativ einen höheren Stellenwert: 512 Tonnen oder 29% (Diagramm 8).

Wie die Gegenüberstellung in Tabelle 20 zeigt, bringt die Addition der handwerklich betreuten und der übrigen Gewerbekälte es mit sich, daß alle Kältemittel außer R401A zwar absolut leicht zunehmen, aber relativ gegenüber R401A deutlich sinken.

Zugleich erhöht sich durch diese Verschiebung zugunsten von R401A der Anteil chlorhaltiger Kältemittel bei der Altanlagenumstellung. Die chlorhaltigen Kältemittel R401A, R22, R409A/B, R402A/B, R401B machen in der gesamten Gewerbekälte zusammen 47,5%, die chlorfreien Kältemittel R134a, R404A/507 und R413A entsprechend 52,5% aus (Diagramm 8).

Tab. 20: Kältemittel für Altanlagen in der handwerklich betreuten und übrigen Gewerbekälte in Tonnen und Prozent				
	Kälte-Handwerk allein*		Übrige Gewerbekälte**	
	Menge in t	Anteile	Menge in t	Anteile
R134a	601	40 %	19	7 %
R401A	334	22 %	178	67 %
R413A	172	11 %	23	9 %
R22	211	14 %	25	9 %
R404A/507	117	8 %	0	0 %
R402A	13	1 %	0	0 %
R409A	60	4 %	2	1 %
Andere	7	< 1 %	18	7 %
Summe	1516	100 %	265	100 %

Beim Kältehandwerk allein beträgt der Anteil chlorhaltiger Kältemittel an allen Kältemitteln für Altanlagen 6% weniger als bei der gesamten Gewerbekälte, nämlich 41,2%. Chlorfreie Kältemittel machen dort fast 59% aus (vgl. Tabelle 20).

3.3 R12-Ersatz nach Branchen der gesamten Gewerbekälte

Die Umrüstquoten der gesamten Gewerbekälte unterscheiden sich selbstverständlich nur in denjenigen Branchen von denen des Kältehandwerks, wo außer dem Handwerk sonstige Anlagenbetreuer überhaupt aktiv sind. Dies ist der Fall nur in fünf Branchen, nämlich bei Lebensmittelmärkten und Fleischerbetrieben, in der Landwirtschaft (Milchkühlung), der Industrie (Flüssigkeitskühlsätze) und der Transportkälte. Letztere firmiert aufgrund ihrer geringen quantitativen Bedeutung hier unter "Sonstiges" und wird nicht gesondert behandelt. In der Industriekühlung gibt es zwischen Handwerk und anderen Kälte Dienstleistern keine Unterschiede in Bezug auf das Ausmaß der R12-Umstellung. Es bleiben Lebensmittelmärkte, Fleischer und Landwirtschaft.

Tab. 21: R12-Ausgangsbestände und Ersatzquoten nach Branchen der gesamten Gewerbekälte in Tonnen bzw. Prozent		
Bezug: Kältehandwerk und andere Anlagenbetreuer		
Kältebranche	R12-Ausgangsbestand in t	Ersatzquoten (alt+neu) in %
Fleischer/Metzger	649	60%
Lebensmittelmärkte	561	85%
Bäcker/Konditoren	302	41%
Großküchen (Kantinen usw.)	243	59%
Speiserestaurants	265	49%
Krankenhauskühlung (o.Klima)	153	84%
Gaststätten (Getränke)	257	41%
Gärtnereien, Blumen/Pflanzen	118	60%
Landwirte, Obst/Gemüse/Milch	663	64%
Industriekühlung	529	79%
Sonstiges*	259	53%
Summe/Gew. Durchschnitt	3999	64%

* Zusammenfassung von Trocknung/Luftentfeuchtung, Klimaanlage und "Sonstiges".

In Tabelle 21 und in Diagramm 9 sind neben den absoluten R12-Ausgangsbeständen der einzelnen Branchen der gesamten Gewerbekälte ihre spezifischen R12-Ersatzquoten (in Prozent der Ausgangsbestände) dargestellt.

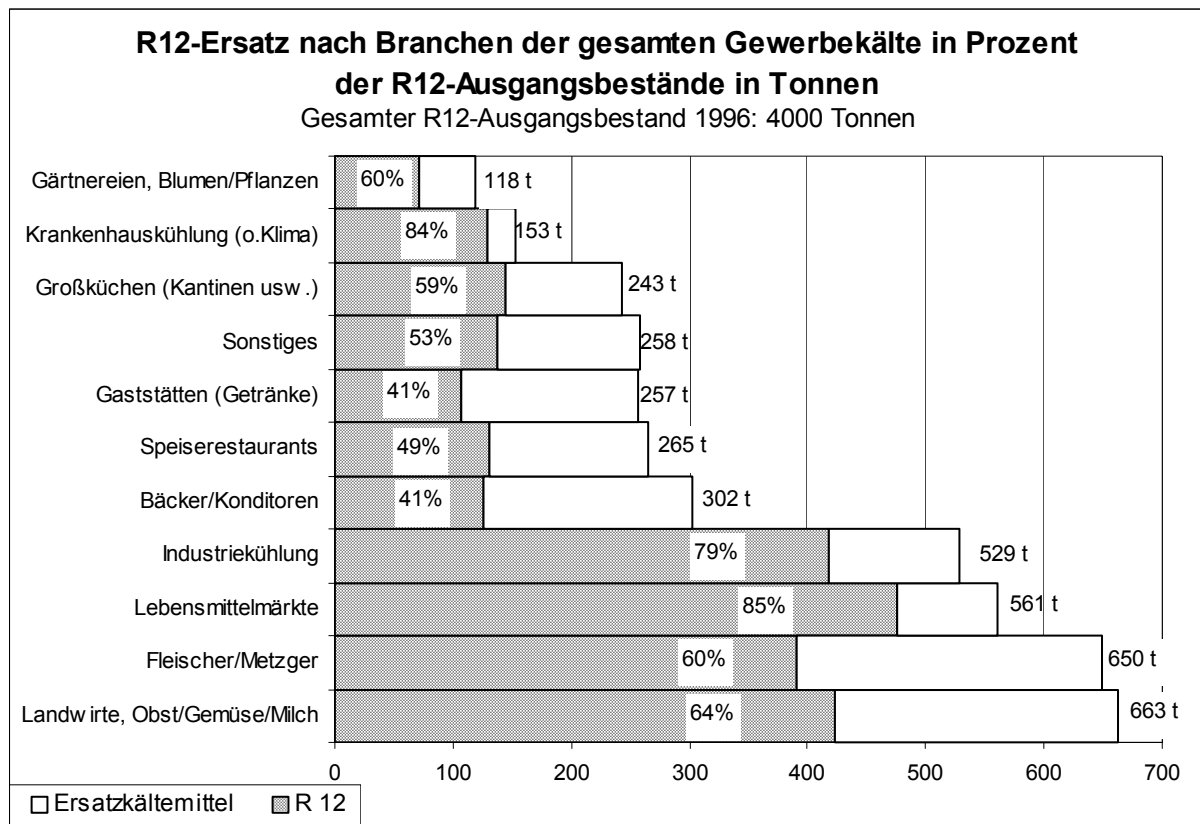


Diagramm 9: R12-Ersatz nach Branchen der gesamten Gewerbekälte in Prozent der R12-Ausgangsbestände in Tonnen. Gesamter R12-Ausgangsbestand 1996: 4000 Tonnen. Die einzelnen Branchen sind als Balken dargestellt. Deren Länge repräsentiert den R12-Ausgangsbestand in Tonnen (rechts außen notiert). Die Balken sind unterteilt in einen linken (grauen) Teil, der prozentual die Umstellung auf Ersatzkältemittel wiedergibt. Der rechte Teil (weiß) stellt den Anteil des R12-Restbestands von Mitte 1998 dar. Größte (im Sinne von R12-Ausgangsmenge) Branche ist die Landwirtschaft mit 663 t R12 (Ersatzquote: 64%). Die kleinste Branche sind Gärtnereien/Blumenhandel mit 118 t R12-Ausgangsbestand (Ersatzquote: 60%). Die höchste Ersatzquote weisen Lebensmittelmärkte auf (85%). Die niedrigsten Umrüstquoten (je 41%) haben Gaststätten und Bäckereien/Konditoreien.

In der gesamten Landwirtschaft beträgt die Umrüstquote jetzt 64% - gegenüber 66% beim Kältehandwerk allein. Dieser Rückgang liegt an der schleppenden Umrüstung im Bereich der Milchkühlung durch die Kundendienste bzw. Vertragshändler der Kühlgeräteelieferanten (vgl. Kapitel 2.4).

Umgekehrt verhält es sich bei den Umrüstquoten der Lebensmittelmärkte und Fleischereibetriebe bei der gesamten Gewerbekälte gegenüber der handwerklich betreuten, die 85% statt 82% bzw. 60% statt 59% betragen. Die Lebensmittelmärkte stehen damit an der Spitze der R12-Umrüstung in der Gewerbekälte. Beide Male sind für die hohen Werte die drei industriellen Markteinrichter verantwortlich, die im Kundenkreis der größeren Lebensmittelmärkte (sowie größerer Fleischereibetriebe) überdurchschnittlich stark vertreten sind. Im Bereich der Verkaufsmärkte der großen Handelsketten wirkt sich der - in Kapitel 1.3.3 - schon fürs Handwerk gefundene -

Grundsatz aus: Je größer der Anlagenbetreiber, desto höher die Bereitschaft zur R12-Umstellung.

3.4 Fazit zur gesamten Gewerbekälte

Nahezu alles, was bezüglich R12-Umrüstung die gesamte von der rein handwerklich betreuten Gewerbekälte unterscheidet, geht auf die industriellen Markteinrichter zurück.

- Die höhere allgemeine Umrüstquote.

Die hohe R12-Umstellung in den großen Lebensmittelmärkten von über 90% drückt die generelle 63-Prozent-Quote der handwerklich betreuten Gewerbekälte um einen Prozentpunkt nach oben auf 64 Prozent.

- Der höhere Anteil chlorhaltiger Drop-In-Kältemittel.

Der extrem hohe Anteil der Drop-In-Umrüstung fortbestehender Altanlagen im Bereich der industriell umgestellten Lebensmittelmärkte einerseits und die ausschließliche Verwendung des R22-haltigen Kältemittels R401A andererseits führen dazu, daß chlorhaltige Kältemittel einen größeren Raum als bei der handwerklichen Umstellung einnehmen.

- Die höchste Umrüstquote einer einzelnen Branche.

Die Umrüstquote der Lebensmittelmärkte, die unter handwerklicher Betreuung mit 82% die zweithöchste war, nimmt dank der industriellen Markteinrichter den Spitzenwert von 85% ein.

Zweiter Teil

Fahrzeugklima

In diesem Teil geht es um R12-Bestand und R12-Ersatz in Altklimaanlagen von Pkw, Lkw, Bussen und Eisenbahn. Auf Schiffen ist R22 das Standardkältemittel. Flugzeuge werden in der Luft nicht mit Kältemitteln klimatisiert.

Pkw-Klimaanlagen sind mit Abstand das größte R12-Depot im Bereich der Fahrzeugklimatisierung. Wie das erste Kapitel dieses Teils zeigt, bewegte sich hier die Umstellung auf Ersatzkältemittel auf einem sehr niedrigen Niveau. Vom R12-Bestand in Pkw-Klimaanlagen in Höhe von 1600 Tonnen wurden in den vergangenen dreißig Monaten ganze 112 Tonnen durch Ersatzkältemittel ausgetauscht. Das ist eine Quote von sieben Prozent. Bei Klimaanlagen in Lkw ist die Umrüstung bisher ähnlich gering. Bei Reisebussen beträgt sie immerhin 30 Prozent. Und bei der Eisenbahn ist die Umstellung bereits vollständig (100 Prozent) realisiert. Einen zusammenfassenden Überblick gibt Tabelle 22.

Tab. 22: Ausgangsbestand und Ersatz von R12 im Bereich Fahrzeugklima			
Fahrzeugart	R12-Ausgangsbestand 1996	R12-Ersatz bis Mitte 1998t	Ersatzquote
1. Straßenfahrzeuge	1710 t	138 t	8%
<i>Pkw</i>	<i>1600 t</i>	<i>112 t</i>	<i>7%</i>
<i>Lkw-Fahrerkabinen</i>	<i>30 t</i>	<i>2 t</i>	<i>7%</i>
<i>Reisebusse</i>	<i>80 t</i>	<i>24 t</i>	<i>30%</i>
2. Schienenfahrzeuge	30 t	30 t	100%
<i>Eisenbahn</i>	<i>30 t</i>	<i>30 t</i>	<i>100%</i>
3. Alle Fahrzeuge	1740 t	168 t	10%

Alle Fahrzeuge zusammengefaßt, wurden in bestehenden Klimaanlagen seit 1996 ca. 168 Tonnen R12 ersetzt. Der R12-Weiterbestand beträgt ca. 1570 Tonnen.

Trotz klarer Vorgaben für das Retrofitverfahren mit R134a gab es auch – wenngleich geringfügigen - R12-Ersatz durch das Drop-In-Kältemittel R413A. Schätzungsweise wurden davon rund 15 Tonnen eingesetzt: 9 Tonnen für Pkw, 2 Tonnen für Reisebusse und 4,2 Tonnen für die Eisenbahn. Auf R134a entfallen rd. 153 Tonnen.

Zu den niedrigen R12-Ersatzquoten bei Autoklimaanlagen

Die großen Unterschiede im R12-Ersatz zwischen Gewerbekälte (64 Prozent) einerseits und Pkw-Klima (7 Prozent) andererseits brauchen nicht auf unterschiedliches Verantwortungsgefühl für die Ozonschicht zurückzugehen. Nüchternes Kalkül bei den Anlagenbetreibern reicht als Erklärungstatbestand aus. Entscheidend für den Beschluß zur R12-Umstellung ist das Risiko, das durch ihre Unterlassung entsteht. Deren möglichen Folgen sind in der Gewerbekälte deutlich gravierender als bei der Pkw-Klimatisierung. Ferner spielen die Kosten eine Rolle.

Die Gewerbekälte ist auf betriebssichere Kühlung ohne längeren Stillstand angewiesen. Zur Erinnerung: Über 80 Prozent der Kältemittel dienen der Kühlung verderblicher Güter. Zwar ist ein Leckagebedingter Anlagenausfall nie auszuschließen, aber er wiegt umso schwerer ohne die Möglichkeit, Kältemittel nachzufüllen. Nach dem 30.6.1998 steht FCKW R12 nicht mehr zur Verfügung. Rechtzeitige Umstellung auf ein anderes Kältemittel ist in der Gewerbekälte Bedingung laufenden Geschäftsganges - ohne Warenverluste und Umsatzeinbußen. Dies gilt auch für die Industrie, wo ein Stillstand gekühlter Produktionsprozesse Stockung der Fertigung bedeutet. Wer nicht vorher R12 ersetzt, sondern erst bis zum Schadensfall damit wartet (wie dies offenbar diejenigen in der Gewerbekälte tun, die mit R12 weiterkühlen), nimmt das Risiko eines durch die dann unvermeidliche Umrüstung verlängerten Geschäftsausfalls in Kauf.

Anders beim Autofahrer. Das Ausfallrisiko R12-betriebener Autoklimaanlagen ist erträglich. Der Stillstand mindert höchstens Komfort, nicht aber die Verkehrstüchtigkeit des Fahrzeugs. Und das Aufschieben der Umrüstung erspart vorläufig 500 bis 1000 Mark, die eine endgültige Ersparnis werden, wenn die Klimaanlage bis zum Schluß intakt bleibt. Dieser Gesichtspunkt dürfte bei Privatzutzern und den Zweitutzern ausrangierter Firmenwagen von Bedeutung sein.

Bei der Pkw-Klimatisierung fehlt im Gegensatz zur Gewerbekälte ein essentielles Eigeninteresse der Betreiber an einer vorzeitigen Umrüstung von Altanlagen. Die strafrechtliche Verpflichtung zur Umrüstung als Korrektiv des mangelnden Eigeninteresses ist mit der veränderten Rechtsauslegung seit Mitte 1997 weggefallen. Damit verzögert sich der allgemeine R12-Ersatz in Autoklimaanlagen um einige Jahre, in denen er über den langsameren Weg des Ersatzes alter durch neue Fahrzeuge erfolgt und in deren Verlauf FCKW-Kältemittel emittieren, statt einer geregelten Entsorgung zugeführt zu werden.

Warum aber die hundertprozentige Umrüstung bei der Bahn, wo es sich doch hier gleichfalls um klimatisierte Fahrzeuge handelt? Gewiß bedeutet auch bei der Bahn der Ausfall einer Reisewagenklimaanlage infolge Verlust von nicht mehr nachfüllbarem Kältemittel zunächst nur eine Komforteinbuße, keine Störung des Fahrbetriebs.

Anders als beim Auto ist beim Verkehrsdienstleistungsanbieter Bahn das Maß des Komforts jedoch keine Privatsache des Betreibers, sondern ein Anspruch der Fahrgäste, den sie mit der Fahrkarte miterworben haben. In Hochgeschwindigkeitszügen entfällt sogar die Möglichkeit, die Luftqualität selbst mitzuregulieren, da die Fenster nicht zu öffnen sind. Konsequenterweise gelten für das Wageninnere Behaglichkeitsanforderungen, die in Normen und Vorschriften festgelegt sind (s. Adolph 1998, 134). Mit anderen Worten: Der Ausfall von Klimaanlagen ist für die Bahn ein Risiko, das es im Interesse der Kundenzufriedenheit und damit des Umsatzes zu minimieren gilt. Insofern steht die Eisenbahn der Gewerbekälte näher als der Straßenfahrzeugklimatisierung, und von daher ist ihre hohe Umrüstquote erklärlich.

Gang der Darstellung

Der nachfolgende empirische Teil gliedert sich in zwei Kapitel. Kapitel 1 behandelt R12-Bestand und R12-Ersatz in Altklimaanlagen von Pkw. Kapitel 2 behandelt sonstige Fahrzeuge: Lkw, Reisebusse und Eisenbahn.

Kapitel 1

Pkw-Klima

Die in Deutschland vertretenen Autofirmen bieten für ihre R12-haltigen Altklimaanlagen bereits seit 1992 die Umstellung auf R134a an. Davon Gebrauch machen Autobesitzer aber erst seit der Ende 1995 verkündeten 30-monatigen Umrüstfrist⁹. Für eine Umrüstung infrage kamen in den 30 Monaten bis Mitte 1998 alle mit R12 klimatisierten Fahrzeuge, für die eine Nutzung über jenen Zeitpunkt hinaus erwartet wurde.

Unter der Annahme einer 12-13-jährigen Lebensdauer für Pkw und Klimaanlage beginnt der Bestand R12-klimatisierter Pkw zeitlich vom Baujahr 1986 an und reicht bis zum Zulassungsjahrgang 1992 oder 1993, je nach dem Ausstiegsjahr des Herstellers aus R12 (VDA Pressedienst 1994).

Über den gegenwärtigen Bestand von ursprünglich mit R12 befüllten Klimaanlagen gibt es keine amtliche Statistik, und Schätzungen schwanken zwischen 800 Tsd. (Wöhrl 1998) und über 2 Millionen (Fischer 1997, 39).

Abschnitt 1.1 präsentiert zu Pkw-Altklimaanlagen belastbare Bestandsdaten. Diese sind die Basis für die Betrachtung der realen Umrüstung in Abschnitt 1.2.

1.1 Der aktuelle Bestand von Pkw-Altklimaanlagen

Der gegenwärtige Bestand von Pkw-Altklimaanlagen ist nicht gleich der Summe der zwischen 1986 und 1992 bzw. 1993 im Inland abgesetzten werkseitig oder nachträglich eingebauten Aggregate. Deren Zahl ist nur der Ausgangsbestand. Sobald er erfaßt ist (Abschnitt 1.1.1), ist er um diejenigen klimatisierten Fahrzeuge zu bereinigen, die seit Einbau der Anlage aus dem inländischen Fahrzeugbestand ausgeschieden sind (Abschnitt 1.1.2.).

1.1.1 Der ursprüngliche Gesamtbestand R12-haltiger Pkw-Klimaanlagen

Zwischen 1986 und Herbst 1992 bzw. 1993 sind in Deutschland insgesamt 1680 Tsd. R12-Pkw-Klimaanlagen installiert worden (s. Tabelle 23, Spalte 2). Drei Viertel davon (76%) entfallen auf Fahrzeuge inländischer Marken und etwa 13 Prozent auf Fahrzeuge ausländischer Marken. Die restlichen 11 Prozent sind Nachrüstungen, die sowohl bei deutschen als auch ausländischen Pkw-Fabrikaten in Kfz-Werkstätten vorgenommen wurden. (Vgl. Tabelle 23, Spalte 5)

Über die Hälfte der R12-Anlagen (52%) findet sich bei inländischen Herstellern mit hohem Anteil von Oberklassewagen: Mercedes (22% des Gesamtbestandes), BMW (20%), Audi (8%) und Porsche (2%). Dies ist umso bemerkenswerter, als diese Firmen ein Jahr vor der Konkurrenz werkseitig den R12-Ausstieg vollzogen hatten (vgl. Tabelle 23, Spalte 1).

⁹ Die Modifikation der bis zum 30.6.1998 vorgeschriebenen Umstellungspflicht wurde erst im August 1997 bekannt. Dabei war der Titel der VDA-Pressemitteilung "Klimaanlagen mit dem Kältemittel R12 können unbegrenzt weiter betrieben werden" sicherlich etwas irritierend (VDA-Pressedienst 1997).

Tab. 23: Inlandsabsatz von Pkw und R12-Pkw-Klimaanlagen (R12-KA) 1986 bis 1992 bzw. bis 1993* in Tsd. Stück				
1. Anbieter	2. Pkw-Neuzulassungen	3. Pkw mit R12-KA	4. R12-KA-Ausstattung	5. Anteil an allen R12-KA
Inländ. Marken	16365	1278	8%	76%
Audi bis 12/92*	1324	138	10%	8%
BMW bis 12/92	1335	339	25%	20%
Mercedes b.12/92	1883	370	20%	22%
Porsche bis 12/92	61	27	45%	2%
Opel bis 8/93	4001	107	3%	6%
Ford bis 8/93	2445	117	5%	7%
VW bis 10/93	5316	180	3%	11%
Ausl. Marken b. 8/93	7916	222	3%	13%
Nachrüstung b. 12/93		180	1%	11%
Insgesamt	24280	1680	7%	100%

* Verschiedene Jahre bzw. Monate in Titel bzw. Spalte 1 bedeuten unterschiedlich lange Einbaufristen von R12-Klimaanlagen (R12-KA) der Pkw-Hersteller. Die Zeiträume gelten sowohl für Pkw mit R12-KA (Spalte 3) als auch für die Pkw Neuzulassungen (Spalte 2). Beide sind jeweils nur bis zum herstellerspezifischen Ende der R12-Klimatisierung eingetragen.
Quellen: Spalte 2: VDA 1998; Spalte 3: Inl. Marken: Befragung Pkw-Klima, ausl. Marken: VDIK 1996/1998, Nachrüstungen: Esch 1998; Spalte 4: Spalte 3 zu 2. Spalte 5: Zeilen zu Summe der Spalte 3.

Die große Anzahl von Klimaanlagen bei diesen vier Herstellern geht auf hohe Ausstattungsquoten (Spalte 4) zurück: Hinter Porsche (45% der inländischen Neuzulassungen) folgen die marktstärkeren Fabrikate BMW mit 25, Mercedes mit 20 und Audi mit 10 Prozent. Die in den obereren Wagenklassen schwach vertretenen MassenhHersteller VW, Opel und Ford liegen bei der Klimatisierung auf relativ niedrigem Niveau (Ausstattungsquote um 3 Prozent) und damit etwa so hoch wie die zusammengefaßten ausländischen Pkw-Marken.

Die im gesamten fraglichen Zeitraum seit 1986 installierten 1680 Tsd. Klimaanlagen stellen zahlenmäßig knapp sieben Prozent (Tabelle 24, Spalte 4) der 1986-1993 im Inland neuzugelassenen Pkw dar. Die Ziffer sagt nichts über die Entwicklung im Zeitverlauf aus. Wird diese betrachtet, zeigt sich ein starker Anstieg der Pkw-Klimatisierung¹⁰. Diagramm 10 und die dazugehörige Tabelle verdeutlichen, daß die jährlich installierten Klimaanlagen von rd. 100 000 Stück (1986) auf über 350 000 Stück im Jahre 1992 zunahm. Das entspricht einem Wachstum der Klimatisierungsquote der inländischen Neuzulassungen von 3,7 auf 9,4 Prozent.

An der Zunahme seit 1986 sind deutsche und ausländische Marken (werkseitige Klimatisierung) sowie Nachrüstungen beteiligt. Getragen wird der Mengenaufschwung jedoch eindeutig von den Klimaanlagen deutscher Fabrikate.

Deutsche Marken sind auch für den starken Rückgang R12-betriebener Klimaanlagen 1993 verantwortlich. Dieser ist nicht Ausdruck nachlassender Klimatisierung, sondern Folge des realisierten Umstiegs von Mercedes, BMW, Audi und Porsche auf R134a als Kältemittel. Ausländische Marken und Nachrüster haben 1993 noch stabile, wenn auch keine steigenden Absatzzahlen für R12-Klimaanlagen mehr.

¹⁰ Die Wachstumsdynamik ist allerdings nicht mit dem steilen Aufschwung seit 1992 (Holdack-Janssen 1998,12) vergleichbar, weil die Wagen der mittleren Klassen damals noch kaum klimatisiert wurden.

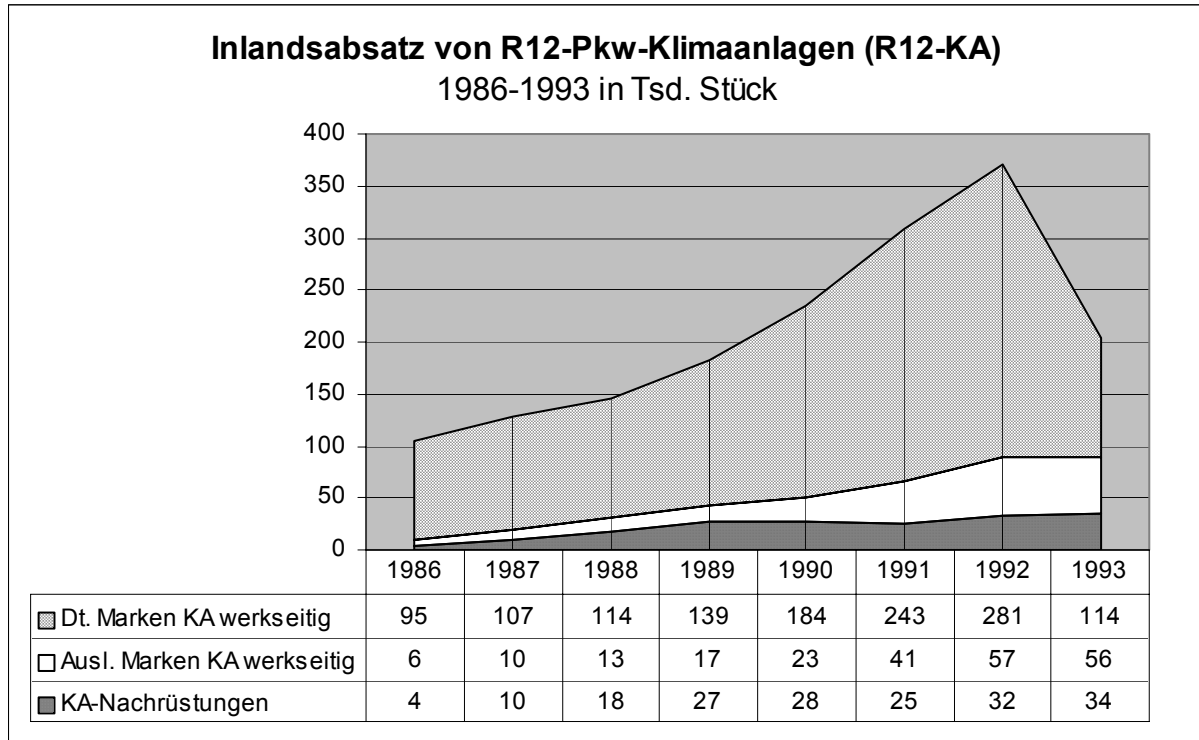


Diagramm 10: Inlandsabsatz von R12-Pkw-Klimaanlagen 1986-1993 in Tsd. Stück. Von 1986 bis 1992 nahmen die im Inland neu eingesetzten Pkw-KA von 100 000 auf über 350 000 Stück zu, vor allem dank der werkseitigen Ausstattung deutscher Marken (oberste Reihe in Diagramm und Datentabelle). Der starke Einbruch im Jahre 1993 ist nicht Ausdruck nachlassender Pkw-Klimatisierung, sondern Folge ihrer endgültigen Umstellung auf R134a in Neuanlagen im Jahresverlauf. Quellen: Befragung Pkw-Klima, VDIK 1996/1998, Esch 1998.

1.1.2 Der bereinigte Gesamtbestand R-12-haltiger Pkw-Klimaanlagen

Um die Abgänge (Verschrottung, Export als Gebrauchtwagen usw.) aus dem ursprünglichen Bestand von 1680 Tsd. zu quantifizieren, haben wir aus dem vom Kraftfahrt-Bundesamt zuletzt für 1. Juli 1997 zusammengestellten "Bestand nach Zulassungsjahren" (KBA 1998) ermittelt, welchen Bestandsschwund die einzelnen Pkw-Zulassungsjahrgänge in Abhängigkeit von der Zeitdauer seit der Erstzulassung aufweisen. Diese Schwundquoten nach Jahren seit Erstzulassung sind in Spalte 3 der Tabelle 24 eingetragen. Die Schwundquote beträgt für 5-jährige Pkw 5 Prozent und erhöht sich auf 40% für 13-jährige.

Der nächste Schritt (Tabelle 24, Spalte 4) bezieht diese für Personenkraftwagen generell geltenden Schwundquoten hilfsweise auf die Summe der in den jeweiligen Jahren eingebauten R12-Klimaanlagen, die in der Datentabelle des Diagramms 9 nach deutschen Marken, ausländischen Marken und Nachrüstungen untergliedert sind. Unter der Annahme, daß sich klimatisierte und nichtklimatisierte Pkw in Bezug auf den Bestandsschwund gleich verhalten, zeigt Spalte 4 annäherungsweise die jährlich bzw. insgesamt aus dem Bestand ausgeschiedenen R12-Pkw-Klimaanlagen.

Von den 1986 bis 1993 im Inland insgesamt eingebauten 1680 Tsd. R12-Pkw-Klimaanlagen sind 13,6 Prozent oder 228 Tsd. Stück nicht mehr im inländischen Bestand vorhanden. Die bis Mitte 1998 zum Kältemittlersatz fälligen Pkw-Altklimaanlagen betragen mithin 1452 Tsd. Stück - 228 Tsd. weniger, als eingebaut worden waren.

Tab. 24: Bestandsschwund von Pkw und Pkw-Klimaanlagen in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter			
Abschätzung aufgrund der KBA-Statistik (Stichtag 1. Juli 1997)			
1. Fahrzeugalter in Jahren	2. Jahr der Erstzulassung	3. Schwund zwischen Zulassung und Stichtag	4. Schwund von Pkw-KA in Tsd.
5	1993	5%	10
6	1992	8%	30
7	1991	9%	28
8	1990	10%	23
9	1989	15%	27
10	1988	20%	29
11	1987	30%	38
12	1986	40%	42
Summe/Durchschnitt	1986-1993	13,6%	228

Erläuterung: Die Schwundwerte der Spalte 3 sind Eigenberechnungen aufgrund der Pkw-Bestandsstatistik des Kraftfahrt-Bundesamts. Spalte 4 ist die Anwendung dieser Werte auf die Summe der im Bezugsjahr eingebauten R12-Klimaanlagen (in der Datentabelle von Diagramm 10 enthalten).

Die Bereinigung geht noch einen Schritt weiter.

Daimler-Benz hat im Zusammenhang mit der Altautoverwertung statistische Betrachtungen zum Bestandsschwund seiner eigenen Pkw durchgeführt. Danach verbleiben "im Mittel von den in den Jahren 1986 bis 1992 zugelassenen Fahrzeugen nur noch ca. 55% als Bestand" (Daimler-Benz 1998). Die Mercedes-Schwundquote beträgt demnach 45% (100% minus 55%) und damit mehr als das Dreifache des für alle Fabrikate für 1986 bis 1993 ermittelten Prozentsatzes (13,6%).

Der Widerspruch löst sich, wenn beachtet wird, daß es sich bei Mercedes um Wagen der oberen Klassen handelt und zu einem hohen Prozentsatz um Firmenwagen, die sehr viel häufiger und vorzeitiger als andere Fahrzeuge in den Gebrauchtwagenexport gehen. Auch BMW meldet eine höhere Schwundquote als die aus der KBA-Statistik ermittelte, nämlich ca. 27 Prozent (Befragung Pkw-Klima). Andere Hersteller äußerten sich nicht in dieser Hinsicht.

Werden außer der oben dargestellten Schwundquote von 13,6% für die Gesamtheit der Pkw-Marken noch die überdurchschnittlichen Bestandsabgänge von Mercedes (45%) und BMW (27%) berücksichtigt, dann ist der Bestand von Altklimaanlagen weiter nach unten zu korrigieren: Denn von den 370 Tsd. R12-klimatisierten Mercedes-Pkw sind 166 Tsd. statt 50 Tsd. nicht mehr im inländischen Bestand. Und von den 339 Tsd. klimatisierten BMW-Fahrzeugen haben offenbar 92 Tsd. statt 46 Tsd. den Bestand verlassen.

Tab. 25: Bereinigter Bestand von Pkw-Altklimaanlagen	
Stand: Mitte 1998 in Tsd. Stück	
Zwischen 1986 und 1993 eingebaute R12-Pkw-Klimaanlagen	1680
Nach durchschnittlicher Schwundquote seither ausgeschieden	-228
Zusätzliche Bestandsminderung bei Mercedes und BMW	-162
Bereinigter Gesamtbestand Mitte 1998	1290

Die zusätzliche, oberklassenspezifische Bestandsminderung führt dazu, daß Mitte 1998 insgesamt ca. 162 Tsd. Pkw-Alt Klimaanlage weniger zur Umrüstung anstanden (s. Tabelle 25), gemessen an der durchschnittlichen oder "normalen" Bestandsminderung (minus 228 Tsd.). Das ergibt einen bereinigten Gesamtbestand von R12-Pkw-Klimaanlagen in Höhe von insgesamt 1290 Tsd. Stück (Tabelle 25).

1.1.3 R12-Menge in Pkw-Alt Klimaanlage: 1600 Tonnen

Die mittlere Füllmenge gegenwärtiger Klimaanlage ist mit 0,9 kg R134a viel geringer als diejenige der R12-Anlagen. Das liegt teils an der geringeren Dichte von R134a gegenüber R12, teils daran, daß immer mehr kleinere Fahrzeuge mit geringerem Kältemittelsatz klimatisiert werden. Aber auch unabhängig davon sind die Anlagen kompakter geworden.

Alt Klimaanlage haben in der Regel Füllmengen über 1 kg. Branchenexperten rechnen mit "zirka 1,3 kg R12 je Klimaanlage" (Nonnenmann 1995, 3). Nach einer Erhebung aus dem Jahre 1991 betrug die (gewichtete) durchschnittliche Füllmenge neuer R12-Pkw-Klimaanlagen 1990 bei den deutschen Autoherstellern rechnerisch 1,386 kg (Schwarz/Leisewitz 1991, 59). Insbesondere die großen Füllmengen von BMW (1,9 kg) und Mercedes (1,2-1,5 kg) hoben den Durchschnittswert an. Berücksichtigt man aber, wie im vorausgehenden Abschnitt, den überproportionalen Bestandsabgang gerade dieser Fahrzeuge, dann beträgt die durchschnittliche R12-Füllmenge von Anlagen des bereinigten Gesamtbestands weniger. Wir schätzen ca. 1,25 kg¹¹. Die FCKW-Kältemittelmenge in Pkw-Klimaanlagen als Produkt aus bereinigter Altanlagenzahl und durchschnittlicher R12-Füllmenge beträgt rechnerisch 1.612 500 kg oder abgerundet 1600 Tonnen.

Rund 1600 Tonnen R12 sind der Kältemittelbestand, der in Pkw-Alt Klimaanlage seit 1996 zum Ersatz anstand.

1.2 Die Umrüstung der Pkw-Alt Klimaanlage

In der Gewerbekälte beträgt die Lebensdauer des Gebäudes, in dem sich die Kälteanlage befindet, ein Mehrfaches der Nutzungszeit der kältetechnischen Hauptkomponenten. Darum findet dort der R12-Erstsatz häufig durch eine Neuanlage statt. Bei Automobilen übersteigt die Fahrzeuglebensdauer die Nutzungsdauer der Klimaanlage im allgemeinen nicht oder nur unwesentlich; ihre technische Lebensdauer entspricht in etwa der des Fahrzeugs. Der Einbau einer Neuanlage im bestehenden Fahrzeug kommt als R12-Ersatzmaßnahme darum praktisch nicht vor. Wenn umgestellt wird, dann handelt es sich um die Altanlage, und nur solche Fälle werden hier berücksichtigt.

Die Automobilindustrie hat sich für den Austausch von R12 durch R134a (Retrofit-Verfahren) entschieden und nur R134a als Ersatzkältemittel freigegeben. Für den Wechsel sind ein Servicegerät zum Absaugen des Kältemittels R12 und des Mineralöls und ein Servicegerät zur Befüllung mit R134a erforderlich. Die

¹¹ Wie weit in der Realität die Alt Klimaanlage noch ganz gefüllt sind und wieviel installierte Anlagen mangels R12-Kältemittelnachfüllung gar nicht mehr betrieben werden, entzieht sich unserer Kenntnis und ist im Rahmen dieser Studie nicht zu ermitteln.

notwendigen Ersatzteile werden von fast allen Automobilherstellern in - teilweise modellspezifischen - Retrofit-Sätzen bzw. Umrüst-"Kits" angeboten (Wöhrl 1998). Diese umfassen mindestens einen neuen Filtertrockner, mehrere Dichtungsringe sowie Adapter für die Füllventile. Außerdem, was nicht unwichtig ist, einen Aufkleber für die Klimaanlage, der auf den neuen Inhalt R134a hinweist.

1.2.1 Drei Gruppen von Umrüstern

Die Autoindustrie vermittelt die Sachkunde über den Kältemittelwechsel selbst. Dafür gibt es Lehrgänge und Lehrgangsmaterial (vgl. VDA 1996). Wegen der erforderlichen Infrastruktur und fachlichen Qualifikation ist die R12-Umstellung bei Autoklimaanlagen vorwiegend Sache von Spezialisten in Vertragswerkstätten der Automobilfirmen.

Gleichwohl spielen freie Werkstätten sowie Boschdienste eine wichtige Rolle bei der Umrüstung, zumal Halter von älteren Fahrzeugen häufig von der Vertrags- zur freien Werkstatt wechseln (Wöhrl 1998). Die nicht fabrikatgebundenen Werkstätten besorgen sich Umrüst-Kits von den Lieferanten, die auch die Nachrüstklimateanlagen für die europäischen und japanischen Fahrzeuge anbieten. Als Lieferant ist an erster Stelle die Fa. Waeco in Emsdetten (Generalimporteur der europaweit führenden Diavia-Nachrüst-Klimateanlagen) zu nennen.

Auch Kältefachbetriebe sind an der Umrüstung beteiligt, und zwar im Auftrag einer oder mehrerer Kfz-Werkstätten, die selber nicht über die erforderliche materielle oder personelle Ausstattung verfügen. Kältehandwerker sind auf die Umrüstsätze der Autoindustrie oder der Klimateanlagen-Nachrüster nicht unbedingt angewiesen.

1.2.2 Umrüstquote 7 Prozent

Die Automobilfirmen führen keine direkte Statistik über die R12-Umstellung. Allerdings kennen sie die Zahl der an die Vertragshändler verkauften Retrofitsätze samt Aufklebern, und sie können diese Zahl wiederum nach In- und Ausland unterscheiden. Dies gilt ebenso für die Nachrüster, die überwiegend an freie Werkstätten und Boschdienste Umrüstsätze verkaufen (Befragung Pkw-Klima).

Tab. 26: Inländische Umrüstungen von R12-Pkw-Klimateanlagen auf Ersatzkältemittel seit 1996*		
Umrüster, umgestellte Anlagen, ersetztes R12 in Tonnen		
Umrüster	Umgerüstete Anlagen	Ersetztes R12
Vertragswerkstätten deutscher Fabrikate	53 000	66 t
Vertragswerkstätten ausländischer Fabrikate	9 000	11 t
Freie Werkstätten/Boschdienste	20 000	25 t
Kältehandwerker	8 000	10 t
Summe	90 000	112 t

Quellen: Befragung Pkw-Klima; Esch 1998. Für das Kältehandwerk: Teil I dieser Studie. Lt. Angaben von Automobilfirmen wurden zehn Prozent der Umrüstsätze schon 1995 abgegeben. Strenggenommen wurde ab 1996 entsprechend weniger umgestellt.

Auf indirekten Weg - über die von den Automobilfirmen und Nachrüstern abgesetzten Umrüstsätze oder Aufkleber - sind relativ verlässliche Daten über die seit 1996 durch-

geführte Umrüstung von Pkw-Klimaanlagen erhältlich (s. Tabelle 26). Wegen zugesagter Vertraulichkeit werden die Zahlen nicht nach Fahrzeugmarken differenziert.

Gemessen an der Dichte des zur R12-Umstellung befähigten inländischen Servicenetzes ist die effektive Durchführung zweifellos als sehr gering einzustufen. Lt. Tabelle 26 wurden in den 30 Monaten seit Dezember 1995 nur 90 000 R12-Pkw-Klimaanlagen auf ein Ersatzkältemittel umgerüstet. Bezogen auf den bereinigten Gesamtbestand von Pkw-Alt-Klimaanlagen in Höhe von 1,290 Mio. Stück sind das etwa sieben Prozent.

Den größten Anteil daran hatten mit 53 000 Umstellungen die Vertragswerkstätten der inländischen Automobilhersteller. In freien Werkstätten wurden weitere 20 000 Klimaanlagen umgerüstet. Weitere 8000 Umrüstungen gehen auf das Konto des Kältehandwerks, wie aus der Umfrage bei Kältefachbetrieben hervorgeht, über die Teil I dieser Studie berichtet. Auf etwa zehn Prozent oder 9000 Fälle schätzen wir die Umrüstungen durch Vertragswerkstätten ausländischer Fabrikate¹². Die von Experten (Befragung Pkw-Klima) oft geschätzte Relation zwischen Vertragswerkstätten und anderen Umrüstemern von zwei Drittel zu einem Drittel wird durch Tabelle 26 belegt.

1.2.3 Die verwendeten Kältemittel: Nicht nur das freigegebene R134a

Wie eingangs des Abschnitts 1.2 bemerkt, hat die Autoindustrie ausschließlich R134a als Ersatzkältemittel für R12 freigegeben. Viele Kfz-Werkstätten haben in die materielle und personelle Ausstattung für das entsprechende Retrofitverfahren investiert und sind zur Umrüstung befähigt.

Dennoch scheuen die meisten Halter von R12-Klimaanlagen offenbar die Umrüstkosten von 400 bis 1000 Mark und versuchen, für die restliche Nutzungsdauer des Fahrzeugs mit dem vorhandenen Kältemittel in ihrer Klimaanlage zurechtzukommen. Die Alternative "Umrüstung oder Stilllegung" droht ihnen nach dem 30.6.1998 nur im Fall eines reparaturbedürftigen Schadens an der Klimaanlage.

Eine Drop-In-Umrüstung mit R413A statt R134a ist technisch möglich. Dieses Verfahren wird jedoch von der Automobilindustrie und den Anbietern von Retrofitsätzen entschieden abgelehnt. Gleichwohl scheint der nur halb so hohe Preis, nämlich 250 bis 350 Mark (Rhodia 1998), bei einer gewissen Zahl von Autohaltern die Hemmschwelle zur Umrüstung abzubauen.

Nach Schätzungen aus dem Kältemittelhandel (Ebert/Gehart 1998) werden etwa zehn Prozent der Umrüstungen von Pkw-Klimaanlagen mit R413A durchgeführt. Diese Größenordnung von ca. 9 Tonnen erscheint glaubwürdig, da alle fünf in unserer Repräsentativumfrage vorkommenden Kältehandwerker, die Pkw-Klimaanlagen umrüsten, angaben, dies mit R413A zu tun. Möglicherweise werden Umrüstungen auf das Kältemittelgemisch R413A schwerpunktmäßig beim Kältehandwerk durchgeführt, weil dort der Bekanntheitsgrad dieses Kältemittels höher als in Kfz-Werkstätten ist.

¹² Umrüstungen von Anlagen ausländischer Pkw-Marken fanden auch in freien Werkstätten statt.

Kapitel 2

Lkw, Reisebusse und Eisenbahn

Der weitaus größte Teil von R12 zur Klimatisierung von Fahrzeugen entfällt auf Pkw. Weitere R12-klimatisierte Fahrzeuge sind auf der Straße Lastkraftwagen und Busse und auf der Schiene die Eisenbahn. Der umstellbedürftige R12-Ausgangsbestand von 1996 betrug für diese sonstigen Fahrzeuge - Straßenfahrzeuge und Bahn zusammen - 140 Tonnen. Dabei stehen dem 100-prozentigen R12-Ersatz bei der Bahn recht niedrige Umrüstquoten bei den Straßenfahrzeugen gegenüber.

2.1 Lkw-Fahrerkabinen

Von den in Deutschland zugelassenen rd. 1 Mio. Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen mit einer Nutzlast über 1,5 Tonnen sind nur wenige klimatisiert. Dies gilt auch für landwirtschaftliche Fahrzeuge wie Mähdrescher oder Ackerschlepper. Lediglich bei den für internationale Ferntransporte bestimmten Neufahrzeugen über 16 Tonnen Gesamtgewicht werden die Fahrerkabinen seit Anfang der 90er Jahr zu 10 bis 20 Prozent klimatisiert (Schuster 1998).

2.1.1 R12-Ausgangsbestand: 30 Tonnen

Bei vor 1994 gebauten Lkw-Kabinen wurden Klimaanlage mit 1,2-2 kg R12 befüllt. Nach korrigierten Schätzungen (Öko-Recherche 1995, 24) beträgt die Gesamtzahl der Lkw-Fahrerkabinen mit Altklimaanlagen im heutigen Bestand ca. 10 000 Stück. Die umrüstbedürftige R12-Ausgangsmenge lag Anfang 1996 bei rd. 30 Tonnen.

2.1.2 Umrüstung: 2 Tonnen Kältemittel ersetzt

Eine Befragung des Nutzfahrzeugherstellers MAN (Jarusch 1998), zweier großer Servicestellen für MAN- und Mercedes-Benz-Nutzfahrzeuge (Salzgitter und München) sowie der Klimaanlagebauer Webasto (Schuster 1998) und Sütrak (Nachtmann 1998) führt zu dem Ergebnis: Lkw-Klimaanlagen werden kaum umgerüstet. Die Fälle werden auf fünf bis höchstens zehn Prozent beziffert.

Die Umrüstquote der Lkw-Fahrerkabinen liegt im Bereich der Pkw-Quote (7 Prozent). Von den 30 Tonnen R12 sind etwa 2 Tonnen durch R134a ersetzt worden.

2.2 Reisebusse

Vom 85 000 Fahrzeuge umfassenden Bestand von Kraftomnibussen sind ca. 60 Prozent Linien- und 40 Prozent Reisebusse. Linienbusse werden erst seit Einführung des Kältemittels R134a klimatisiert¹³. Bei Reisebussen (Bestand ca. 35 000 Stück) gab es dagegen schon vor 1994, dem Verbotstermin für FCKW in mobilen Anlagen über 5 kg, eine nennenswerte Klimatisierung (Öko-Recherche 1995, 23), die bis Mitte 1992 mit R12 betrieben wurde und seitdem mit R134a (Möller 1998).

¹³ Zum heutigen Stand der Technik der Busklimatisierung s. Mayer 1998.

2.2.1 R12-Ausgangsbestand: 80 Tonnen

Wird für Reisebusse und ihre Klimaanlage eine Lebensdauer von 12 Jahren angenommen, dann sind von den zwischen 1986 und Mitte 1992 erstzugelassenen 5 ½ Jahrgängen - durchschnittlichen Bestandsschwund vorausgesetzt¹⁴ - noch knapp 40 Prozent (16 000 Fahrzeuge) im Bestand. Deren Ausstattungsgrad mit alten Klimaanlagen beträgt schätzungsweise 40 Prozent, nicht mehr, da viele ältere Busse nach 1992 mit einer Nachrüst-Anlage auf Basis von R134a erstmalig klimatisiert wurden (Jarausch 1998). Damit beträgt die Zahl der Anfang 1996 zum Kältemittelwechsel anstehenden klimatisierten Reisebusse etwa 6500 Stück.

Die Kältemittelfüllung ist bei Bussen beträchtlich, da die Schläuche, durch die das Kältemittel zwischen Motorraum und Fahrzeugdach hin und her strömt, zwischen 5 und 20 Meter lang sind (Nachtmann 1998). Die Füllmenge liegt zwischen 10 und 15 kg, im Mittel bei 12 kg. Damit betrug 1996 der zu ersetzende R12-Bestand in Reisebussen ca. 80 Tonnen.

2.2.2 Umrüstquote 30 Prozent

Die Länge der Kältemittelschläuche (Kupferrohre sind erst seit wenigen Jahren gebräuchlich, ohne allgemeiner Stand zu sein) ist technisch das Hauptproblem der Umrüstung. Über die beim Retrofit üblichen Arbeitsschritte Ölwechsel, Ausspülen des Kreislaufs, Austausch von Trockner und Sammler und ev. des Expansionsventils hinaus müssen in aller Regel auch die Schläuche erneuert werden, da R134a durch die alten Schläuche nicht nur stärker als R12 diffundiert, sondern auch ihre innere Gummischicht chemisch angreift (Jarausch 1998). Die Kosten einer Busumrüstung betragen daher zwischen 5000 und 10 000 Mark (Schuster 1998).

Trotz dieser beträchtlichen Kosten sind die Umrüstquoten für Klimaanlagen bei Reisebussen deutlich höher als bei den Pkw. Dies mag mit der Verantwortung für die Fahrgäste zusammenhängen. Der inländische Marktführer teilt uns für seine Reisebusse eine - über die von seinen Service-Werkstätten verbrauchten Blechschilder mit der Aufschrift R134a ermittelte - Umrüstquote von knapp 25 Prozent mit (EvoBus 1998). Diese Quote läßt sich auf Servicebetriebe der übrigen Reisebus-Hersteller übertragen. Da neben Vertragswerkstätten auch andere Werkstätten sowie Kältehandwerker R12 ersetzen, wenn auch in geringerem Maße als bei den (einfacheren) Pkw-Klimaanlagen, ist die Umrüstquote für Reisebusse generell mit 30 Prozent zu beziffern.

Als Kältemittel ist von den Busherstellern nur R134a freigegeben. Verwiesen wird auf die Notwendigkeit eines einheitlichen Kältemittels, das in jedem Zielland von Reisebussen verfügbar sein muß. Dennoch kommt wegen der hohen Umstellungskosten bei R134a (Schlauchwechsel) auch Drop-In vor, und zwar mit R413A (allerdings nicht bei defekten Schläuchen, die ohnehin gewechselt werden müssen). Weniger als 10% der Umrüstungen werden mit R413A statt R134a durchgeführt.

Von den 80 Tonnen R12-Ausgangsbestand in 6500 Reisebussen wurden bisher rund 30 Prozent ausgetauscht. Das sind 24 Tonnen R12-Ersatz. R134a ist zu über 22 Tonnen Ersatzkältemittel. Knapp 2 Tonnen entfallen auf R413A.

¹⁴ Ältere Reisebusse werden am Ende ihrer Lebensdauer in hohem Maße im Ausland restgenutzt. Dieser Schwund durch Export wird hier nicht berücksichtigt.

2.3 Eisenbahn

2.3.1 R12-Ausgangsbestand 1996: noch 30 Tonnen

Von den Schienenfahrzeugen¹⁵ werden U- und Straßenbahnen erst seit wenigen Jahren und darum mit R134a klimatisiert (Öko-Recherche 1996, 102). Dagegen hat die Klimatisierung bei der Eisenbahn eine lange Tradition. Die Lebensdauer der vor der ICE-Ära beschafften Reisezugwagen beträgt ca. 30 Jahre (Reum 1998). Das bedeutet für den klimatisierten Anteil im Fahrzeugbestand, daß er überwiegend mit ursprünglichen R12-Klimaanlagen ausgestattet ist. Die Bundesbahn bzw. Deutsche Bahn AG hat bereits 1990 die Umrüstung der R12-Klimaanlagen eingeleitet. In einem Zeitraum von zehn Jahren, der nach der Bekanntgabe der Umrüstfrist 30.6.1998 um zwei Jahre verkürzt wurde, sollten sukzessive insgesamt 53,4 Tonnen R12 ersetzt werden (s. Detailaufstellung der Dt. Bahn AG in Tabelle 27).

Tab. 27: Der R12-Ausgangsbestand der Bahn nach Fahrzeugart, Anlagenzahl und Kältemittelmenge im Jahre 1990			
Fahrzeugart	Zahl der Anlagen	Füllmenge pro Anlage in kg	R12-Bestand in Tonnen
Reisezugwagen	1801	18-19	33,3
ICE-Mittelwagen	719	18-19	13,3
ICE-Triebköpfe	120	2,5	0,3
Fahrerstand Lok Baureihe 120	130*	2,5	0,3
Fahrerstand Lok Baureihe 103	282*	2,5	0,7
Schlafwagen	141	30	4,2
Speisewagen**	350	3,5	1,2
Summe/Durchschnitt	3543	15	53,4

* Zwei Anlagen pro Fahrzeug. ** Kälteaggregat zur Kühlung, nicht zur Klimatisierung.
Quelle: Deutsche Bahn AG (Leineweber 1998), SGT 43, Weserglaci Nr.2, Minden.

2.3.2 Umrüstung 100-prozentig

Den 1990 aufgestellten Umrüstplan hat die Deutsche Bahn AG Mitte 1998 vollständig erfüllt. Seit 1991 wurden von eigenem Fachpersonal an drei Standorten jährlich planmäßig 300 Klimaanlagen auf R134a umgestellt (Leineweber 1998). Bis zur Ersatzkältemittel-Bekanntgabe im Dezember 1995 war fast die Hälfte der Anlagen, nämlich über 1500 Stück, FCKW-frei. In der beschleunigten Umrüstphase seit 1996 wurden die restlichen 2000 Anlagen mit ca. 30 Tonnen R12 umgestellt.

Im Sinne der bisher in dieser Studie verwendeten Definitionen sind als R12-Ausgangsbestand nicht jene 53,5 Tonnen (Stand 1990) zu nehmen, sondern die 1996er Restmengen von 30 Tonnen.

Grundsätzlich wurden alle Anlagen mit Esteröl gespült und mit R134a befüllt. Zwei Ausnahmen: Bei den 350 Speisewagen wurde in 86 Fällen einer Restnutzungsdauer von weniger als fünf Jahren die 3,5 kg fassende Kühlanlage (hier handelt es sich ausnahmsweise nicht um Klimatisierung) auf das Drop-In-Kältemittel R401A umgestellt (Gesamtmenge: 300 kg). Der zweite Fall von Drop-In betrifft die 141 Schlafwagen: Ihre 30 kg-Anlagen zur Kaltwassererzeugung wurden seit 1996 auf das chlor-

¹⁵ Zum Stand der Technik der Klimatisierung von Schienenfahrzeugen siehe Adolph 1998.

freie R413A umgestellt, wodurch 4,2 Tonnen FCKW ersetzt wurden. Statt 30 kg R12 enthalten diese Anlagen jetzt 26,3 kg R413A (A.V. 1998, 292-294).

Die seit 1996 eingesetzten 30 Tonnen Ersatzkältemittel bei der Eisenbahn setzen sich wie folgt zusammen: 25,5 Tonnen R134a, 4,2 Tonnen R 413A und 0,3 Tonnen R401A.

Dritter Teil

Großkälte mit Turboverdichtern

Das dritte große einzelne Einsatzfeld von R12 in Anlagen über 1 kg Kältemittel sind Turbokältemaschinen. Hier standen 1996 noch 1000 Tonnen R12 zum Ersatz an. Standardkältemittel für große Klimakälte sind zwar ebenso wie für industrielle Großkälte R22 und Ammoniak (Jakobs 1998). Wo jedoch große Kälteleistungen von 700 kW aufwärts gefordert sind, sind Turboverdichter mit den vollhalogenierten FCKW-Kältemitteln R11 und R12 eine sehr wirtschaftliche Lösung. Nachfolgend geht es um Turboverdichter mit R12, das im Temperaturbereich um und unterhalb 0°C höheren Druck als R11 aufweist und darum dort energetisch wirkungsvoller ist.

1 Technische Eigenschaften von Turboverdichteranlagen

Im Gegensatz zum Kolbenverdichter, bei dem die Druckerhöhung des Kältemittelgases mechanisch mittels hin- und hergehender Kolben erfolgt, ist der Turboverdichter ein Strömungsverdichter: Die Druckerhöhung wird mit einem sich drehenden Schaufel- oder Laufrad (Drehzahl 10 000 -20 000 r/min) bewirkt¹⁶. Während in Kolbenverdichtern kleine Gasmengen gegen große Druckdifferenzen bewegt werden, fördern Turboverdichter große Gasvolumina gegen kleine Druckdifferenzen (Hartmann 1998a, 20).

Meistens, wenn auch nicht immer, sind Turbokälteanlagen indirekte Systeme, d.h. ihre Verdampfer kühlen Flüssigkeiten, die ihrerseits als Kühlmittel umlaufen. Im Klimabereich, einer der beiden Turbo-Hauptanwendungen, ist dies Kaltwasser, das auf ca. 6°C gekühlt wird. In der Industriekälte sind oft tiefere Temperaturen und daher Solen mit niedrigerem Gefrierpunkt gefordert. Werden sehr tiefe Temperaturen verlangt, was in der Chemischen Industrie häufig vorkommt, müssen niedrige Siedepunkte des Kältemittels durch Drucksenkung im Verdampfer erzielt werden.

Für Temperaturen unterhalb -50°C wird allerdings häufiger in Kaskade mit zwei getrennten Kältemittelkreisläufen gefahren, um die Anlage durch die hohen Druckdifferenzen nicht zu sehr zu strapazieren. Im letzteren Fall besorgt der R12-Verdampfer die Verflüssigung eines Tiefkühl-Kältemittels - häufig R13 oder R13B1, deren atmosphärische Verdampfungstemperaturen bei -81,4°C bzw. -57,1°C liegen.

2 Der 1996er R12-Ausgangsbestand in Turboanlagen

Vor dem Verbot von FCKW für neue stationäre Kälteanlagen über 5 kg Füllmenge am 1.1.1992 wurden R12-Turboverdichter in Deutschland von fünf Herstellern angeboten. Die Firma Sulzer Escher Wyss (Lindau) war bei R12-Turbos auf Sonderanlagen für Industriekälte spezialisiert. Dagegen bot Trane Deutschland (Duisburg) R12-Turbos ausschließlich als Serienanlagen im Klimabereich an. Carrier (Unterschleißheim) und York International (Mannheim) boten gleichfalls vorwiegend in

¹⁶ Kinetische Energie wird durch das sich drehende Laufrad auf das Kältemittelgas übertragen und in steigenden statischen Druck umgewandelt. (Hartmann 1994, 551)

Großserie für den Weltmarkt gefertigte Turboverdichter an, sowohl für Klimatisierung als auch für Prozeßkälte. Schließlich sind noch Turbos in Betrieb, die mit ursprünglicher R12-Füllung von Linde (Köln) gebaut worden sind. Diese fünf Unternehmen wurden nach dem 1996er Bestand von R12-Turbos befragt (Befragung Turboanlagen). In den Angaben sind auch die Anlagen enthalten, die ggffs. von regionalen Verkaufs- und Servicebüros betreut wurden.

Tab. 28: R12-Ausgangsbestand in Turboverdichteranlagen		
Anlagenzahl und Kältemittel Anfang 1996		
Anwendung	Anlagen	R12 in t
1. Industrie-Prozeßkälte	635	620
<i>Chemische Industrie</i>	348	386
<i>Autoindustrie</i>	170	132
<i>Lebensmittelindustrie</i>	87	72
<i>Kernkraftwerke</i>	30	30
2. Klimatisierung	541	380
<i>Bürohochhäuser</i>	295	202
<i>Warenhäuser</i>	195	143
<i>Krankenhäuser</i>	51	35
3. Gesamt (Summe 1.+2.)	1176	1000

Quelle: Befragung Turboanlagen.

Der R12-Ausgangsbestand 1996 (Tabelle 28) verteilt sich mit 380 Tonnen zu knapp 40% auf Klimatisierung und mit 620 Tonnen zu über 60% auf Industriekälte. Industrieanlagen sind im Durchschnitt größer (mittl. Füllmenge 975 kg) als Klimaturbos (mittl. Füllmenge 700 kg).

In der Industriekälte stellt die Chemische Industrie (einschließlich Kunststoff- und Erdölindustrie) über die Hälfte der Anlagen und der R12-Ausgangsmenge. Die Anlagen sind hier überdurchschnittlich groß. Die Automobil- und Zulieferindustrie folgt an zweiter Stelle der Anwender. Hier werden Turbos auch zur Klimatisierung von Hallen- und Fertigungsgebäuden eingesetzt und erzeugen nur zum Teil Prozeßkälte. Fast nur für Prozeßkälte wiederum werden Turbos in der Lebensmittelindustrie und in Kernkraftwerken eingesetzt.

Bei der allgemeinen Gebäudeklimatisierung sind Hauptanwender Bürogebäude und Warenhäuser (samt vergleichbaren Einrichtungen wie Museen, Konzertgebäuden u. dgl.). Auch Großkrankenhäuser sind Einsatzgebiete von Turbo-Klimaanlagen.

3 R12-Ersatz in Turboverdichteranlagen

Infolge des FCKW-Verbots für neue Kälteanlagen über 5 kg (1.1.1992) kommen neue R12-Turbos seit 6 ½ Jahren nicht mehr auf den Markt. Ein großer inländischer Turbohersteller hatte sogar schon zehn Jahre früher (1983) keine R12-Turbos mehr geliefert. Bei einer Lebensdauer von Turbokältemaschinen von rund 25 Jahren (Hartmann 1994, 549) hatte Anfang 1996 die Mehrzahl der installierten R12-Turbos

eine Restnutzungsdauer vor sich, die eine Kältemittelumstellung rechtfertigte. Die Umstellung von R12-Turbos wurde 1993 begonnen. Bis 1995 waren nach Auskunft der Anlagenbauer bereits rd. 20 Prozent der R12-Turboanlagen umgerüstet worden¹⁷. Seit Anfang 1996 hat sich die Umrüstung beschleunigt.

3.1 Umrüstquote 84 Prozent

Von den 1000 Tonnen R12 in Turboverdichtern wurden in den 30 Monaten seit Anfang 1996 rd. 840 Tonnen ersetzt. Der Ersatz geschah zu 58 Prozent in bestehenden Altanlagen durch R134a und zu 26 Prozent durch Neuanlagen.

Tab. 29: R12-Ersatz bei Turboverdichteranlagen 1996-1998 in Tonnen und Prozent (Ausgangsbestand: 1000 Tonnen)		
Ersatz in Altanlagen	580 t	58%
Ersatz durch Neuanlagen	260 t	26%
<i>Umrüstung</i>	<i>840 t</i>	<i>84%</i>
Weiter mit R12	160 t	16%

Quelle: Befragung Turboanlagenbauer; VCI 1998.

Im Unterschied zu Altanlagen sind Neuanlagen nicht notwendigerweise wieder Turboverdichter, sondern zu einem gewissen Umfang NH₃- und Absorptionskältemaschinen, die schrottreife R12-Turbos besonders zwischen 1992 und 1995 ersetzen.

16 Prozent (160 Tonnen) der R12-Ausgangsmenge in Turbos waren bis Mitte 1998 noch nicht substituiert. (Tabelle 29)

3.1.1 Neuanlagen nicht immer wieder Turbos

In den vier Jahren zwischen 1.1.1992 (FCKW-Verbot) und 30.12.1995 (UBA-Ersatzkältemittelbekanntgabe) fehlte den Herstellern eine klare Orientierung in bezug auf künftige Kältemittel für Turbos (Befragung Turboanlagen). In diesem Zeitraum wurden viele Neubauten als Absorptions- und Ammoniakanlagen (keine Turboverdichtung) realisiert. Der Trend zu neuen Turbos, und zwar mit R134a, setzte sich erst seit 1996 durch. (Vgl. Kasten "R12-Turboersatz in einem süddeutschen Automobilwerk"; weitere Beispiele zur Umstellung durch Neuanlagen siehe P.W. 1998, 314-320; ders. 1994, 164-166).

R12-Turboersatz in einem süddeutschen Automobilwerk

Ein Werk der Pkw-Endmontage verfügte über 12 Turbo-Kaltwassersätze mit jeweils 2,2 Tonnen R12. Neun Turbos waren für die Hallenklimatisierung, drei temperierten in der Kältezentrale die Bäder der Lackiererei. Die drei R12-Turbos der Kältezentrale wurden 1995/96 durch je eine R134a-Anlage, eine Ammoniak-Anlage sowie eine Absorptionsanlage zur Nutzung von Abwärme von über 80°C ersetzt. Die neun Klima-Turbos wurden durch sieben R134a-Anlagen, zwei NH₃-Anlagen und eine Absorptionsanlage substituiert. Die fünf Absorptions- und NH₃-Anlagen waren Neuanlagen, die sieben R134a-Turbos - außer einer Neuanlage - Umrüstungen.

¹⁷ Bereits für 1992 berichtete DuPont von einer Umrüstung eines Turbokaltwassersatzes mit 1700 kg Kältemittel von R12 auf R134a, und zwar an einer York-Anlage bei der Buna AG in Sachsen-Anhalt (Pressemeldung PR-Büro David Steven Hill, Köln, Juni 1993).

3.2 Chemische Industrie: Umrüstung nicht so hoch wie anderswo

Zwar fehlen spezifische Umrüstquoten für alle in Tabelle 28 mit ihren R12-Ausgangsbeständen aufgeführten Anwenderbranchen. Lediglich für den Hauptanwender, die Chemische Industrie, liegen seitens des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) Daten über die R12-Füllmengen in Turboanlagen vor, die eine Ausnahmege-
nehmigung zum vorläufigen Weiterbetrieb erhalten haben. Es handelt sich um 80 Tonnen. Das ist die Hälfte der insgesamt nicht ersetzten Füllmenge aller R12-Turbos. Für die Chemische Industrie mit einem R12-Ausgangsbestand lt. Tabelle 28 von 386 Tonnen bedeuten diese 80 Tonnen Restbestand eine Umrüstquote von nur 79 Prozent.

3.2.1 Sonderfall Chlorverflüssigung

In den vom VCI mitgeteilten 80 Tonnen weitergenehmigter R12-Kältemittel für Turboanlagen sind auch 12,6 Tonnen enthalten, die der Gesetzgeber beim gegenwärtigen Stand der Technik als nicht ersetzbar anerkennt. Es handelt sich um die Füllmengen von drei Turboanlagen zur Chlorverflüssigung, und zwar nicht durch indirekte Kühlung, sondern durch Direktverdampfung. Da bei diesen Anlagen der Verdampfer unmittelbar von Chlorgas umgeben ist, könnte im Falle eines Lecks Chlor in den Kältemittelkreislauf eintreten und - unter bestimmten Bedingungen - im Falle des Betriebs mit R134a zu einer explosionsartigen Reaktion führen. Das R134a-Molekül ist bekanntlich nicht vollhalogeniert und dadurch inert, sondern enthält zwei nicht-substituierte Wasserstoffatome.

4 R134a einziges Ersatzkältemittel für Altanlagen

Im Gegensatz zur Vielfalt von Ersatzkältemitteln in der Gewerbekälte kommt in alten R12-Turboanlagen nur ein einziges Kältemittel zur Anwendung: R134a. Dieser Sachverhalt geht nicht wie bei Autoklimaanlagen auf marktpolitische Festlegungen zurück, sondern wird technisch begründet. Bislang behaupten alle Turboanlagenbauer übereinstimmend, daß nur Einstoff-Kältemittel als R12-Ersatz geeignet seien, weil Gemische durch die hochoberflächige Rotation im Verdichter getrennt würden und zu starke Konzentrationsverschiebungen entstünden (Befragung Turboanlagen). R22 ist zwar wie R12 bzw. R134a auch ein Einstoff. Doch seine unter gleichen Temperaturbedingungen deutlich höheren Drücke gegenüber R12 würden den auf niedrige Druckunterschiede ausgelegten Turboverdichter überlasten.

Sämtliche R12-Turboanlagen, gleichgültig welches Fabrikat, werden im Falle der Umrüstung bestehender Anlagen mit R134a als Ersatzkältemittel befüllt. Das bedeutet, daß Drop-In zugunsten Retrofit entfällt und als Mindestmaßnahme vor der Neubefüllung der notwendige Ölwechsel durchgeführt werden muß.

4.1 Leistungsabfall bei einfachem Altanlagen-Retrofit

Bei einfachem Retrofit in Form von Öl- und Kältemittelwechsel weist der mit R134a befüllte ehemalige R12-Turbo einen Abfall in der Kälteleistung von durchschnittlich 15 Prozent auf (Befragung Turboanlagen; Brinkmann 1997, 78; FKW 1996, 64).

Daraus entsteht nicht immer technischer Handlungsbedarf. Besonders für serienmäßig gebaute Turbokältemaschinen im Klimabereich gilt, daß sie häufig in überdimensionierter Auslegung angeschafft worden waren und ihre bisherige Verdichterleistung ohnehin nicht voll beansprucht wurde. In solchen Fällen kann die Anlage mit 15% geringerer Kälteleistung durchaus weiterlaufen, ohne daß sich ein verringerter Kühleffekt bemerkbar macht. Die Stromaufnahme der Anlage steigt indessen bei gleicher Kälteleistung um 15% an.

Thermodynamisch bedingter Leistungsabfall durch R134a-Retrofit

Der Leistungsabfall von R134a gegenüber R12 in alten Turboverdichtern hängt mit den unterschiedlichen Molekülgrößen bzw. Molekulargewichten der beiden Kältemittel zusammen. FCKW 12 hat das Molekulargewicht 120,9, der HFKW 134a nur 102,0. Da der alte Turboverdichter konstruktiv dem Kältemittel mit den größeren Molekülen angepaßt ist, vermag er von dem kleinemolekularen Kältemittelgas R134a bei unveränderter Geometrie und Drehzahl des Laufrades nur eine geringere Masse pro Zeiteinheit zu fördern. Neuanlagen, die von vorneherein auf R134a angepaßt sind, haben dagegen unter gleichen Betriebsbedingungen gegenüber R12-Turbos keine verminderte Kälteleistung (Befragung Turboanlagen).

4.2 Leistungserhalt durch erweitertes Retrofit (Umbau)

Arbeitete der alte Turboverdichter bereits an der Leistungsgrenze, wie dies in industriellen Anwendungen üblich ist, dann ist die Kälteleistung mit R134a nur zu halten, wenn vom Turboverdichter ein gegenüber R12 erhöhtes Fördervolumen von Kältemittelgas erzielt wird. Dafür ist erweitertes Retrofit erforderlich.

Erweitertes Retrofit oder "Umbau" statt "Umstellung" (Burke 1998, 9) ist in mehreren Stufen möglich.

- In der einfachen Ausführung wird ein Laufrad mit größerem Durchmesser eingebaut.
- Genügt der dadurch gewonnene Leistungszuwachs nicht oder setzen die Verdichterabmessungen der Laufradvergrößerung zu enge Grenzen, dann ist ein neues Getriebe erforderlich, das höhere Drehzahlen des Laufrades erlaubt, sofern der elektrische Antriebsmotor noch Leistungsreserven hat. Oft werden beide Maßnahmen zusammen durchgeführt. Eine solche kombinierte Umrüstung kostet zwischen 70 000 und 150 000 DM, je nach Größe der Turbokältemaschine.
- Noch weitergehende Optimierung der Altanlage auf R134a ist durch Austausch der kompletten Antriebseinheit aus Motor und Verdichter möglich. Diese um zusätzliche 30 Prozent teurere Umrüstung kann mit R134a die Kälteleistung erzielen oder gar übertreffen, die vorher mit R12 erreicht wurde.

Im allgemeinen gilt der hier erweitertes Retrofit genannte Umbau von R12-Turboanlagen (vom einfachen Wechsel des Laufrads bis zum Austausch der ganzen Motor-Verdichter-Einheit) als Obergrenze, oberhalb derer als Alternative zur Umrüstung der Altanlage eine neue Anlage in Erwägung gezogen wird. Die Entscheidung darüber hängt sowohl von der noch erwarteten Restnutzungsdauer der Altanlage als auch vom Preis einer Neuanlage bzw. des Umbaus ab.

4.3 Altanlagenersatz nach einfachem und erweitertem Retrofit

Wenn wir die in Tabelle 29 nach Tonnage und Prozentsatz dargestellte R12-Umrüstung bei den Altanlagen nach den zwei Umrüstverfahren "einfaches Retrofit" und "erweitertes Retrofit" differenzieren, ergibt sich das Bild von Diagramm 11.

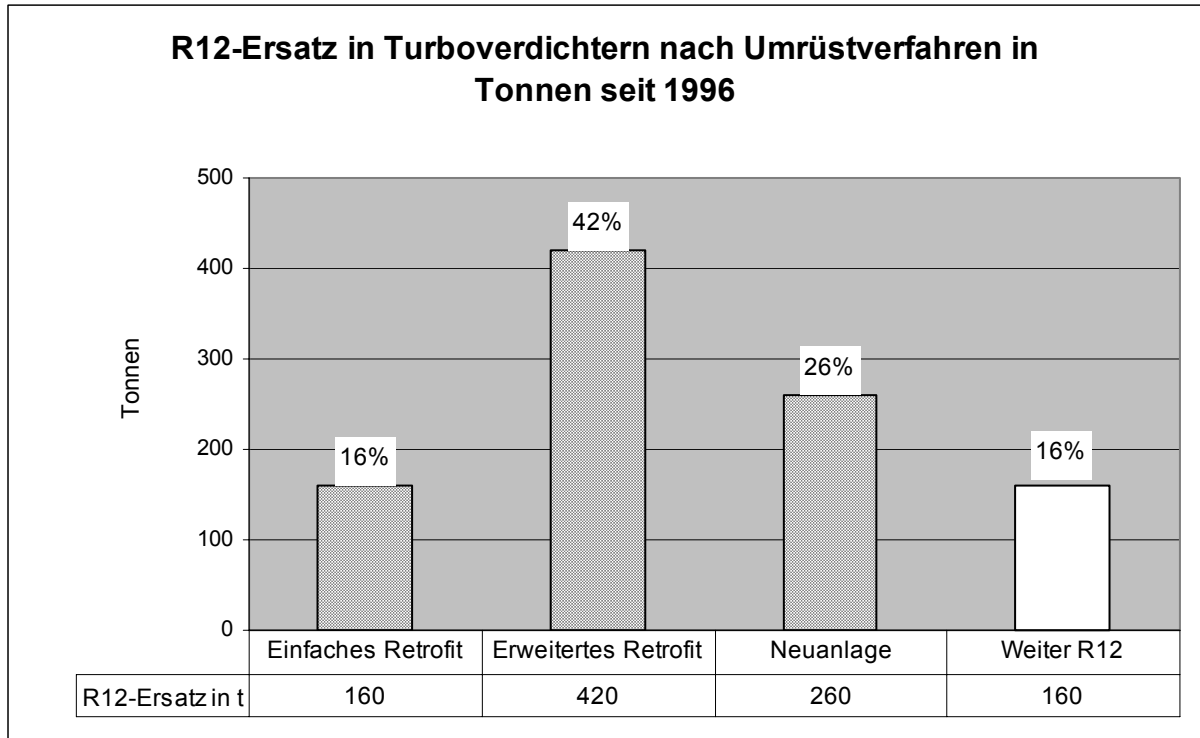


Diagramm 11: R12-Ersatz bei Turboverdichtern nach Umrüstverfahren. Bei der Umrüstung von Altanlagen ist erweitertes Retrofit bzw. Anlagenumbau die wichtigste Maßnahme, die auf 420 Tonnen oder 42% des R12-Ausgangsbestandes in Turboanlagen angewendet wurde. Einfaches Retrofit reichte nur bei 160 Tonnen oder 16% des Ausgangsbestandes. (Quelle: Befragung Turboanlagen)

Es zeigt sich, daß der Umbau (erweitertes Retrofit in verschiedenen Stufen) bei alten Turboanlagen die viel wichtigere Umrüstmaßnahme als der bloße Kältemittelwechsel ist. Bei 420 Tonnen oder der Hälfte der 840 Tonnen R12, die durch Alt- und Neuanlagen ersetzt wurden, wurden Triebwerkskomponenten vom Laufrad bis zum ganzen Verdichter erneuert, um die Altanlage dem Ersatzkältemittel R134a anzupassen. Mit einfachem Retrofit wurden nur 160 Tonnen R12 ersetzt. Es waren dies meist Standardanlagen im Klimabereich.

Nachweise

- A.V. (Andrea Voigt), Kühle Träume mit ISCEON 49. Am 26.3.1998 wurde der 100. Schlafwagen auf ISCEON 49 umgerüstet, in: DIE KÄLTE & Klimatechnik 5/1998, 292-294;
- Adolph, Ulrich, Entwicklungsstand und Tendenzen der Klimatisierung von Schienenfahrzeugen, in: Ki Luft- und Kältetechnik 3/1998, 134-140;
- Ahnefeld, Gerhard/Vollmer, Dietrich: Alternative Kältemittel für bestehende Kälteanlagen, in: Ersatz von FCKW-Kältemitteln, Material zum Umwelttechnologieforum UTECH, Seminar 9, Berlin, 17. Feb. 1998, 55-67;
- Andres, Krafftfahrt-Bundesamt, Flensburg, pers. Mitt. 1.7.1998;
- Bache, Muschler-Kälte GmbH & Co, Filderstadt, pers. Mitt. 26.6. 1998;
- Beermann, Karsten: Erfahrungen mit der R12-Substitution in bestehenden Gewerbekälte- und Klimaanlageanlagen, in: Ersatz von FCKW-Kältemitteln, Material zum Umwelttechnologieforum UTECH, Seminar 9, Berlin, 17. Feb. 1998;
- Befragung Lebensmittelmarkt-Einrichter. Schriftliche und telefonische Befragung der drei führenden kombinierten Anbieter von Kühlmöbeln und Kältetechnik:
 BKT Bonnet Kältetechnik GmbH, Mannheim, Sior, pers. Mitt. 25.6.1998;
 Elektrolux Kältesysteme GmbH, Herne, Linde, Schreiben vom 26.6.1998;
 Linde AG Werksgruppe Kälte- und Einrichtungstechnik, Köln, Kriewald, Schreiben vom 27.5.1998, pers. Mitt. 17.6.1998;
- Befragung Milchkühlung: Telefonische Befragung der drei führenden Anbieter von Milchkühlgeräten:
 Alfa-Laval Agrar GmbH, Glinde, Hohl, pers. Mitt. 24.6.1998;
 Lemmer-Fullwood GmbH, Lohmar, Esser, pers. Mitt. 17.6.1998;
 Westfalia Landtechnik GmbH, Oelde, Jahn, pers. Mitt. 24.6.1998.
- Befragung Pkw-Klima: Schriftliche und telefonische Befragung der sieben inländischen Automobilhersteller zum Inlandsabsatz klimatisierter Fahrzeuge 1986-1993, den bis Mitte 1998 verkauften Umrüstsätzen und -aufklebern sowie zum Bestandsschwund ihrer Fahrzeuge seit 1986:
 Adam Opel AG, Rüsselsheim, Manfred Daun, pers. Mitt. 16.7.1998;
 Audi AG, Ingolstadt, Axel Terveen, pers. Mitt. 9.6.1998;
 BMW AG, München, Schreiben (Rothenaicher) 29.6.1998, Schreiben (Sattelmair) 8.6. u. 9.6.1998;
 Daimler-Benz AG, Stuttgart, Schreiben (Boderke u. Hauschulz) 14.7.1998;
 Ford-Werke AG, Köln, Rösner, pers. Mitt. 17.7.1998; Schreiben (Klaus Immekeppel) 21.07.1998;
 Porsche AG, Zuffenhausen, Schreiben (Manfred Ayasse) 7.7.1998;
 Volkswagen AG, Wolfsburg, Schreiben (B.Gottweis, R.Lamp) 17.07.1998;
- Befragung Transportkälte: Telefonische Befragung der drei führenden Anbieter von Kälteaggregaten für die Transportkälte.
 Carrier Transicold Deutschland GmbH & Co, Georgsmarienhütte, Holthaus u. Lostreter, pers. Mitt. 1.7.1998;
 Euram GmbH Thermoking, Haan, Backes, pers. Mitt. 30.6.1998;
 Frigoblock Großkopf GmbH, Essen, Heilmann, pers. Mitt. 30.6.1998;
- Befragung Turboanlagen: Schriftliche und telefonische Befragung der fünf führenden Anbieter von Turboverdichteranlagen:
 Carrier LTG Service GmbH, Unterschleißheim, Biermeier, Schreiben 18.5.1998; pers. Mitt. 17.7.1998; Klaus Hartmann, pers. Mitt. 17.7.1998;

- Linde Industriekälte, Köln, Otten, pers. Mitt. 15.7.1998;
 Sulzer Escher Wyss, Lindau, Bernd Sontheim, Schreiben 15.7.1998; pers. Mitt. 29.7.1998; Serafini, pers. Mitt. 28.7.1998;
 Trane Deutschland GmbH, Duisburg, Torsten Möller, Schreiben 22.07.1998;
 Siegert, pers. Mitt. 10.7., 15.7.1998;
 York International GmbH, Mannheim, Reinke, pers. Mitt. 15.5.1998;
 14.7.1998; Koch 15.5.1998;
- Birkner, Marianne, Red. Gastgewerbe aktuell, Düsseldorf, Schreiben 24.3.1998;
 Blackert, Hans, Kältetechnik in der Bundeswehr - Anwendungen in der Wehrtechnik, in: Ki Luft- und Kältetechnik 2/1996,69-71;
- Brinkmann, Rainer: Lösungsvorschläge für die Umrüstung von R 11- und R 12-Turboverdichteranlagen, in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 2/1997, 74-79;
- Burke, Manfred, Stand der Technik zur Umrüstung von R502- und R11-Anlagen, in: Ersatz von FCKW-Kältemitteln, Material zum Umwelttechnologieforum UTECH, Seminar 9, Berlin, 17. Feb. 1998;
- Daimler-Benz AG, Stuttgart: R12-Kältemittel in Altanlagen, Schreiben 14.07.98;
 Deutscher Bundestag, 13. Wahlperiode, Drucksache 13/8273: Vierter Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht, 22.07.97;
- DFV (Deutscher Fleischer-Verband), Frankfurt, Sammlung von Presseinfos u. dgl., Schreiben 16.3.1998;
- Ebert/Gehart, GHC Gerling, Holz & Co. Handels GmbH, Hamburg bzw. Hanau, pers. Mitt. 27.7.1998;
- Eggers, Fuge GmbH, Sarstedt, pers. Mitt. 17.3. 1998;
- Elsner, Cornelia: Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes zu Ersatzkältemitteln, in: Ersatz von FCKW-Kältemitteln, Materialband zum Umwelttechnologieforum UTECH, Seminar 9, Berlin, 17. Feb. 1998, 29-39;
- Ernst, Carrier Transicold, Rotterdam, pers. Mitt. 22.6.1998;
- Esch, WAECO-Wähning & Co. GmbH, Emsdetten, pers. Mitt. 29.5. u. 21.7.1998;
- EvoBus GmbH Setra Omnibusse, Ulm, R.Wohnhaas/W.Fremdling, Schreiben 22.7.1998;
- Fischer, Marcus: Klimawirksame Emissionen durch Pkw-Klimaanlagen, Diplomarbeit Nr. 16/97, Technische Universität Berlin 1997;
- FKW (Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen): Statusbericht Ersatz von R12 in bestehenden Kälte-, Klima- und Wärmepumpenanlagen in der Bundesrepublik Deutschland durch Kältemittel mit geringerem Ozonabbaupotential, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, UBA-Texte 6/1996;
- G.S./P.W.: Retrofit: Flo-Ice und Propan (R290) ersetzen FCKW R 12 und R 502 in Altanlagen. Umweltfreundliche Sanierung vorhandener Gewerbekälteanlagen im DRK-Elisabeth-Krankenhaus Birkenfeld (Nahe), in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 2/1998, 58-69;
- Giebe, Manfred, Bundesfachschule Kälte-Klima Technik, Maintal, Fachgespräch 12.5.1998;
- Grunow, Hyfra Industriekühlanlagen GmbH, Krunkel, pers. Mitt. 1.7.1998;
- Hartmann, Klaus (Carrier GmbH), Bestimmungsgrößen des Wirkungsgrades von Turbokältemaschinen, in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 8/1994, 548-554;
- Hartmann, Klaus: Turbokältemaschinen für industrielle Prozesse (I), in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 1/1998, 17-23;
- Holdack-Janssen, Hinrich: Entwicklung der Pkw-Klimatisierung, in: Ki Luft- und Klimatechnik 1/1998, 8-14;

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Second Assessment Report: Climate Change 1995, Cambridge University Presse, Cambridge 1995;
- Jakobs, Rainer, Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (DKV), Heusenstamm, pers. Mitt. 17.6.1998;
- Jaraus, Bernd, MAN Nutzfahrzeuge AG, München, Schreiben 14.7.1998;
- KBA (Krafftahrt-Bundesamt), Flensburg, Schreiben 18.6.1998;
- Kohout, KBS Kältetechnik GmbH (NordCap), Mainz-Hechtsheim, pers. Mitt. 17.3. 1998;
- Leineweber, Dieter, Deutsche Bahn AG, Weserglaci Nr. 2, Minden, pers. Mitt. 16.7.1998;
- Lutz, Deutscher Fleischer-Verband, Frankfurt, pers. Mitt. 18.3.1998;
- M+M EUROdATA, Die Top 50 in Deutschland 1994. Vertriebslinien des Lebensmittelhandels, Poster 1995;
- M+M EUROdATA, Top-Firmen 1998. Strukturen, Umsätze und Vertriebslinien des Lebensmittelhandels Food/Nonfood in Deutschland, Frankfurt 1998;
- Mayer, Helmut: Technischer Stand der Busklimatisierung, in: Ki Luft- und Kältetechnik 4/1998, 190-193;
- Möller, Konvekta AG, Schwalmstadt, pers. Mitt. 22.6.1998;
- Nachtmann, Sütrak Transportkälte GmbH, Renningen, pers. Mitt. 17.7.1998;
- Nonnenmann, Manfred: Klimarelevanz von Fahrzeugklimaanlagen, in: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 97. Jg., Heft 4/95 (Sonderdruck der Fa. Behr);
- Öko-Recherche: Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin Dezember 1996;
- Öko-Recherche: Keine Entwarnung für Ozonschicht und Erdklima. Verbrauchsprognose 1995 für FCKW, H-FCKW und FKW, Greenpeace-Studie, Hamburg 1995;
- P.W. (Peter Weissenborn): Carrier Industrietag 1998, in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 5/1998, 314-320;
- P.W. (Peter Weissenborn): Carrier-Informationstagung 1994. Entscheidungshilfen für die Betreiberseite, in: DIE KÄLTE und Klimatechnik 5/1994, 160-167;
- Paul, Hartek GmbH Getränkekühl- und Zapfgeräte, Radevormwald, pers. Mitt. 16.3.1998;
- Pütz, Rudolf, Geschäftsführer des VDKF (Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V.), Siegburg, Fachgespräche Mai-Juli 1998;
- Reum, Deutsche Bahn AG, Hauptverwaltung Frankfurt/M., pers. Mitt. 23.7.1998;
- Rhodia GmbH, Frankfurt/Main, Schreiben 21.07.98;
- Rodecker, KKW (Kulmbacher Klimageräte-Werk), Kulmbach, pers. Mitt. 1998;
- Schafscheer, Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks, Bad Honnef, pers. Mitt. 17.3.1998;
- Schaller, ERS Energie- und Kältetechnik GmbH, Straßenhaus, pers. Mitt. 1.7.1998;
- Schuster, Webasto Fahrzeugtechnik AG, Stockdorf, pers. Mitt. 13.7. u. 20.7.1998;
- Schwarz/Leisewitz: Der verzögerte Ausstieg - Der FCKW-Verbrauch der bundesdeutschen Industrie 1990/91, Greenpeace-Studie, Hamburg 1991;
- Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1997, hrsg. v. Statistischen Bundesamt Wiesbaden, Stuttgart 1997;
- Steinborn, Dieter: Deutsche Kältebranche - vielfältige Einsatzgebiete bringen einen Umsatz von 17 Mrd. DM, in: Ki Luft- und Kältetechnik 2/1998, 59-62;
- Ulrich, Robert Schiessl GmbH, Oberhaching, pers. Mitt. 30.6.1998;

- Umweltbundesamt, Bekanntmachung von Ersatzkältemitteln für R 12-haltige Erzeugnisse nach der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung, in: Bundesanzeiger, Nummer 245, Seite 12981, 30.12.1995;
- VCI (Verband der Chemischen Industrie e.V.), Frankfurt/M., Franz Nader, Schreiben vom 27.7.1998;
- VDA (Verband der Automobilindustrie e.V.), Hrsg., Grundlagen zur Sachkunde Fahrzeugklimaanlagen, Frankfurt am Main 1996;
- VDA (Verband der Automobilindustrie e.V.), Frankfurt/Main, Schreiben 9.7.98;
- VDA Pressedienst: Klimaanlagen mit dem Kältemittel R 12 können unbegrenzt weiter betrieben werden, Frankfurt/Main, 22.08.1997;
- VDA Pressedienst: Seit Modelljahrgang 1994 FCKW-freie Klimaanlagen. Deutsche Automobilindustrie erfüllt Zusage zu vorzeitigem Verzicht auf ozongefährdende Kältemittel, Frankfurt/Main, 06.01.1994;
- VDIK (Verband der Importeure von Kraftfahrzeugen e.V.), Bad Homburg, Die wichtigsten Tendenzen im Zeitverlauf, Schreiben 3.6.1996; außerdem pers. Mitt. (Degen) 22.6.1998;
- Voigt, Andrea, Rhodia GmbH (Marketing Manager ISCEON Refrigerants), Frankfurt/Main, Fachgespräch 3.7.1998;
- Weisshaar, Peter, Ing., GmbH, Kälte-und Klimatechnik, Bad Salzuflen, pers. Mitt. 30.6.1998;
- Westfalia Landtechnik GmbH, Oelde, Schreiben (R.Wiemann) 8.7.1998;
- Wohnhaas, EvoBus GmbH, Ulm, pers. Mitt. 9.7.1998;
- Wöhrl, Stefan (Verband der Automobilindustrie e.V., Leiter der Abteilung Umwelt, Fachgespräch Frankfurt/Main 8.5.1998;

Tabellen

Tab. A:	R12-Ausgangsbestand 1996 und Ersatz bis Mitte 1998 in Kälteanlagen	III
Tab. B:	R12-Ausgangsbestände in Tonnen und Ersatzquoten in Prozent nach Branchen der Gewerbekälte	IV
Tab. C:	Ausgangsbestand und Ersatz von R12 im Bereich Fahrzeugklima	IV
Tab. D:	Verwendete Ersatzkältemittel für Altanlagen in der gesamten umstellungsbedürftigen Kälte- und Klimatechnik in Tonnen	VI
Tab. 1:	Zahlen zur Umfrage Juni 1998	4
Tab. 2:	R12-Ersatz durch das Kältehandwerk – in Tonnen und Prozent. Bezug: 101 befragte Fachbetriebe, Zeitraum Anfang 1996-Mitte 1998	6
Tab. 3:	R12-Ersatz in alten und neuen Bundesländern – in Tonnen und Prozent	8
Tab. 4:	Eigenschaften der Kältemittel für den R12-Ersatz in Altanlagen der handwerklich betreuten Gewerbekälte	9
Tab. 5:	Anteile am R12-Ausgangsbestand und Umstellungsquoten der Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte	17
Tab. 6:	Unterschiede der Umrüstquoten in der Gewerbekälte	18
Tab. 7:	Branchenanteile am R12-Ausgangsbestand der handwerklich betreuten Gewerbe- kälte in Prozent und Tonnen. Hochrechnung von 47 auf 1880 Kältefachbetriebe	21
Tab. 8:	R12-Ausgangsbestände und Umrüstquoten nach Branchen der handwerklich betreuten Gewerbekälte in Tonnen und Prozent.	22
Tab. 9:	Lebensmittelmärkte. R12-Ausgangsbestand und Struktur der Umrüstung in Tonnen und Prozent	23
Tab. 10:	Kältemittel für Altanlagen industriell betreuter Lebensmittelmärkte	23
Tab. 11:	Transportkälte. R12-Ausgangsbestand und Struktur der Umrüstung in Tonnen und Prozent	25
Tab. 12:	Kältemittel für Altanlagen der Transportkälte	25
Tab. 13:	Kühlgeräte und Kältemittel in der landwirtschaftlichen Milchkühlung	26
Tab. 14:	R12 und Ersatz vor und nach 30 Monaten Umstellung in der Milchkühlung	26
Tab. 15:	R12-Umstellung in der gesamten übrigen Gewerbekälte in Tonnen und Prozent	27
Tab. 16:	Übrige Gewerbekälte. R12-Ausgangsbestand in Tonnen und Umrüstquote	28
Tab. 17:	Kältemittel für Altanlagen in der übrigen Gewerbekälte	28
Tab. 18:	R12-Ersatz in der gesamten Gewerbekälte. Ausgangsbestand und Struktur der Kältemittel in Tonnen	30
Tab. 19:	R12-Umrüstung in der gesamten Gewerbekälte. Ausgangsbestand und Struktur der Kältemittel in Prozent	30
Tab. 20:	Kältemittel für Altanlagen in der handwerklich betreuten und übrigen Gewerbekälte in Tonnen und Prozent	32
Tab. 21:	R12-Ausgangsbestände und Umrüstquoten nach Branchen der gesamten Gewerbekälte in Tonnen bzw. Prozent. Bezug: Kältehandwerk und andere Anlagenbetreuer	32
Tab. 22:	Ausgangsbestand und Ersatz von R12 im Bereich Fahrzeugklima	35
Tab. 23:	Inlandsabsatz von Pkw und R12-Pkw-Klimaanlagen (R12-KA) 1986 bis 1992 bzw. bis 1993 in Tsd. Stück	38
Tab. 24:	Bestandsschwund von Pkw und Pkw-Klimaanlagen in Abhängigkeit vom Fahrzeugalter. Abschätzung aufgrund der KBA-Statistik (Stichtag 1. Juli 1997)	40
Tab. 25:	Bereinigter Bestand von Pkw-Altklimaanlagen. Stand: Mitte 1998 in Tsd. Stück	40
Tab. 26:	Inländische Umrüstungen von R12-Pkw-Klimaanlagen auf Ersatzkältemittel seit 1996. Umrüster, umgestellte Anlagen, ersetztes R12 in Tonnen	42
Tab. 27:	Der R12-Ausgangsbestand der Bahn nach Fahrzeugart, Anlagenzahl und Kältemittelmenge im Jahre 1990	46
Tab. 28:	R12-Ausgangsbestand in Turboverdichteranlagen. Anlagenzahl und Kältemittel Anfang 1996	49
Tab. 29:	R12-Ersatz bei Turboverdichteranlagen 1996-1998 in Tonnen und Prozent	50

Diagramme

Diagramm 1:	Handwerkliche Umrüstung von R12-Anlagen der Gewerbekälte 1/96-6/98	6
Diagramm 2:	Ersatzkältemittel für bestehende R12-Altanlagen 1996-1998	11
Diagramm 3:	R12-Ausgangsbestand 1996 nach Gewerbekältebranchen in Prozent	13
Diagramm 4:	R12-Ersatzquoten der Branchen der Gewerbekälte bis Mai/Juni 98	16
Diagramm 5:	Handwerklich betriebener R12-Ersatz: Ausgangsbestand und Struktur der Kältemittel in Tonnen und Prozent	20
Diagramm 6:	Vom Handwerk eingesetzte Ersatzkältemittel für Altanlagen nach Typen in Tonnen und Prozent	21
Diagramm 7:	Umrüstung von R12-Anlagen in der gesamten Gewerbekälte 1/96 bis 6/98 in Tonnen und Prozent	29
Diagramm 8:	Ersatzkältemittel für R12-Altanlagen in der gesamten Gewerbekälte 1996-98 nach Typen	31
Diagramm 9:	R12-Ersatz nach Branchen der gesamten Gewerbekälte in Prozent der R12-Ausgangsbestände in Tonnen	33
Diagramm 10:	Inlandsabsatz von R12-Pkw-Klimaanlagen 1986-1993 in Tsd. Stück	39
Diagramm 11:	R12-Ersatz bei Turboverdichtern nach Umrüstverfahren	53