

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIËNE  
BILTHOVEN

Rapport nr. 481507005

**HFK's en het (H)CFK-reductiebeleid  
in relatie tot het beleid inzake  
Nederlandse emissies van broeikasgassen.**

**Scenario's voor mondiaal en Nederlands gebruik van  
gehydrogeneerde fluorkoolwaterstoffen en hun relatie  
met het broeikas-effect.**

J.G.J. Olivier, C. Kroeze, A.J.C.M. Matthijsen  
en H.J. van der Woerd

december 1994

Deze rapportage is opgesteld op verzoek van de Directie Lucht en Energie, afdeling Klimaat-  
verandering, van het Directoraat-Generaal voor Milieubeheer, projectnummer 481507.

## VERZENDLIJST

- 1 Ir. G.M. van der Slikke, Directeur Lucht en Energie van het DG voor Milieubeheer
- 2 Dhr. H.A.P.M. Pont, Directeur-Generaal Milieubeheer
- 3 Dr.ir. B.C.J. Zoeteman, plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
- 4 Mr. G.J.R. Wolters, plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
- 5 Drs. P.E. de Jongh, plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
  
- 6 Dr.ir. B. Metz, Themacoördinator Klimaatverandering, DGM/LE
- 7 Dhr. W.J. Lenstra, DGM/LE
- 8 Drs. J.B. Weenink, DGM/LE
- 9 Dr. W.J.M. Sprong, DGM/IBPC
- 10 Drs. J.K. Kwisthout, DGM/IBPC
  
- 11 Dr. J.J.M. Berdowski, TNO-MW, Delft
- 12 Dhr. A.J.M. van den Biggelaar, St. Natuur & Milieu, Utrecht
- 13 Dr. H.C. Moll, IVEM, Groningen
- 14 Prof.dr. L. Reijnders, UvA, Amsterdam
- 15 Drs. H.J.M. Snoep, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag
- 16 Prof.dr. P. Vellinga, VU, Amsterdam
- 17 Mr. C.H.A. van Vulpen, CFK-Commissie, Tilburg
- 18 Drs. R. Wams, Resource Analysis, Delft
- 19 Ir. J.R. Ybema, ECN, Petten
- 20 Drs. S. Zwerver, Secretariaat NOP-MLK, Bilthoven
  
- 21 Depot Nederlandse publicaties en Nederlandse bibliografie
  
- 22 Directie RIVM
- 23 Dr. R.M. van Aalst
- 24 Ir. R.A.W. Albers
- 25 Dr. J.A. Alcamo
- 26 Drs. R.A. van Amstel
- 27 Ir. J.P. Beck
- 28 Ir. A.H.M. Bresser
- 29 Drs. G.J. Eggink
- 30 Ir. N.D. van Egmond
- 31 Dr. M.J.G. den Elzen
- 32 Drs. L.H.M. Kohsiek
- 33 Ir. F. Langeweg
- 34 Dr. R.J.M. Maas
- 35 Dr. J.E.T. Moen
- 36 Dr. D. Onderdelinden
- 37 Drs. J.P.M. Ros
- 38 Dr.ir. R.J. Swart
- 39 Dr.ir. G.J.M. Velders
- 40 Ir. K. Visscher
- 41 Ir. K. Wieringa
  
- 42-53 Auteurs
  
- 54 Bureau Voorlichting en Public Relations
- 55-57 Bibliotheek RIVM (2x BIB, LAE)
- 58 Bureau Projecten en Rapportenregistratie
- 59-100 Reserve-exemplaren

## Inhoud

Verzendlijst .....	ii
Inhoud .....	iii
Tabellen .....	iv
Figuren .....	v
Summary (English) .....	vi
Samenvatting .....	viii
Voorwoord .....	1
Inleiding .....	3
1. HFK's: toepassingen, stoffen, alternatieven .....	5
2. GWP-waarden en onzekerheden .....	8
3. Trends m.b.t. HFK-gebruik voor Nederland en mondiaal .....	11
4. Scenario's voor CFK's en alternatieven .....	12
4.1 Mondiaal gebruik van HFK's .....	14
4.2 HFK-gebruik in Nederland .....	17
4.3 Bijdrage aan totale Nederlandse broeikasgasemissies .....	22
5. Emissiebronnen en reductie-mogelijkheden .....	25
6. Samenvatting en conclusies m.b.t. mogelijk klimaatbeleid inzake HCFK's en HFK's .....	27
Referenties .....	31
Appendix A: Gebruik van HKW's en potentiële toepassingen van H(C)FK's .....	33
Appendix B: Mondiale emissiescenario's IS92a-f van het IPCC .....	37

## Tabellen

- Tabel i.1:** Overzicht van stofgroepen van halogeenkoolwaterstoffen.
- Tabel i.2:** Overzicht van reductieschema's voor halogeenkoolwaterstoffen volgens het Montreal Protocol en de amendementen daarop in Londen en Kopenhagen. De reductieschema's voor ontwikkelingslanden hebben een vertraging van 10 jaar.
- Tabel 1.1:** Geschatte mondiale substitutie bij ongelimiteerd gebruik van HCFK/HFK's (conform het London protocol) van CFK's en halonen door alternatieven met ODP/GWP= 0 (= 0% niet-HCFK/HFK), en door HCFK en door specifieke HFK's in % van specifiek CFK-gebruik.
- Tabel 1.2:** Alternatieven voor halogeenkoolwaterstoffen met lage ODP- en GWP-waarden.
- Tabel 2.1:** Directe broeikaswerking van CFK's, HCFK's, HFK's, methylchloroform en CCl<sub>4</sub> voor een horizon van 100 jaar (GWP-100 in CO<sub>2</sub> equivalenten) en de atmosferische verblijftijd en broeikaswerking voor een horizon van 500 jaar (GWP-500 t.o.v. CFK-11 in evenwicht).
- Tabel 2.2:** Verband tussen de directe GWP-waarde en de horizon van beschouwde broeikaswerking.
- Tabel 4.1:** Overzicht van halogeenkoolwaterstoffen-scenario's gebruikt in dit rapport.
- Tabel 4.2:** Scenario L: Mondiaal gebruik (kton produkt/jaar) van HFK's in 2000 en 2010, bij ongelimiteerd gebruik van HCFK/HFK's om CFK's en halonen te vervangen.
- Tabel 4.3:** Mondiaal gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in scenario's L, K-Midden en A, in Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten/jaar (berekend uit Tabel A.1 met GWP's over 100 jaar).
- Tabel 4.4:** Scenario L: Nederlands gebruik van HFK's in 2000-2010 in ton produkt/jaar bij een volledige stop van CFK- en halon-gebruik, uitgaande van de situatie in 1986 en een constante vraag. Scenario's L-1 en L-2 geven het verwachte HFK-gebruik aan als gebruik gemaakt wordt van substituten die op korte (binnen tien jaar) en op langere termijn (na de eeuwwisseling) beschikbaar zijn (zie Tabel A.4).
- Tabel 4.5:** Nederlands gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in ton produkt/jaar in 1986, 1990, en het geschatte verbruik in 2000-2010 in bij een volledige stop van CFK- en halon-gebruik in scenario's L, K, en A, uitgaande van een constante vraag (voor auto-airconditioning wordt in scenario K wel een groei verondersteld).
- Tabel 4.6:** Nederlands gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten/jaar (berekend uit Tabel 4.4. en 4.5. m.b.v. GWP's over 100 jaar).
- Tabel A.1:** Mondiaal gebruik per toepassing (kton produkt/jaar) van halogeenkoolwaterstoffen in 1990 (exclusief MCF en CCl<sub>4</sub>).
- Tabel A.2:** Mondiaal gebruik (kton produkt/jaar) van halogeenkoolwaterstoffen in scenario's L, K-Midden, en A.
- Tabel A.3:** Geschat Nederlands gebruik van CFK's en halonen per toepassing (in ton produkt/jaar) in 1986 en 1990.
- Tabel A.4:** Geschatte wereldwijde substitutie van CFK's en halonen op korte termijn (binnen 10 jaar) en op langere termijn (in dit rapport ook gebruikt voor Nederland). De getallen geven de percentages aan, die in deze studie gebruikt zijn; de ranges geven de marges aan op basis van schattingen door deskundigen en vermeld in de literatuur.
- Tabel B.1:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92a.
- Tabel B.2:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92b.
- Tabel B.3:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92c.
- Tabel B.4:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92d.
- Tabel B.5:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92e.
- Tabel B.6:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92f.
- Tabel B.7:** Beschrijving van zes IPCC-scenario's IS92a-f voor de emissie van halocarbonen. Bron: Pepper *et al.*, 1992.

## Figuren

- Fig. 4.1:** Mondiaal gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in 1990, 2000, 2010 en in 2035 voor de scenario's L, K-Midden en A in Gton/jaar (exclusief methylchloroform en  $\text{CCl}_4$ ). Voor CFK's en halonen wordt, als indicatie voor de onzekerheidsrange m.b.t. de totale GWP-waarde, ook de hoeveelheid getoond berekend met de directe GWP als maximumwaarde.
- Fig. 4.2:** Nederlands gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in Mton  $\text{CO}_2$  in 1990, 2000 en in 2000-2010 in de scenario's L-1, L-2, K-Laag, K-Midden, K-Hoog en A (constante vraag, met uitzondering van auto-airconditioning in K-scenario's) (exclusief methylchloroform en  $\text{CCl}_4$ ). Voor CFK's en halonen wordt, als indicatie voor de onzekerheidsrange m.b.t. de totale GWP-waarde, ook de hoeveelheid getoond berekend met de directe GWP als maximumwaarde.
- Fig. 4.3:** Emissie van broeikasgassen in Nederland volgens de 3e Nationale Milieuverkenning 1993-2015 voor de directe broeikasgassen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  (scenario's GS en ER) en HKW's (scenario's L-1 resp. L-2) in Mton  $\text{CO}_2$  (GWP-100) (CFK's incl. halonen, methylchloroform en  $\text{CCl}_4$ ).
- Fig. 4.4:** Emissie van broeikasgassen in Nederland voor verschillende HCFK/HFK-scenario's (scenario's L-1 en L-2 voor 2000 en K-Midden en K-Hoog voor 2010) in Mton  $\text{CO}_2$  voor directe broeikasgassen en GWP-100) en met emissies van  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  volgens de 3e Nationale Milieuverkenning 1993-2015 (scenario's GS en ER) (CFK's incl. halonen, methylchloroform en  $\text{CCl}_4$ ).

## Summary

Hydrofluorocarbons (HFCs) and hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) are important substitutes for chlorofluorocarbons (CFCs) and halons. HCFCs have a lower Ozone Depleting Potential (ODP) than CFCs and halons, and are therefore considered temporary substitutes, while HFCs have zero ODP. In addition to ODP many halocarbons also have a Global Warming Potential (GWP). The latest revision in Copenhagen of the Montreal Protocol, which prescribes a phase-out of both CFCs and HCFCs, will cause a partial substitution of CFCs by HCFCs (temporarily) and by HFCs. Globally, the consumption of these compounds will increase substantially, as well as their emissions expressed as CO<sub>2</sub> equivalents. The same development will probably occur in the Netherlands. However, the uncertainty which part of present CFC use will be replaced by HFCs is quite large. Restrictions on HCFC use may lead to an additional increase of greenhouse gas emissions, if HCFCs are replaced by HFCs.

In this report we describe the potential use of HFCs worldwide and in the Netherlands in 2000/2010 and its contribution to greenhouse gas emissions. Particular attention is given to alternative agents, so-called 0-ODP and low or 0-GWP compounds. In addition the GWP values of HFCs and their uncertainty are discussed. We report on three different scenarios, globally as well as for the Netherlands:

- (1) the 'London' scenarios, in which HCFCs and HFCs are used unrestrictedly to replace CFCs and halons. As a result the global warming effect by halocarbons may increase the future. HFCs are found to be the main contributors to future radiative forcing by halocarbons.
- (2) the 'Copenhagen' scenarios, which consider an additional phase-out of HCFCs, after which the use of HFCs increases. The higher GWPs of HFCs compared to other halocarbons result in an increase of global warming by halocarbons.
- (3) the 'Additional Policy' scenario, which assumes the use of compounds, that have zero ODP and a relatively small GWP, which are available for most applications. Such additional measures will reduce CO<sub>2</sub>-eq. halocarbon consumption substantially.

Furthermore, sources of emissions and reduction options by using alternative agents and methods are described. Finally conclusions are presented with respect to options for additional climate policy regarding HCFCs and HFCs.

The CO<sub>2</sub> equivalent emissions of halocarbons may increase *globally* by 2035 to about 3 to 5 times the level of 1990, based on the assumptions that the average GWP of the HFCs will be higher than of HCFCs, that a partial substitution to non-halocarbons will take place, and assuming no new areas of HFC applications. If all foreseen use of HCFCs is replaced by HFCs the CO<sub>2</sub> equivalent emissions of halocarbons may increase in 2035 by an additional 50%.

For *the Netherlands*, assuming a constant demand for halocarbon applications, except for mobile air-conditioning in some scenarios, it is concluded that as a result of the phase-out of halocarbons the greenhouse gas emissions from these sources are likely to rise strongly to 2 to 4 times the 1990 level by 2035. Limitation of the use of HCFCs may lead to a doubling of GHG emissions from halocarbons by 2035. The share of halocarbons in total Dutch emissions of greenhouse gases will increase from 3% in 1990 to 7 to 11% in 2010 (assuming a zero GWP for CFCs and halons). The assumed increased usage of HFCs may lead to an increase of total direct

greenhouse gases in the Netherlands of about 9% at maximum. Substitution of halocarbon use by zero GWP alternatives, in conjunction with assumptions on other greenhouse gases, leads to a stabilization of GHG emissions in 2000 and 2010 in most scenarios. Thus, additional policy on halocarbon use can play an important role in a comprehensive climate policy. Reduction of national greenhouse gas emissions can be achieved more easily with a specific HCFC/HFC policy, than in the case without it.

From our preliminary literature search we conclude that additional climate policy is quite possible, since for all or almost all applications of present halocarbons use zero GWP alternatives are available. In the absence of this, costs and Ozone Depletion Potential (limitations as agreed upon in Kopenhagen) will be the major factors determining the choices of substitute compounds and processes. As the GWP values of HCFCs and of HFCs are dependent on the specific compound, climate policy on halocarbons will be most effective when differentiated to individual compounds (including FCs). Presently the limitations for additional policy are the limited knowledge of the options with regard to technical-economical feasibility, safety aspects, of costs of policy measures and regarding direct and indirect GWPs of HFC compounds and alternative agents. Also, a better insight in the potential for increasing recycling rates is important.

An English version of this report has been published as paper (Olivier *et al.*, 1994).

## Samenvatting

Gehydrogeneerde (chloor)fluorkoolwaterstoffen HCFK's en HFK's zijn vervangers voor het gebruik van chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en halonen. Omdat HCFK's een kleinere Ozone Depleting Potential (ODP) hebben dan CFK's maar niet gelijk aan nul, terwijl HFK's een ODP van nul hebben, wordt het gebruik van HCFK's op termijn uitgefaseerd. HFK's dragen echter bij aan de versterking van het broeikas effect: zij hebben een Global Warming Potential (GWP) ongelijk aan nul. De laatste amendering in Kopenhagen van het Montreal protocol met een uitfaseringsprogramma voor CFK's en HCFK's, zal leiden tot gedeeltelijke substitutie van CFK's door HCFK's (tijdelijk) en door HFK's. Wereldwijd zal het gebruik van deze stofgroepen daarom fors stijgen evenals de emissies van deze stoffen uitgedrukt in totale CO<sub>2</sub>-equivalent-terminen. Hetzelfde geldt waarschijnlijk voor Nederland. De onzekerheid welk deel van het huidige gebruik van halogeenkoolwaterstoffen door HFK's vervangen zal worden is echter groot. Beperkingen voor HCFK's leiden wellicht tot een extra toename van de broeikasgasemissies, wanneer HCFK's vervangen worden door HFK's.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van het toepassingspotentieel van HFK's tot 2000 à 2010 wereldwijd en in Nederland en van de bijdrage aan de emissies van broeikasgassen. Met name wordt aandacht besteed aan de alternatieven, zgn. 0-ODP en laag-GWP of 0-GWP stoffen. Daarnaast worden van HFK's de GWP-waarden en hun onzekerheden besproken. Drie scenario's worden beschreven in CO<sub>2</sub>-equivalente termen ten opzichte van de totale antropogene CO<sub>2</sub>-equivalente emissie voor 1986, 1990 en voor 2000-2010, voor Nederland en mondiaal:

- (1) de 'Londen'-scenario's, waarin HCFK's en HFK's zonder restricties als vervangers voor CFK's en halonen gebruikt worden. Dit kan tot gevolg hebben dat de bijdrage van halogeenkoolwaterstoffen aan de emissie van broeikasgassen toeneemt. HFK's blijken hieraan de grootste bijdrage te leveren.
- (2) de 'Kopenhagen'-scenario's, waarin behalve CFK's en halonen ook het gebruik van HCFK's op termijn uitgefaseerd wordt, met als gevolg een groter verbruik van HFK's. De veronderstelde hogere gemiddelde GWP van HFK's vergeleken met andere HKW's resulteert in een stijging van de broeikasgasemissies door halogeenkoolwaterstoffen.
- (3) de 'Additioneel beleid'-scenario's, waarin verondersteld wordt dat alleen stoffen met een ODP van 0 en GWP van 0 of zeer laag gebruikt worden. De bijdrage aan broeikasgasemissies vermindert hierdoor aanmerkelijk.

Verder worden de bronnen van emissies beschreven en reductie-mogelijkheden in termen van beschikbare alternatieve stoffen en methoden en reductie bij gebruik ervan. Tenslotte worden conclusies getrokken met betrekking tot mogelijk klimaatbeleid inzake HCFK's en HFK's.

Uitgaande van de veronderstelling dat de gemiddelde GWP van gebruikte HFK's hoger zal zijn dan die van HCFK's, en rekening houdend met vervanging door andere stoffen dan HCFK's en HFK's, zal *mondiaal* de emissie van halogeenkoolwaterstoffen in termen van CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2035 kunnen groeien tot ca. 3 tot 5 maal het niveau van 1990 (gerekend met een netto GWP van CFK's van 0), eventuele nieuwe toepassingen van HFK's buiten beschouwing gelaten. De vervanging van alle HCFK's door HFK's, zal het gebruik van halogeenkoolwaterstoffen uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten nog eens met bijna 50% doen toenemen ten opzichte van een situatie waarin



beide stofgroepen gebruikt worden als alternatief voor CFK's.

Voor *Nederland* is in de scenario's uitgegaan van een constante vraag naar HKW-toepassingen, met uitzondering van de sector auto-airconditioning in sommige scenario's. Uit de scenario's kan geconcludeerd worden, dat als gevolg van de afbouw van het CFK-gebruik de emissie van broeikasgassen in deze categorie toepassingen waarschijnlijk fors zal stijgen tot 2035 tot 2 à 4 maal het 1990-niveau. Met restricties voor HCFK-gebruik zal de emissie van broeikasgassen door deze broncategorie waarschijnlijk verdubbelen ten opzichte van een situatie waarin HCFK's ook gebruikt wordt als alternatief voor CFK's. Het *aandeel* van halogeenkoolwaterstoffen in de totale emissie van directe broeikasgassen neemt daarbij toe van ca. 3% in 1990 tot 7 à 11% in 2010 (uitgaande van een GWP van 0 voor CFK's en halonen). Als gevolg van de emissie van halogeenkoolwaterstoffen kan de *totale* Nederlandse directe broeikasgasemissie stijgen met maximaal ca. 9% in 2010 ten opzichte van 1990. Reductie van CFK-gebruik door GWP-0 alternatieven leidt - samen met veronderstellingen met betrekking tot andere directe broeikasgassen - in de meeste scenario's tot stabilisatie van de totale emissies van directe broeikasgassen in 2000 en 2010. Additioneel beleid met betrekking tot de CFK-sector kan dus een belangrijke rol spelen in het Nederlandse klimaatbeleid. Reductie van nationale broeikasgasemissies zal gemakkelijker gerealiseerd kunnen worden met specifiek HCFK/HFK-beleid.

Op basis van beschikbare literatuur wordt geconcludeerd dat, gelet op de beschikbaarheid van voldoende alternatieven met een GWP van 0 voor verreweg de meeste toepassingen van halogeenkoolwaterstoffen, additioneel beleid voor deze broncategorie mogelijk is. Zonder additioneel beleid inzake halogeenkoolwaterstoffen zullen voor de gebruikers de kosten en de ODP-waarde (beperkingen overeengekomen in Kopenhagen) bepalend zijn voor de keuze van alternatieven voor het gebruik van CFK's en halonen. Omdat de (directe) GWP's zowel voor HCFK's als voor HFK's afhankelijk zijn van de specifieke stof, is vanuit klimaatoptiek een naar stof gedifferentieerd additioneel beleid het meest effectief (inclusief FK's). De belangrijkste beperkingen voor additioneel beleid zijn gelegen in beperkte kennis van technisch-economische en veilige beschikbaarheid voor *alle* toepassingen, gebrek aan informatie over kosten van aanvullend beleid, en de onzekerheid met betrekking tot directe en totale GWP-waarde voor HFK's en alternatieve stoffen. Daarnaast is inzicht in het potentieel van hergebruik belangrijk.

Van dit rapport is een Engelstalige bewerking als paper verschenen (Olivier *et al.*, 1994).

## Voorwoord

De afdeling Klimaatverandering van het Directoraat-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM heeft, ten behoeve van de voorbereiding van het Nationaal MilieubeleidsPlan (NMP) 2 en naar aanleiding van actiepoint 12 in de Nota Klimaatverandering, het RIVM verzocht een overzicht te maken van de rol die HFK's mogelijk zullen spelen als alternatief bij de uitfasering van ozonlaag-afbrekende stoffen en de mogelijkheden van vervanging hiervan door stoffen met een Global Warming Potential (GWP) van 0. Als antwoord hierop is in zeer korte tijd een notitie opgesteld, die in augustus 1993 aan het DG Milieubeheer aangeboden is. Dit rapport is dezelfde notitie, maar dan in de vorm van een RIVM-rapport; alleen zijn een aantal kleine taalkundige en inhoudelijke verbeteringen aangebracht. Inmiddels is ook een Engelstalige samenvatting verschenen (Olivier *et al.*, 1994).

De ontwikkelingen op dit terrein gaan snel en sommige delen van dit rapport zouden thans wellicht iets anders geformuleerd worden. Dit hier is echter niet gedaan: thans wordt door het RIVM in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer gewerkt aan een meer gedetailleerd achtergrond-document over HFK's, dat medio 1995 gereed zal zijn (Kroeze, 1994).

Dit rapport is opgesteld op basis van direct beschikbare informatie en beschrijft de rol en het mogelijke gebruik van HFK's als alternatieven voor CFK's en HCFK's. In aanvulling op het Montreal protocol van 1987, waarin een reductieschema voor het gebruik van ozonlaag-afbrekende stoffen is overeengekomen, zijn in 1990 in Londen en in 1992 in Kopenhagen afspraken gemaakt over een (snellere) reductie van CFK's en over de toekomstige reductie van HCFK's (niet voor HFK's). In dit rapport wordt een overzicht gegeven van het mogelijke gebruik van HFK's als alternatieve stoffen als gevolg van deze herzieningen van het Montreal protocol, de consequenties voor de emissie van broeikasgassen en de mogelijkheden voor reductie resp. vervanging ervan door stoffen zonder broeikasversterkende werking.

Wij bedanken Ton Bresser, Ronald Albers en Rob Swart voor hun waardevolle opmerkingen naar aanleiding van het eerste concept van dit rapport en Jan-Karel Kwisthout, Wim Sprong en Bas Weenink voor de aanvullende informatie die zij gegeven hebben.



## Inleiding

HFK's zijn een groep stoffen binnen de verzameling van halogeenkoolwaterstoffen (HKW's), die verder ondermeer bestaat uit CFK's, halonen, methylchloroform (MCF) en koolstoftetrachloride ( $\text{CCl}_4$ ). In Tabel i.1 wordt een overzicht en een definitie van de belangrijkste stofgroepen gegeven, die deel uitmaken van de HKW's. Halogeenkoolwaterstoffen dragen bij aan de aantasting van de ozonlaag en de versterking van het broeikas effect. In verband met hun ozonafbrekende werking wordt het gebruik van CFK's en halonen voor de eeuwwisseling uitgefaseerd. HCFK's en HFK's zijn vervangers voor het gebruik van CFK's en halonen. Het gebruik van HCFK's wordt na de eeuwwisseling uitgefaseerd.

**Tabel i.1: Overzicht van stofgroepen van halogeenkoolwaterstoffen.**

Stofgroep/naam	Definitie	Molekuul-formule (v.b.)
CFK	volledig met chloor en fluor gehalogeneerde koolwaterstoffen <sup>1</sup>	$\text{CFCl}_3$
halonen	volledig met broom, chloor en fluor gehalogeneerde koolwaterstoffen <sup>1</sup>	$\text{CBrF}_3$
methylchloroform (MCF)	1,1,1-trichloorethaan	$\text{CH}_3\text{CCl}_3$
koolstoftetrachloride	-	$\text{CCl}_4$
HCFK	onvolledig met chloor en fluor zonder broom gehalogeneerde koolwaterstoffen <sup>1</sup>	$\text{HCClF}_2$
HFK	onvolledig met uitsluitend fluor gehalogeneerde koolwaterstoffen <sup>1</sup>	$\text{CF}_3\text{CHF}_2$
FK	volledig met fluor gehalogeneerde koolwaterstoffen	$\text{CF}_4$

<sup>1</sup> Met maximaal 2 koolstof-atomen.

HFK's worden anno 1990 nog niet of nauwelijks gebruikt. HFK's zijn als stofgroep van belang omdat zij - naast HCFK's - als ozon-vriendelijk alternatief gezien worden voor het gebruik van CFK's, halonen, methylchloroform en koolstoftetrachloride. Waar HCFK's een kleinere Ozone Depleting Potential (ODP) hebben dan CFK's, hebben HFK's een ODP gelijk aan nul. Omdat verwacht wordt dat ten gevolge van de sterke groei van het verbruik van HCFK's de mondiale ODP-equivalente emissies toch nog te hoog zullen zijn, zal volgens de recente aanvulling in Kopenhagen van het protocol van Montreal - eerder al geamendeerd in Londen - ook het gebruik van HCFK's in de aangesloten landen uitgefaseerd worden in 2030. In Tabel i.2 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste afspraken die hierover gemaakt zijn. Het huidige EG-beleid, dat vastgesteld is in december 1992, gaat nog iets verder, maar door de Europese Commissie wordt thans een nog stringenter reductieschema voor de EG-landen overwogen (EG, 1993).

HFK's dragen bij aan de versterking van het broeikas effect. Waar bij CFK's - en in mindere mate ook bij HCFK's - in verband met de aantasting van de ozonlaag sprake is van een koelend indirect effect van mogelijk dezelfde orde van grootte als het directe opwarmende effect, is dit bij HFK's niet het geval. Wanneer de stofgroepen CFK, HCFK en HFK vergeleken worden qua (directe) Global Warming Potential (GWP), dan blijken sommige HFK's een hogere GWP te hebben dan de meeste HCFK's. Dit heeft tot gevolg, dat indien ten gevolge van de aanvullingen van Kopenhagen naast de traditionele HKW's ook HCFK's uitgefaseerd worden en substitutie door HFK's plaatsvindt, dit in een aantal scenario's voor de emissies van broeikasgassen geen gunstig effect heeft. Bij de beoordeling van de rol van HFK's als broeikasgas, dient naar het gehele toepassingsgebied van HKW's gekeken te worden. Immers voor iedere groep toepassingen van HKW's zal het mogelijke gebruik van HFK's afhangen van beschikbare HCFK's en andere alternatieven. De praktische mogelijkheden tot reductie van het gebruik van HFK's hangen af van de technische en economische beschikbaarheid van voldoende alternatieven met zowel ODP als GWP gelijk aan 0 (of evt. lage GWP).

Achtereenvolgens wordt in dit rapport een overzicht gegeven van het toepassingspotentieel van HFK's tot 2000 à 2010 wereldwijd en in Nederland en van de bijdrage aan de emissies van broeikasgassen. Met name wordt aandacht besteed aan de alternatieven, zgn. 0-ODP en laag-GWP of 0-GWP stoffen. Daarnaast worden van HFK's de GWP-waarden en onzekerheden besproken. Scenario's worden beschreven in CO<sub>2</sub>-equivalente termen ten opzichte van de totale antropogene CO<sub>2</sub>-equivalente emissie voor 1986, 1990 en voor 2000-2010, voor Nederland en mondiaal. Daarbij worden de GWP's voor 100 jaar gebruikt. Hierbij wordt uitgegaan van de door deskundigen verwachte trends in het gebruik van verschillende stoffen en van de mogelijke spreiding van de bijbehorende emissies door middel van een lage en een hoge variant. De bronnen van emissies worden beschreven en reductie-mogelijkheden in termen van beschikbare alternatieve stoffen en methoden en reductie bij gebruik ervan. Tenslotte worden conclusies getrokken met betrekking tot mogelijk klimaatbeleid inzake HCFK's en HFK's.

**Tabel i.2:** Overzicht van reductieschema's voor halogeenkoolwaterstoffen volgens het Montreal Protocol en de amendementen daarop in Londen en Kopenhagen. De reductieschema's voor ontwikkelingslanden hebben een vertraging van 10 jaar.

<b>Montreal Protocol (1987)</b>	
CFK's:	50% reductie in productie t.o.v. 1986 vanaf medio 1998
Halonen:	Plafond in 1992 op niveau van 1986
<b>Amendementen van Londen (1990)</b>	
CFK's:	Uitbanning in 2000
Halonen:	Uitbanning in 2000
Koolstoftetrachloride:	Uitbanning in 2000
Methylchloroform:	Uitbanning in 2005
<b>Amendementen van Kopenhagen (1992)</b>	
CFK's:	Uitbanning in 1996
Halonen en HCFK's	Uitbanning in 1996
Koolstoftetrachloride:	Uitbanning in 1996
Methylchloroform:	Uitbanning in 2005
Methylbromide:	Plafond in 1995 op niveau van 1991
HCFK's:	Plafond in 1996; uitbanning in 2030

bron: UNEP, 1987, 1991d, 1992.

## 1. HFK: toepassingen, stoffen, alternatieven

Halogeenkoolwaterstoffen worden gebruikt in de volgende toepassingsgebieden:

- aërosolen
- oplosmiddel/reiniging
- schuimen (open [bijv. zachte schuimen] en gesloten [bijv. isolatieschuim])
- koelmiddel (stationair in koelkasten en airconditioners en in mobiele airconditioning)
- brandblussers.

Op dit moment worden als alternatief voor CFK's en HCFK's met name de volgende HFK's in de literatuur genoemd: HFK-23, 125, 134a, 143a en 152a (Brackemann and Hanhoff-Stemping, 1989; Deutscher Bundestag, 1991; Kroeze and Reijnders, 1992). Daarnaast worden soms ook de volgende HFK's genoemd: HFK-32, 134 en 227ea (UNEP, 1991a,b); 123, 245, 218, 318 (Srinivasan, 1992). Alternatieven voor bestaande toepassingsgebieden voor HKW's kunnen gezocht worden in alternatieve stoffen, maar ook in alternatieve methoden. Bij de vraag welke alternatieve stoffen in aanmerking komen zijn onder andere van belang: de fysisch-chemische aspecten (o.a. stabiliteit, inertie); gezondheid, veiligheid en milieu-aspecten (niet-toxisch, onbrandbaar, persistentie) en de kosten (Deutscher Bundestag, 1991; UNEP, 1991a).

### ***Situatie conform het Londen protocol***

In Tabel 1.1 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste alternatieve opties per toepassingsgebied, waarbij de HFK's per stof zijn uitgesplitst, ervan uitgaande dat er geen restricties zijn met betrekking tot het HCFK-gebruik, dat wil zeggen de situatie conform het Londen protocol, maar niet conform het Kopenhagen protocol (zie Tabel A.4 in de Appendix voor meer gedetailleerde informatie). Uit dit overzicht blijkt dat HFK's met name in de koelsector en in de brandblusmiddelensector als alternatief gezien worden. In de koelsector zullen HFK's met name in kleine installaties gebruikt worden; voor grote koelinstallaties is het te duur in verband met een hoger energiegebruik in vergelijking met HCFK's. Daarnaast is de koelfactor te laag om diep te kunnen koelen (bijv. vriezen). Als aërosol worden HFK's voornamelijk gebruikt voor medische toepassingen (voor andere is het te duur). Het potentieel voor andere alternatieven dan HFK/HCFK lijkt echter nogal groot (in alle categorieën mogelijk tot 100%), ook in de koelsector en bij de blusmiddelen (UNEP, 1991a,b,c). De verwachting van deskundigen is echter dat in deze twee sectoren HCFK's en HFK's een aanzienlijk deel van de markt zullen substitueren, voor een deel stofspecifiek zoals aangegeven is voor HCFK's en HFK's. In de koelsector wordt ook veel met mengsels van bijvoorbeeld verschillende HCFK's en HFK's gewerkt (zgn. 'blends'), teneinde zo kosteneffectief mogelijk de juiste eigenschappen te verkrijgen (en ook als klantenbinding?). Met de potentiële schattingen voor HFK's dient hiermee rekening gehouden te worden. Duidelijk is dat het zeer onzeker is welk deel van het huidige CFK-gebruik door HFK's vervangen zal worden, zeker nu ook op termijn het gebruik van HCFK's uitgefaseerd wordt.

In het algemeen kan gesteld worden dat voor verreweg de meeste HKW-toepassingen ODP- en GWP-0 alternatieven bekend zijn (of als stof of als alternatieve methode) (Brackemann and Hanhoff-Stemping, 1989; Cohen and Pickaver, 1992; UNEP, 1991a,b,c). In Tabel 1.2 zijn per toepassingsgebied de in de literatuur meest genoemde alternatieven vermeld. Voor een aantal zgn. essentiële toepassingen is thans nog geen goed alternatief bekend. Dit betreft onder meer

enkele toepassingen in de medische sector (bepaalde typen inhaleerders) en in de brandblussector (vliegtuigen). In de beperkte tijd die beschikbaar was kon niet vastgesteld worden of alle in de literatuur genoemde toepassingen ook (reeds) technisch-economisch en veilig toepasbaar zijn. De inzichten met betrekking tot de na de uitfasering verwachte mix van alternatieven en de ontwikkelingen inzake de marktpenetratie van toepassingen met alternatieven voor de traditionele HKW's veranderen snel. In dit rapport wordt een schets gegeven van de mogelijke ontwikkeling op basis van literatuur uit 1989-1992. Voor de onderbouwing van de ruimte voor toekomstig beleid is verdere studie nodig om de technisch-economische status van de alternatieven anno 1993 vast te kunnen stellen.

**Tabel 1.1:** Geschatte mondiale substitutie bij ongelimiteerd gebruik van HCFK/HFK's (conform het London protocol) van CFK's en halonen door alternatieven met ODP/GWP= 0 (= 0% niet-HCFK/HFK), en door HCFK en door specifieke HFK's in % van specifiek CFK-gebruik.

Toepassing	CFK	% niet-HCFK/HFK	% HCFK	HFK	% HFK	Potentieel hergebruik	
Aërosol	11	90-95	3.5 - 5%	152a	2%	0%	
				125	0-0.5%		
				134a	0-0.5%		
				143a	0-0.2%		
	12	90-95	3.5 - 5%	152a	2%	0%	
				125	0-0.5%		
				134a	0-0.5%		
				143a	0-0.2%		
Oplosmiddel/ reiniging	113	70-80	25%	-	0%	80%	
Open schuimen	11, 12, 114	70-90	20%	-	0%	10%	
Gesloten schuimen	11, 113, 114	55-65	40%	-	0%	10%	
							12
Stationaire koeling	11, 114	0-35	100%	-	0%	15%	
				12	0-35		43 - 85%
	115	0-35	85%	125	15%	15%	
				HCFK-22	0-35		125
					152a		0-20%
			134a	0-10%			
Mobiele airconditioning	12	0	0-37.5%	134a	50-100%	10%	
				152a	0-12.5%		
Blusapparatuur	halon 1211, 1301	0-?	50%	125	50%	50%	

bron: gebaseerd op Kroeze en Reijnders (1992) [n.a.v. literatuurstudie en interviews met deskundigen (zie Tabel A.4)].

Met name wat betreft grote stationaire koel- en vriesinstallaties en mobiele airconditioners bestaat onduidelijkheid in hoeverre 0-ODP/0-GWP-alternatieven voor alle toepassingsgebieden beschikbaar zijn. In de literatuur wordt echter vermeld dat mondiaal reeds ca. 40% en bijv. in Duitsland tussen de 40-80% van de grootschalige industriële koelinstallaties op ammoniak werkt

(UNEP, 1991a; Deutscher Bundestag, 1991). Bij mobiele airconditioning geldt als bijzondere eis, dat het koelmiddel ook als smeermiddel moet werken. Dit stelt binnen het huidige proces beperkingen ten aanzien van directe vervangbaarheid door andere stoffen.

**Tabel 1.2:** Alternatieven voor halogeenkoolwaterstoffen met lage ODP- en GWP-waarden.

Toepassing	Alternatieve stof	Alternatief proces
Aërosolen	koolwaterstoffen, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, luchtdruk droogpoeder-inhaleerders e.d.	non-spray (bijv. roll-on) mechanische verstuivers
Oplosmiddel/ reiniging	vele (water, zeep, koolwaterstoffen) benzine	gebruik van stoffen, die geen reinigingsstap nodig hebben; speciale reiniging onder druk met lucht of stikstof; stikstof soldeer-methode
Gesloten schuimen	CO <sub>2</sub> , pentaan, butaan	traditionele karton e.d. als verpakkingsmateriaal; aantal toepassingen niet nodig/ongewenst; traditionele isolatiematerialen zoals minerale wol (evt. dikkere isolatielagen noodzakelijk) <sup>1</sup>
Open schuimen	CO <sub>2</sub> , CO, water, pentaan	
Stationaire koeling (koelmiddel, koelcyclus)	ammoniak, koolwaterstoffen (propanaan, butaan, LPG), helium	verbetering lekdichtheid dampcompressie met waterverdamper of koolwaterstoffen, Stirling-cyclus met He; absorptiesystemen met bijv. ammoniak en water of met water en lithium bromide; adsorptiesystemen met zeoliet en water
Mobiele aircond.	zeoliet en water	adsorptiesystemen met zeoliet en water
Blusapparatuur	water, schuim, poeder, CO <sub>2</sub> , stikstof; nieuw mengsel van CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> en Ar als vervanging van halon-1301	bouwkundige maatregelen, snelle detectie-apparatuur; verliesreductie-methodes

<sup>1</sup> Hierbij dient het gecombineerde effect van emissies ten gevolge van isolatie versus emissies als gevolg van energiegebruik beschouwd te worden (zie bijv. Ybema, 1992).

bron: UNEP, 1991ab; Brackemann en Hanhoff-Stemping, 1989; Deutscher Bundestag, 1991; Cohen and Pickaver, 1992.



## 2. GWP-waarden en onzekerheden

De bijdrage van een gas in de atmosfeer aan het broeikas effect wordt uitgedrukt in de Global Warming Potential (GWP). Deze GWP-waarde geeft een schatting van de verhoging van de stralingsforcering van het klimaatsysteem ten opzichte van een referentiegas, in het algemeen CO<sub>2</sub>. Hiermee wordt het mogelijk de integrale broeikaswerking door de uitstoot van verschillende broeikasgassen eenvoudig vast te stellen. Het GWP-concept is voor zeer langlevende en goed gemengde gassen zoals CFK's en N<sub>2</sub>O een betrouwbare indicatie. Voor HCFK's en HFK's met kortere atmosferische verblijftijd behoeft de GWP-waarde nuancering. Belangrijk zijn met name de tijdschikhorizon en de afhankelijkheid van een veranderende atmosfeersamenstelling. De in deze nota gehanteerde GWP-waarden voor een tijdschikhorizon van 100 jaar dienen als minimum te worden beschouwd.

**Tabel 2.1:** Directe broeikaswerking van CFK's, HCFK's, HFK's, methylchloroform en CCl<sub>4</sub> voor een horizon van 100 jaar (GWP-100 in CO<sub>2</sub> equivalenten) en de atmosferische verblijftijd en broeikaswerking voor een horizon van 500 jaar (GWP-500 t.o.v. CFK-11 in evenwicht).

naam	molecule	GWP-100 (per kg) t.o.v. CO <sub>2</sub>	leeftijd (jaren)	GWP-500 (per kg) t.o.v. CFK-11
kooldioxide	CO <sub>2</sub>	1		
CFK-11	CFCl <sub>3</sub>	0-3 400 <sup>1</sup>	60	0-1.0 <sup>1</sup>
CFK-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	0-7 100 <sup>1</sup>	120	0-3.4 <sup>1</sup>
methylchloroform	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	100	6.1	
tetrachloorkoolstof	CCl <sub>4</sub>	1 300	47	
HCFK-22	CHClF <sub>2</sub>	1 600 <sup>2</sup>	15.3	0.37
HCFK-123	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	90 <sup>2</sup>	1.7	0.02
HCFK-124	CHClFCF <sub>3</sub>	440 <sup>2</sup>	6.9	0.11
HCFK-141b	CCl <sub>2</sub> FCH <sub>3</sub>	580 <sup>2</sup>	10.8	0.14
HCFK-142b	CClF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1 800 <sup>2</sup>	19.1	0.39
HFK-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	700	6.8	.. <sup>3</sup>
HFK-125	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	3 400	28.1	0.65
HFK-134a	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	1 200	15.5	0.29
HFK-143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	3 800	41.0	0.76
HFK-152a	CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	150	1.7	0.033
perfluormethaan	CF <sub>4</sub>	6 300	50 000	
perfluorethaan	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	12 500	10 000	
perfluorcyclobutaan	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	9 100	3 200	
perfluorhexaan	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	6 800	3 200	

<sup>1</sup> Bovenwaarde geeft de directe GWP aan; de onderwaarde geeft de mogelijke totaalwaarde inclusief indirecte effecten (WMO, 1992).

<sup>2</sup> Omdat het koelende indirecte effect van HCFK's relatief gering is ten opzichte van het directe effect, wordt deze hier niet meegenomen (ook in verband met de onzekerheid hiervan).

<sup>3</sup> Niet beschikbaar.

bron: GWP-100: Houghton *et al.*, 1992; voor HFK-32: UNEP, 1991a; leeftijd en GWP-500: WMO, 1992; met uitzondering van de FK's (laatste vier stoffen): IPCC, 1994.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van stoffeigenschaften van de belangrijkste halogeenkoolwaterstoffen. De directe GWP-waarde wordt voornamelijk bepaald door de stralingsabsorptie per molecule en de atmosferische verblijftijd. CFK's en HCFK/HFK's zijn efficiënte infraroodstraling-absorberende gassen en zijn daarom van belang bij het versterkte broeikas effect ondanks hun relatief lage concentraties (ppt-nivo). Hoewel HCFK's en HFK's gemiddeld kortere atmosferische

verblijftijd hebben zijn de GWP-waarden vergelijkbaar met de directe GWP-waarden van CFK's. Vanuit klimaatbeleid kunnen HFK's daarom niet als alternatieven bij CFK-ervanging worden aangemerkt. Een uitzondering hierop is HFK-152a met een extreem korte levensduur en lage GWP-waarde. De onzekerheid in deze waarden wordt gedomineerd door de onzekerheid in atmosferische verblijftijd, die slechts binnen een factor 2 bekend is.

HFK's hebben kortere atmosferische verblijftijden dan de referentiegassen CO<sub>2</sub> of CFK-11 (Tabel 2.1). Daardoor kunnen de GWP-waarden voor kortere periodes (tijdshorizon) aanmerkelijk boven de GWP-100-waarde liggen. Dit effect is voor ODP-waarden van HCFK's en de ozonlaagafbraak identiek. In Tabel 2.2 wordt deze afhankelijkheid nader uitgewerkt. Uit deze tabel blijkt dat voor een termijn van 5 jaar de GWP-waarde van HFK-134a een factor 3 boven de GWP-100-waarde ligt; voor HFK-152a zelfs een factor 10.

**Tabel 2.2:** Verband tussen de directe GWP-waarde en de horizon van beschouwde broeikaswerking.

stof	forcering (per kg)	GWP- (jaren)						
		5	10	20	50	100	200	500
CFK-11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
HCFK-22	1.35	1.19	1.06	0.86	0.56	0.41	0.35	0.34
HCFK-142b	1.12	1.04	0.97	0.86	0.64	0.50	0.43	0.41
HFK-125	1.04	1.01	0.98	0.93	0.82	0.71	0.64	0.62
HFK-134a	1.06	0.92	0.81	0.64	0.41	0.29	0.25	0.24
HFK-152a	1.03	0.31	0.17	0.09	0.05	0.03	0.03	0.03

bron: Clerbaux *et al.*, 1993.

Ook volledig gefluorideerde koolwaterstoffen (CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, etc.) zijn voorgesteld als alternatief voor CFK's. Deze stoffen worden slechts zeer beperkt hoog in de stratosfeer afgebroken en verblijven daardoor zeer lang (van de orde 10 000 jaar) in de atmosfeer (Ravishankara *et al.*, 1993). Met de karakteristieke forcering per kg van CFK's en HCFK/HFK's (Tabel 2.2) zal de GWP-waarde vermoedelijk ver boven de directe GWP-waarde van CFK-11 liggen.

De directe GWP-waarden van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Tabel 2.1) zijn berekend voor de huidige atmosfeersamenstelling met CO<sub>2</sub> als referentiegas. De 'CO<sub>2</sub>-verblijftijd' is niet goed bekend en elke verbetering van het begrip van de koolstofcyclus en de verblijftijd heeft direct aanpassing van de directe GWP-waarden tot gevolg. Verder zijn de infrarood-absorptielijnen van CO<sub>2</sub> sterker verzadigd dan die van HCFK/HFK's, zodat bij stijgende CO<sub>2</sub>-concentraties de broeikaswerking van CFK's relatief sterker zal toenemen en deze een overeenkomstig hogere GWP-waarde zullen hebben. De atmosferische verblijftijd van HFK's wordt bepaald door de reactie met het hydroxyl-radicaal (OH<sup>·</sup>). De productie hiervan is afhankelijk van de hoeveelheid ozon (met als precursors koolwaterstoffen en NO<sub>x</sub>) en de verwijdering gebeurt met name door reactie met CO en CH<sub>4</sub>. Emissiescenario's van al deze stoffen bepalen daarom het toekomstig verloop van de OH-concentratie. Voor alle zes IPCC-1992 scenario's worden OH-reducties van 20-40% voorspeld in de komende eeuw (Krol en Van der Woerd, 1993). Dit zal leiden tot langere verblijftijden en GWP-waarden die 20 tot 40% hoger zijn.

Tal van broeikasgassen zijn chemisch reactief in de atmosfeer en hebben op deze manier invloed op de concentraties van andere broeikasgassen, zowel positief als negatief. Dit wordt uitgedrukt in de *indirecte* Global Warming Potential. Methaan heeft een positieve indirecte GWP-waarde door toenemende levensduur met hogere concentraties via afnemende OH-concentraties. Vooral CFK's, maar in geringe mate ook HCFK's, hebben een negatief indirect effect door de afbraak van de ozonlaag rond de 20 km. Het broeikaseffect als gevolg van afbraak door CFK's van ozon in de lage stratosfeer is mogelijk van dezelfde orde maar tegengesteld aan de directe broeikaswerking. Om deze reden wordt in dit rapport voor de CFK's een GWP-range gebruikt van 0 voor het mogelijke totaal effect tot de directe GWP-100 waarde (zie Tabel 2.1). Ook voor HCFK's is hiervan afgezien in verband met de relatief geringe correctie en de grote onzekerheid ervan. HFK's hebben zover bekend geen significante indirecte GWP-waarde. HFK's breken de ozonlaag niet af en de invloed op het chemisch evenwicht in de troposfeer is te verwaarlozen ten opzichte van CO en CH<sub>4</sub>. Overigens is de berekening van de indirecte GWP-waarde van CFK's en HCFK's, om dezelfde redenen als de directe GWP's, afhankelijk van de beschouwde tijdshorizon en de emissiescenario's voor andere stoffen.

### 3. Trends m.b.t. HFK-gebruik in Nederland en mondiaal

In Nederland worden HCFK's reeds vanaf 1981 toegepast; HFK-gebruik is gestart vanaf 1991 (Amstel *et al.*, 1993). Er is niet veel bekend over de fysieke groei van de vraag in de verschillende toepassingsgebieden. Het gebruik van airconditioning in auto's en in huizen/kantoren wordt gesignaleerd als een duidelijke groeimarkt in Nederland en Duitsland (Kwisthout, 1993; Deutscher Bundestag, 1991). Tevens wordt in Nederland geconstateerd dat in de koelsector bij nieuwe apparatuur voornamelijk blends (mengsels) van HFK's gebruikt worden, terwijl bij vervanging in bestaande apparatuur vooral blends van HFK en HCFK worden toegepast (CFK-commissie, 1993). Daarnaast zullen als gevolg van wettelijke regelingen in het kader van het CFK-actieprogramma over een aantal jaren koelinstallaties in Nederland, die HKW's bevatten, in hoge mate lek dicht zijn. Tevens zal uit afgedankte installaties het koelmiddel zo niet hergebruikt, dan in ieder geval afgetapt worden. Duitse koelkastfabrikanten hebben een convenant met de overheid gesloten over de productie van koelkasten, die geen HKW als koelmiddel gebruiken. Deze afspraak zal over enige jaren ook de Nederlandse koelkasten-markt beïnvloeden.

Mondiaal gezien wordt verwacht dat als gevolg van de economische ontwikkeling in met name niet-OECD-landen de vraag naar de toepassing van halogeenkoolwaterstoffen sterk zal stijgen (zie bijv. de IPCC-scenario's beschreven in Pepper *et al.* (1992). Zo wordt bijv. recent een sterke toename gemeld van koelkasten in de Chinese huishoudens. Dit zal een navenante invloed hebben op het gebruik van HFK's. Kroeze en Reijnders hebben op basis van literatuurstudie en interviews met deskundigen in het veld getracht een mondiaal vervangingsschema voor CFK's voor de kortere en langere termijn op te stellen, waarin de verschillende inzichten over de alternatieven op consistente wijze geïntegreerd zijn (Kroeze en Reijnders, 1992).

HFK's zijn en worden speciaal ontwikkeld als alternatief voor de toepassing van de traditionele HKW's; de ontwikkeling van nieuwe toepassingen voor deze stoffen kan echter niet worden uitgesloten.

## 4. Scenario's voor CFK's en alternatieven

Het mondiale en Nederlandse gebruik van halogeenkoolwaterstoffen (CFK's, halonen, MCF, CCl<sub>4</sub>, HCFK's en HFK's) is in dit rapport geschat voor drie HKW-scenario's: L (Londen), K (Kopenhagen), en A (Additioneel beleid) (zie Tabel 4.1). Alle drie scenario's gaan uit van een productiestop van CFK's en halonen, zoals internationaal overeengekomen door middel van afspraken op mondiaal niveau in resp. Montreal, Londen en Kopenhagen, en de wat Nederland betreft stringenter besluiten in EG-kader van eind 1992 en het bijgestelde CFK-actieprogramma (Amstel *et al.*, 1994; VROM, 1990; CFK-commissie, 1993). De scenario's verschillen voor wat betreft de vervanging van CFK's en halonen door HCFK's en HFK's. Het mondiale gebruik is geschat voor een aantal jaren, rekening houdend met de groeiende vraag naar halogeenkoolwaterstoffen. In Tabel A.1 wordt een schatting gegeven van het mondiale gebruik per stof en per toepassing in 1990. Voor Nederland is het HCFK- en HFK-gebruik geschat op basis van mondiale procentuele substitutie per toepassing (Tabel A.4), waarbij de vraag naar toepassingen voor de eenvoud constant verondersteld is, met uitzondering van de mobiele air-conditioning. Deze aanname van een constante vraag in Nederland is voor de koelsector niet geheel juist, daar via regelgeving de lekpercentages bij toepassing van CFK, HCFK of HFK tot enkele procenten per jaar teruggebracht zullen worden en aftappen bij afdanken van koelapparatuur verplicht wordt.

**Tabel 4.1:** Overzicht van halogeenkoolwaterstoffen-scenario's gebruikt in dit rapport.

L (Londen):	Ongelimiteerd gebruik HCFK's en HFK's
L-1:	Alleen vervangers die op korte termijn beschikbaar komen ('2000')
L-2:	Ook vervangers die op langere termijn beschikbaar komen ('2010')
K (Kopenhagen):	Stop gebruik HCFK's; 100% vervanging van HCFK's door HFK's (GWP 2140)
K-Laag:	HCFK's vervangen door HFK's met lage GWP (150)
K-Midden:	HCFK's vervangen door HFK's met gemiddelde GWP (2140)
K-Hoog:	HCFK's vervangen door HFK's met hoge GWP (3800)
A (Additioneel beleid):	Geen gebruik HCFK's; geen gebruik HFK's met GWP groter dan 20% van die van CFK-11 (d.w.z. alleen HFK-152a)

Noot: In alle scenario's wordt het gebruik van CFK's, halonen, MCF en CCl<sub>4</sub> (vrijwel) geheel gestopt. Voor mondiaal HFK-gebruik worden de scenario's L, K-Midden en A gebruikt; voor Nederland de scenario's L-1, L-2, K-Laag, K-Midden, K-Hoog en A.

In **scenario L (Londen)** wordt uitgegaan van ongelimiteerd gebruik van HCFK's en HFK's om CFK's en halonen te vervangen. Dit resulteert - onder bepaalde aannames - mondiaal in zo'n 40% substitutie van CFK's en halonen door HCFK's en HFK's. De overige 60% wordt vervangen door niet-HCFK/HFK's.

In **scenario K (Kopenhagen)** wordt het gebruik van HCFK's in het jaar 2030 gestaakt, zoals overeengekomen in Kopenhagen in 1992. Een dergelijke HCFK-stop zal vermoedelijk leiden tot extra gebruik van HFK's. In scenario K wordt aangenomen dat alle HCFK's worden vervangen door HFK's. Omdat in werkelijkheid de HFK-substitutie lager kan zijn, kan scenario K worden beschouwd als een potentieel maximum voor toekomstig HFK-gebruik (dat wil zeggen wanneer de stof niet in nieuwe toepassingen gebruikt zal worden). Voor Nederland zijn drie varianten doorgerekend: in K-Midden vervangt elk van de HFK's 125, 134a, 143a en 152a per toepassing 25% van de gebruikte HCFK's; in K-Laag en K-Hoog worden HFK's gebruikt met een lage en hoge

GWP (gelijk aan resp. HFK-152a en HFK-143a).

**Scenario A (Additioneel beleid)** geeft een situatie weer, waarin geen stoffen worden gebruikt met een ODP groter dan nul - dat wil zeggen geen HCFK's - en geen HFK's met een GWP groter dan 720 (= 20% van de GWP van CFK-11). Dit betekent dat van de HCFK/HFK's alleen HFK-152a overblijft met een ODP van 0 en een GWP van 150.

In **scenario L (Londen)** wordt uitgegaan van ongelimiteerd gebruik van HCFK's en HFK's om CFK's en halonen te vervangen. Dit resulteert - onder bepaalde aannames - mondiaal in zo'n 40% substitutie van CFK's en halonen door HCFK's en HFK's. De overige 60% wordt vervangen door niet-HCFK/HFK's.

In **scenario K (Kopenhagen)** wordt het gebruik van HCFK's in het jaar 2030 gestaakt, zoals overeengekomen in Kopenhagen in 1992. Een dergelijke HCFK-stop zal vermoedelijk leiden tot extra gebruik van HFK's. In scenario K wordt aangenomen dat alle HCFK's worden vervangen door HFK's. Omdat in werkelijkheid de HFK-substitutie lager kan zijn, kan scenario K worden beschouwd als een potentieel maximum voor toekomstig HFK-gebruik (dat wil zeggen wanneer de stof niet in nieuwe toepassingen gebruikt zal worden). Voor Nederland zijn drie varianten doorgerekend: in K-Midden vervangt elk van de HFK's 125, 134a, 143a en 152a per toepassing 25% van de gebruikte HCFK's; in K-Laag en K-Hoog worden HFK's gebruikt met een lage en hoge GWP (gelijk aan resp. HFK-152a en HFK-143a).

**Scenario A (Additioneel beleid)** geeft een situatie weer, waarin geen stoffen worden gebruikt met een ODP groter dan nul - dat wil zeggen geen HCFK's - en geen HFK's met een GWP groter dan 720 (= 20% van de GWP van CFK-11). Dit betekent dat van de HCFK/HFK's alleen HFK-152a overblijft met een ODP van 0 en een GWP van 150.

## 4.1 Mondiaal gebruik van HFK's

In de scenario's L, K, en A wordt uitgegaan van een productiestop voor CFK's en halonen voor het jaar 2000, rekeninghoudend met uitzonderingen zoals geformuleerd in de Londen-aanscherping uit 1990 van het Montreal Protocol. De snellere uitfasering van CFK's en halonen, zoals overeengekomen in Kopenhagen in 1992, heeft vermoedelijk weinig effect op het HCFK/HFK-gebruik na het jaar 2000.

### **Scenario L: Mondiaal HFK gebruik bij ongelimiteerd gebruik van HCFK's en HFK's**

Tabel 4.2 geeft een overzicht van geschat wereldwijd HFK gebruik bij ongelimiteerd gebruik van HCFK's en HFK's in scenario L (Londen). Wereldwijd stijgt het geschatte HFK-gebruik van bijna nihil in 1990 tot 158 kton in 2000 en 594 in 2010. Deze schattingen gaan uit van ongelimiteerd gebruik van HCFK's en HFK's, maar met enige voorkeur van gebruikers voor HFK's, met name op de wat langere termijn (na 2000).

De belangrijkste toepassingen voor HFK's blijken stationaire koeling en de auto-airconditioning, samen goed voor ruim 80% van het wereldwijde HFK-gebruik. HFK-134a is de meest gebruikte van de HFK's en wordt met name toegepast in de koelsector. Het totale jaargebruik van halogeenkoolwaterstoffen uitgedrukt in directe CO<sub>2</sub>-equivalenten neemt af van ca. 6 000 Mton in 1990 tot 3 300 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2035. De emissies gebaseerd op totale GWP-waarden, inclusief *indirecte* effecten, nemen echter toe van ca. 500 Mton in 1990 tot ca. 3 100 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2035 (Tabel 4.3). Na 2000 zijn het met name de HFK's die bijdragen aan het gebruik (ca. 60% vanaf 2010, op basis van alleen directe effecten).

**Tabel 4.2:** Scenario L: Mondiaal gebruik (kton produkt/jaar) van HFK's in 2000 en 2010, bij ongelimiteerd gebruik van HCFK/HFK's om CFK's en halonen te vervangen.

Toepassing/jaar	HFK-125	HFK-134a	HFK-143a	HFK-152a	totaal
2000					
aërosol	-	-	-	7	7
schuim	-	6	-	-	6
koeling <sup>1</sup>	4	17	-	-	21
auto-airco <sup>2</sup>	-	90	-	23	113
blusmiddel	12	-	-	-	12
<b>totaal</b>	<b>16</b>	<b>113</b>	<b>-</b>	<b>29</b>	<b>158</b>
2010					
aërosol	2	1	2	10	16
schuim	-	9	-	-	9
koeling <sup>1</sup>	96	73	90	-	260
auto-airco <sup>2</sup>	-	292	-	-	292
blusmiddel	17	-	-	-	17
<b>totaal</b>	<b>116</b>	<b>375</b>	<b>92</b>	<b>10</b>	<b>594</b>

<sup>1</sup> Exclusief auto-airconditioning

<sup>2</sup> Aannemende dat tot 2000 met name gebruik gemaakt wordt van een blend (waarin o.a. HFK-134a en HFK-152a), na 2000 uitsluitend van HFK-134a.

bron: Kroeze en Reijnders, 1992.

### **Scenario K-Midden: De potentiële gevolgen van een productiestop voor HCFK's**

Het mondiale gebruik van HFK's kan na een productiestop voor HCFK's hoger uitvallen (Tabel 4.3). Als alle HCFK's zouden worden vervangen door HFK's, zoals aangenomen in scenario K-Midden, zou het gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in 2035 met bijna 50% toenemen tot ca. 4 800 Mton uitgedrukt in directe CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van het L-scenario; dit is echter zo'n 20% minder dan het mondiale gebruik in *directe* CO<sub>2</sub>-equivalenten van ca. 6 000 Mton in 1990. Het gebruik gebaseerd op totale GWP-waarden, inclusief *indirecte* effecten neemt in dit scenario in 2035 met een factor 10 toe ten opzichte van het HKW-gebruik in 1990 (zie ook Figuur 4.1). Dit komt omdat voor HFK's verondersteld is dat deze gemiddeld een hogere GWP's hebben dan de HCFK's gemiddeld.

### **Scenario A: Gebruik van HCFK's en HFK's op basis van minimale ODP en GWP**

Wanneer alle toepassingen met een ODP groter dan 0 of een GWP groter dan 720 vervangen worden door andere alternatieven, dan resteert slechts een gebruik van HFK-152a voor bepaalde toepassingen (zie Tabel A.4) en een kleine hoeveelheid CFK's en halonen voor zgn. essentieel verbruik. Het totale gebruik in directe CO<sub>2</sub>-equivalenten bedraagt dan ca. 200 Mton/jaar, ofwel ca. 3% van het gebruik in 1990; inclusief indirecte effecten is het gebruik zelfs bijna nihil (Tabel 4.3).

**Tabel 4.3:** Mondiaal gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in scenario's L, K-Midden en A, in Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten/jaar (berekend uit Tabel A.1 met GWP's over 100 jaar).

Jaar	CFK's <sup>1</sup>	HCFK's	HFK's	Totaal
1990	0-5549	486	0	486-6035
Scenario L				
2000	0-1290	896	194	1090-2380
2010	0-174	751	1196	1947-2121
2035	0-174	1186	1931	3118-3292
Scenario K-Midden				
2035	0-174	0	4663	4663-4837 <sup>2</sup>
Scenario A				
2035	0-174	0	3	3-177

<sup>1</sup> Inclusief halonen, exclusief methylchloroform en CCl<sub>4</sub>. De range geeft de onzekerheid weer m.b.t. directe en totale GWP-waarde.

<sup>2</sup> Voor de extreme varianten K-Laag en K-Hoog zou dit 501 resp. 8454 Mton bedragen.

Noot: Alle scenario's geldt: productiestop CFK's en halonen volgens Londen 1990; resterende 174 Mton is t.b.v. zgn. essentieel gebruik.

Scenario L: ongelimiteerd gebruik HCFK's en HFK's

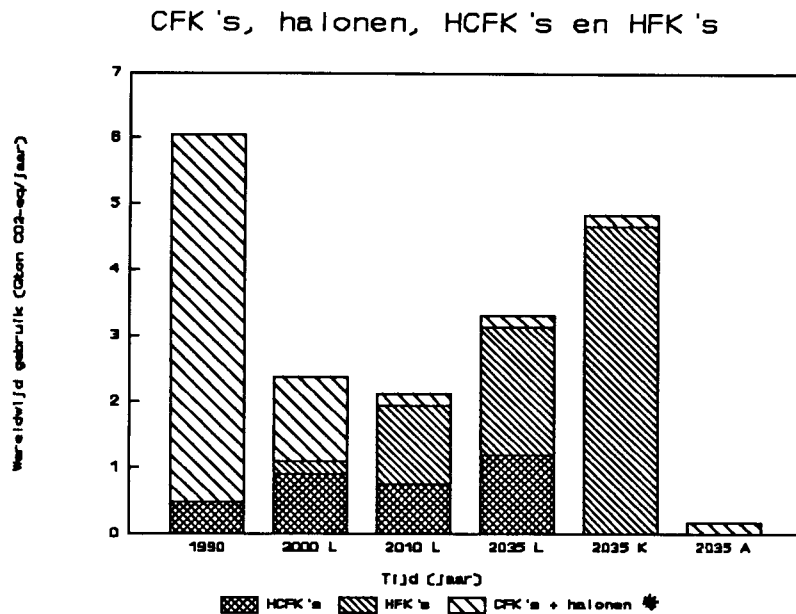
Scenario K-Midden: productiestop HCFK's in 2030; 100% vervanging HCFK's door HFK's met gemiddelde GWP (2140).

Scenario A: geen gebruik HCFK's/HFK's met een ODP > 0 of een GWP > 20% van de GWP van CFK-11.

In Figuur 4.1 worden de scenario's onderling vergeleken op basis van CO<sub>2</sub>-equivalente emissies. Hierbij is voor de CFK's, als indicatie voor de onzekerheidsrange m.b.t. de totale GWP-waarde van CFK's, gerekend is met een minimum GWP-waarde van 0 (inclusief indirecte effecten) en een maximumwaarde gelijk aan de directe GWP. De hier beschreven scenario's zijn gebaseerd op de veronderstelling dat de gemiddelde GWP van gebruikte HFK's hoger zal zijn dan die van HCFK's. Rekening houdend met vervanging door niet-HCFK/HCK's zal de emissie in termen van CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2035 ca. 3 tot 5 maal het niveau van 1990 kunnen zijn (gerekend met een netto GWP van CFK's van 0).



**Fig. 4.1:** Mondiaal gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in 1990, 2000, 2010 en in 2035 voor de scenario's L, K-Midden en A in Gton/jaar (exclusief methychloroform en CCl<sub>4</sub>). Voor CFK's en halonen wordt, als indicatie voor de onzekerheidsrange m.b.t. de totale GWP-waarde, ook de hoeveelheid getoond berekend met de directe GWP als maximumwaarde.



\* Maximum bijdrage met directe GWP als bovenwaarde.

Andere HKW-scenario's zijn bijvoorbeeld die van het IPCC, die opgesteld zijn voor het IPCC 1992 Supplement (Pepper *et al.*, 1992), en van Ko *et al.*, 1993). In Appendix B worden deze IPCC-scenario's samengevat. De bovengenoemde emissiecijfers van 1 à 2 Gton CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2000-2010 en 3 à 5 Gton in 2035 kunnen vergeleken worden met bijv. de CO<sub>2</sub>-emissies ten gevolge van energiegebruik, ontbossing en cementproductie. In de IPCC-scenario's IS92a en IS92b worden hiervoor getallen genoemd van 27 Gton CO<sub>2</sub> in 1990, 32 Gton CO<sub>2</sub> in 2000 en ca. 47 Gton CO<sub>2</sub> in 2035 (Pepper *et al.*, 1992). Uitgedrukt als percentage van de verwachte jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie nemen de HFK-emissies dan toe van 2% in 1990 tot 3 à 6% in 2000 en 6 à 10% in 2035 (rekenend met een totale GWP van 0 voor CFK's).

## 4.2 HFK-gebruik in Nederland

Het Nederlandse gebruik van halogeenkoolwaterstoffen is geschat voor de drie scenario's L, K, en A (zie Tabel 4.1). Een verschil met de mondiale scenario's is dat voor Nederland geen rekening is gehouden met een groeiende vraag, maar dat voor de eenvoud het gebruik constant is verondersteld, met uitzondering van de auto-airconditioning in de K-scenario's. Dat wil zeggen dat geen rekening is gehouden met meer hergebruik of een grotere lektheid van koelsystemen. Dat laatste mag bijv. over een aantal jaren in verband met regelgeving wel verwacht worden bij koelsystemen waarin CFK's, HCFK's of HFK's gebruikt worden. De tabellen geven dus het potentiële HFK-gebruik weer, als de te vervangen hoeveelheid CFK's en halonen gelijk zou zijn aan de hoeveelheid die gebruikt werd voordat met CFK-reductie begonnen was. Voor het schatten van het toekomstig gebruik van HFK is uitgegaan van het CFK-gebruik in 1986. Om rekening te houden met de 'eigen' markt voor HCFK's (dat wil zeggen niet voor substitutie van CFK's) is het HCFK-gebruik geschat als de som van het bestaande gebruik in 1990 (CFK-actieprogramma, jaarrapportage 1992) en de hoeveelheid nodig ter vervanging van de in 1990 nog gebruikte CFK's per toepassing (zie Tabel A.3 in Appendix A).

**Tabel 4.4:** Scenario L: Nederlands gebruik van HFK's in 2000-2010 in ton produkt/jaar bij een volledige stop van CFK- en halon-gebruik, uitgaande van de situatie in 1986 en een constante vraag. Scenario's L-1 en L-2 geven het verwachte HFK-gebruik aan als gebruik gemaakt wordt van substituten die op korte (binnen tien jaar) en op langere termijn (na de eeuwwisseling) beschikbaar zijn (zie Tabel A.4).

Toepassing	HFK-125	HFK-134a	HFK-143a	HFK-152a	Totaal
<b>Scenario L-1</b>					
aërosol schuim -open				80	80
-gesloten		301			301
koeling <sup>1</sup>	14	112			126
auto-airco		30		8	38
blusmiddel	171				171
<b>totaal</b>	<b>185</b>	<b>443</b>	<b>0</b>	<b>88</b>	<b>717</b>
<b>Scenario L-2</b>					
aërosol schuim -open	17	7	17	80	121
-gesloten		301			301
koeling <sup>1</sup>	141	172	127		440
auto-airco		60			60
blusmiddel	171				171
<b>totaal</b>	<b>329</b>	<b>540</b>	<b>144</b>	<b>80</b>	<b>1 093</b>

<sup>1</sup> Exclusief auto-airconditioning.

Er is vervolgens aangenomen dat de procentuele substitutie van CFK's en halonen door HCFK/HFK's per toepassing in Nederland gelijk is aan de mondiale. Hierbij is rekening gehouden met toepassing van andere alternatieven (niet-HCFK/HFK) of 'besparingen' zoals genoemd in Tabel 1.2 en in de mate zoals vermeld in Tabel 1.1 resp. in Tabel A.4 (Appendix A). De resultaten

voor scenario's L, K en A gelden voor de periode 2000-2010.

In de L-scenario's worden HCFK's en HFK's ongelimiteerd gebruik (bij een constante vraag naar HKW-toepassingen, ook voor auto-airconditioning). Scenario L is voor twee varianten doorgerekend: in scenario's L-1 en L-2 worden traditionele HKW's vervangen door HCFK/HFK's die naar verwachting beschikbaar zullen zijn op de korte termijn (binnen tien jaar), resp. op langere termijn (na de eeuwwisseling) (zie Tabel 4.4). De tijdstippen van substitutie kunnen zowel door beschikbaarheid van HCFK en HFK's als het tijdstip van uitfasering van CFK's en halonen beïnvloed worden. Scenario K is voor Nederland voor drie varianten doorgerekend. In deze K-scenario's wordt een verbod op HCFK's gesimuleerd, waarbij de HCFK's alle worden vervangen door HFK's (Tabel 4.5). Omdat in werkelijkheid de HFK-substitutie lager kan zijn, kunnen deze scenario's worden beschouwd als een potentieel maximum voor toekomstig HFK-gebruik (wanneer we eventuele nieuwe toepassingen voor HFK buiten beschouwing laten). In scenario K-Midden worden hiervoor HFK's gebruikt met een gemiddelde GWP van 2140. In K-Laag en K-Hoog worden HFK's gebruikt met een lage, respectievelijk hoge GWP (150 resp. 3800). Daarnaast wordt in K-Midden en K-Hoog een matige resp. hoge groei van auto-airconditioning verondersteld. In scenario A wordt slechts HFK-152a gebruikt (hoeveelheid als in L-2) met een GWP van 150, omdat in dit scenario geen HCFK's worden gebruikt en geen HFK's met een relatief hoge GWP.

**Tabel 4.5:** Nederlands gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in ton produkt/jaar in 1986, 1990, en het geschatte verbruik in 2000-2010 in bij een volledige stop van CFK- en halon-gebruik in scenario's L, K, en A, uitgaande van een constante vraag (voor auto-airconditioning wordt in scenario K wel een groei verondersteld).

Jaar	CFK's <sup>1</sup>	HCFK's	HFK-125	HFK-134a	HFK-143a	HFK-152a	Totaal
1986	14 780	0	0	0	0	0	14 780
1990	8 143	3 143	0	0	0	0	11 286
<b>Scenario's L</b>							
L-1 ('2000')	0	6 235	185	443	0	88	6 952
L-2 ('2010')	0	5 992	329	540	144	80	7 085
<b>Scenario's K</b>							
stat. toepassingen							
K-Laag	0	0	329	540	144	6 072	7 085
K-Midden	0	0	1 827	2 038	1 642	1 578	7 085
K-Hoog	0	0	329	540	6 136	80	7 085
groei auto-airco							
K-Laag	0	0	0	0	0	0	0
K-Midden	0	0	0	1 000	0	0	1 000
K-Hoog	0	0	0	5 000	0	0	5 000
<b>Scenario A</b>	0	0	0	0	0	80	80

<sup>1</sup> Inclusief halonen, exclusief methylchloroform en CCl<sub>4</sub>. De range geeft de onzekerheid weer m.b.t. directe en totale GWP-waarde.

### **Scenario L: Nederlands HFK-gebruik bij ongelimiteerd gebruik van HCFK's en HFK's**

Tabel 4.4 geeft een overzicht van het te verwachten HFK-gebruik, als HCFK's en HFK's ongelimiteerd gebruikt worden zoals in scenario L (Londen), uitgaande van een gelijkblijvende vraag naar HKW-toepassingen, ook voor auto-airconditioning. Het geschatte HFK-gebruik bedraagt dan 720-1100 ton/jaar, of 5-7% van het CFK-gebruik in 1986. De belangrijkste toepassingen zijn daarbij koeling en schuim, waar met name HFK-134a, HFK-125 en op de langere termijn ook HFK-143a

gebruikt worden. Het Nederlandse geschatte HFK-gebruik komt overeen met 8-9 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar (Tabel 4.6).

**Tabel 4.6:** Nederlands gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten/jaar (berekend uit Tabel 4.4. en 4.5. m.b.v. GWP's over 100 jaar).

Jaar	CFK's <sup>1</sup>	HCFK's	HFK's	Totaal
1986	0-71.0	0	0	0-71.0
1990	0-34.2	3.5	0	3.5-37.7
<b>Scenario L</b>				
L-1 ('2000')	0	7.0	1.2	8.2
L-2 ('2010')	0	6.6	2.3	9.0
<b>Scenario K</b>				
stat. toepassingen				
K-Laag	0	0	3.2	3.2
K-Midden	0	0	15.1	15.1
K-Hoog	0	0	25.1	25.1
groei auto-airco				
K-Laag	0	0	0.0	0.0
K-Midden	0	0	1.2	1.2
K-Hoog	0	0	6.0	6.0
<b>Scenario A</b>				
	0	0	<0.1	<0.1

<sup>1</sup> Inclusief halonen, exclusief methylchloroform en CCl<sub>4</sub>. De range geeft de onzekerheid weer m.b.t. directe en totale GWP-waarde.

Alle scenario's: totale stop gebruik CFK's en halonen.

Scenario's L: ongelimiteerd gebruik HCFK's en HFK's.

L-1: verwacht gebruik op korte termijn (2000)

L-2: verwacht gebruik op langere termijn (na 2000)

Scenario's K: stop HCFK-gebruik; 100% vervanging door HFK's

K-Laag: HCFK-substitutie door HFK's met lage GWP (150); geen groei HFK-134a in auto-airconditioning.

K-Midden: HCFK-substitutie door HFK's met gemiddelde GWP (2140); toename HFK-134a gebruik in auto-airco bedraagt 1 000 ton/jaar

K-Hoog: HCFK-substitutie door HCFK's met hoge GWP (3800); toename HFK-134a gebruik in auto-airco bedraagt 5 000 ton/jaar.

Scenario A: geen gebruik HCFK's en geen gebruik HFK's met een GWP > 20% van de GWP van CFK-11.

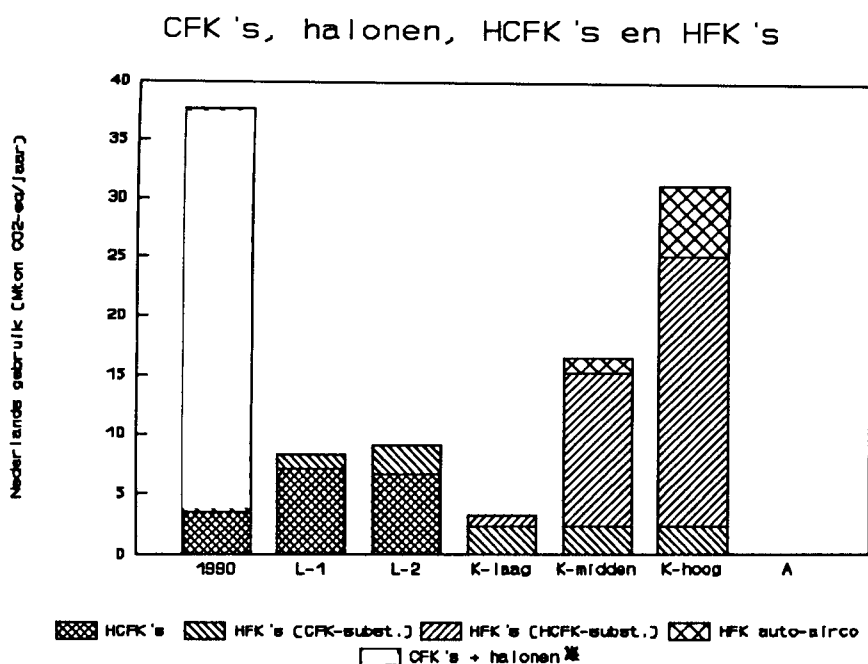
### **Scenario's K : De potentiële gevolgen van een productiestop voor HCFK's**

In alle scenario's K (Kopenhagen) bedraagt het HFK-gebruik inclusief substitutie van HCFK-toepassingen, inclusief auto-airconditioning, ca. 7100 ton/jaar. Het gebruik uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten is afhankelijk van de GWP's van de gebruikte HFK's. In K-midden verdubbelt het gebruik in CO<sub>2</sub>-equivalenten bijna vergeleken met scenario L, tot 16,3 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar (Tabel 4.6.). In de scenario's K-Laag en K-Hoog is het aantal CO<sub>2</sub>-equivalenten resp. 3,2 en 31,1 Mton per jaar.

Een verschil tussen het huidige wereldwijde en Nederlandse gebruik van halogeenkoolwaterstoffen is dat in Nederland het HFK-gebruik in de auto-airconditioning relatief beperkt is (zie Tabel A.1 en A.3 in Appendix A). Het aantal auto-airconditioners in Nederland neemt echter relatief snel toe. Dit kan een belangrijke toename betekenen van het HFK-gebruik. Een jaarlijks gebruik van 5000 ton HFK-134a in auto-airconditioning zoals verondersteld in scenario K-Hoog, staat gelijk met 6 miljard CO<sub>2</sub>-equivalenten (Figuur 4.2). Dit gebruik zou nodig zijn voor ongeveer 4,5 miljoen auto's, of zo'n 80% van het aantal personenauto's in het jaar 2000. Hergebruik van de koelvloeistof in auto-airconditioning is met de huidige systemen weinig effectief, omdat de koelvloeistof tijdens

gebruik eenvoudig weglekt. In scenario K-Midden is een marktpenetratie aangenomen corresponderend met zo'n 20% van het aantal auto's in 2000 (of 1 000 ton HFK-134a per jaar). In scenario K-Laag is geen extra groei voor de auto-airconditioning aangenomen. Zoals eerder opgemerkt zal het Nederlandse beeld ook van het mondiale verloop afwijken door specifieke maatregelen ten aanzien van hergebruik en verbeterde lekdichtheid van koelsystemen. Zo valt bijv. auto-airconditioning ook onder de wettelijke regeling die eisen stelt aan de lekdichtheid van koelsystemen.

**Fig. 4.2:** Nederlands gebruik van halogeenkoolwaterstoffen in Mton CO<sub>2</sub> in 1990, 2000 en in 2000-2010 in de scenario's L-1, L-2, K-Laag, K-Midden, K-Hoog en A (constante vraag, met uitzondering van auto-airconditioning in K-scenario's) (exclusief methylchloroform en CCl<sub>4</sub>). Voor CFK's en halonen wordt, als indicatie voor de onzekerheidsrange m.b.t. de totale GWP-waarde, ook de hoeveelheid getoond berekend met de directe GWP als maximumwaarde.



\* Maximum bijdrage met directe GWP als bovenwaarde.

#### **Scenario A: Gebruik van HCFK's en HFK's op basis van minimale ODP en GWP**

In scenario A (Additioneel beleid) resteert - zoals in het mondiale voorbeeld - slechts HFK-152a als vervanger met een GWP van 150. Het Nederlands gebruik bedraagt dan nog slechts 0.01 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar (Tabel 4.6). Hier is verondersteld dat alle overig gebruik door ODP-0 en GWP-0 alternatieven is vervangen.

In Figuur 4.2 worden de verschillende scenario's vergeleken. Deze scenario's zijn alle gebaseerd op literatuurstudie en gesprekken met deskundigen m.b.t. de mondiale situatie en hebben betrekking op het gebruik na uitfasering van de traditionele HKW's en na een zekere introduc-

tieperiode van alternatieven, waarvoor de aannames hierboven beschreven zijn. In de L-scenario's verdubbelt het verbruik in CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van 1990 (uitgaande van GWP=0 voor CFK's en halonen). In de K-varianten Laag, Midden en Hoog wordt het verwachte gebruik in CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van resp. ongeveer gelijk, 4½ maal en bijna 9 maal zo groot. Op dit moment is de trend dat de meeste vervanging door HFK-134a plaatsvindt, dat een GWP heeft van 1200 (scenario L-1). Binnen de HFK-groep is dit produkt kennelijk thans technisch-economisch het meest geschikt. Wanneer deze trend doorzet en dit ook de gemiddelde GWP-waarde van de HFK-toepassingen zou worden, in plaats van de veronderstelde waarde van 2140 in scenario K-Midden, zou dit na een HCFK-stop een emissiebeeld in termen van CO<sub>2</sub>-equivalenten geven, dat midden tussen het K-Laag en K-Midden scenario zit. Merk op dat in dit geval het gebruiksniveau vergelijkbaar is aan dat van de L-scenario's. Benadrukt wordt echter dat dit mogelijk een overgangssituatie betreft, omdat de HFK's met de hoogste GWP's (125 en 143a) doorgaans als substituten op iets langere termijn worden beschouwd, zoals Tabel A.4 en scenario L-2 laten zien.

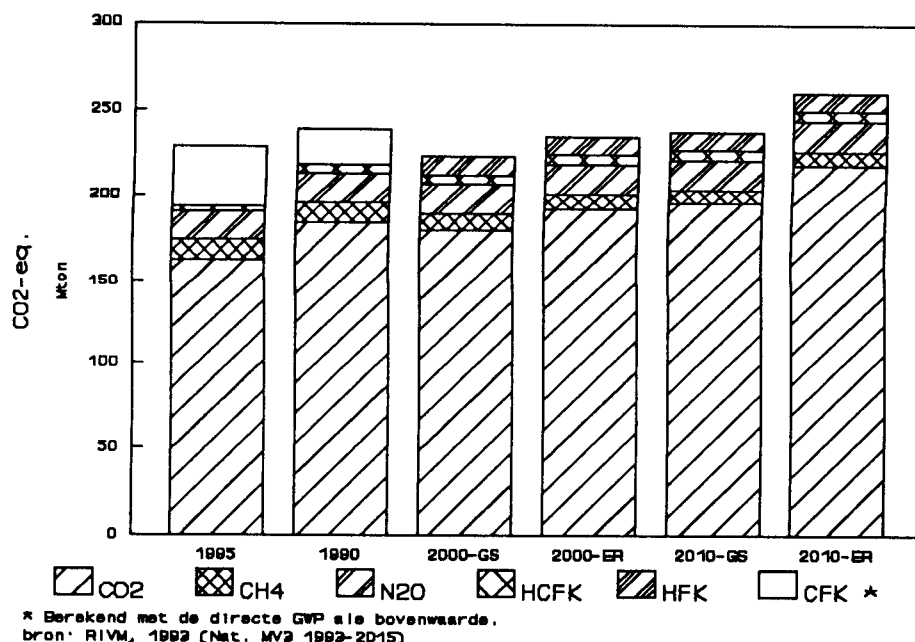
Uit deze scenario's kan geconcludeerd worden, dat als gevolg van de afbouw van het CFK-gebruik de emissie van broeikasgassen in deze categorie van toepassingen mogelijk gelijk kan blijven, maar waarschijnlijk fors zal stijgen: maximaal tot 9x het niveau van 1990, maar waarschijnlijk tot 2 à 4 maal het 1990-niveau (2x bij L-1, L-2 en bij het gemiddelde van K-Laag en K-Midden; 4x bij K-Midden). Met restricties voor HCFK-gebruik kan de emissie van broeikasgassen van deze broncategorie gelijk blijven, maar waarschijnlijker lijkt het dat deze resulteren in een toename ten opzichte van de situatie waarin HCFK's en HFK's beide ongelimiteerd gebruikt worden (scenario L-1 en L-2); een verdubbeling is daarbij niet uitgesloten.

### 4.3 Bijdrage aan totale Nederlandse broeikasgasemissies

De bijdrage van emissies van halogeenkoolwaterstoffen aan de totale Nederlandse emissies van broeikasgassen is voor het eerst besproken in Van den Born *et al.* (1991). Daarin werd reeds gewezen op de onzekerheid in de reductie van CO<sub>2</sub>-equivalente emissies als gevolg van het CFK-reductiebeleid. Ook in het IPCC 1992 Supplement wordt hier nader op ingegaan (Houghton *et al.*, 1992).

De in dit rapport genoemde projecties van het Nederlandse gebruik van halogeenkoolwaterstoffen zoals weergegeven in Figuur 4.2, integreren we in de emissiescenario's voor andere directe broeikasgassen, die voor de 3e Nationale Milieuverkenning zijn gebruikt (RIVM, 1993). Dit betreft twee basis-scenario's GS (Global Shift) en ER (European Renaissance), waarbij de laatste gekenmerkt wordt door een wat grotere groei (bijv. met BNP met 31% in plaats van 16% in 2000 ten opzichte van 1985). In Figuur 4.3 wordt het emissie-scenario voor de directe broeikasgassen getoond, zoals die in deze milieuverkenning vermeld is (bijlage A), hier uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Voor HKW-gebruik zijn hiervoor de scenario's L-1 resp. L-2 gebruikt (met constant gebruik voor auto-airconditioning, zie Tabel 4.4).

**Fig. 4.3:** Emissie van broeikasgassen in Nederland volgens de 3e Nationale Milieuverkenning 1993-2015 voor de directe broeikasgassen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O (scenario's GS en ER) en HKW's (scenario's L-1 resp. L-2) in Mton CO<sub>2</sub> (GWP-100) (CFK's incl. halonen, methylchloroform en CCl<sub>4</sub>)<sup>1</sup>.



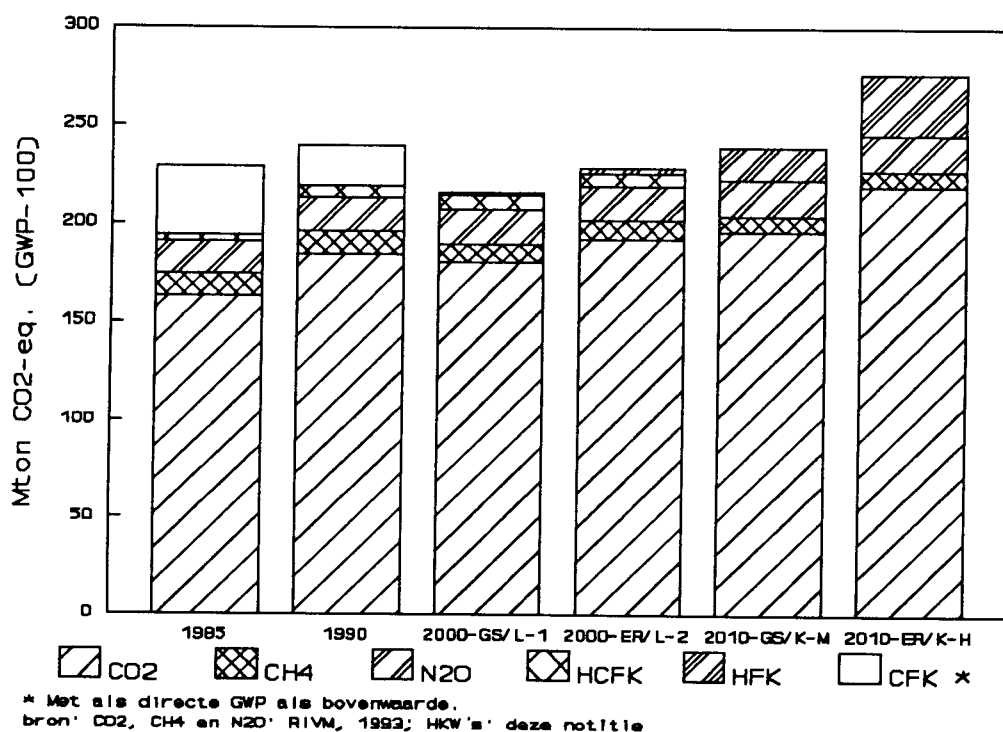
<sup>1</sup> In de 3e Nationale Milieuverkenning is de directe broeikaswerking van CFK's en HCFK's niet meegenomen, daar deze voor een belangrijk maar onbekend deel wordt gecompenseerd door een indirect negatief effect als gevolg van de aantasting van de ozonlaag. HFK's hebben dit effect niet.

Hierbij was geen rekening gehouden met uitfasering van HFCK's voor 2010, maar is het gebruik van HCFK's constant verondersteld vanaf 1990 tot 2010 (3 500 ton), terwijl het HFK-gebruik constant is verondersteld vanaf 1991 (5 ton) (RIVM, 1993).

Bovenop de projecties voor CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O is voor het GS- en ER-scenario ook een HKW-variant van de in de vorige paragraaf beschreven scenario's gedefinieerd, die het meest aansluit bij het karakter van de genoemde basis-scenario's. Voor 2000 is uitgegaan van de L-1 en L-2 scenario's: het lagere L-1 scenario bij GS-scenario en het wat hogere L-2 scenario bij het ER-scenario. Dit sluit ook aan bij de veronderstellingen bij de L-scenario's: L-1 op kortere termijn, L-2 op langere termijn, resp. bij een verdere economisch-technische ontwikkeling. Voor 2010 is bij het GS-scenario het K-Midden-scenario gevoegd en bij het ER-scenario het K-Hoog-scenario.

Het resultaat hiervan wordt getoond in Figuur 4.4. Hier is te zien dat, waar reductie van CFK-gebruik door GWP-0 alternatieven - naast de overige veronderstellingen met betrekking tot andere directe broeikasgassen - de totale emissies van broeikasgassen in 2000 en 2010 had kunnen stabiliseren ten opzichte van 1990 (met uitzondering van het ER-scenario na 2000), er in de meeste scenario's sprake is van een toename. De emissie van halogeenkoolwaterstoffen, hoewel deze in 1990 een beperkt aandeel heeft van ca. 3% in de totale Nederlandse emissie (of maximaal

**Fig. 4.4:** Emissie van broeikasgassen in Nederland voor verschillende HCFK/HFK-scenario's (scenario's L-1 en L-2 voor 2000 en K-Midden en K-Hoog voor 2010) in Mton CO<sub>2</sub> voor directe broeikasgassen en GWP-100) en met emissies van CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O volgens de 3e Nationale Milieuverkenning 1993-2015 (scenario's GS en ER) (CFK's incl. halonen, methylchloroform en CCl<sub>4</sub>).





ca. 11% wanneer men met alleen de directe GWP van CFK's en halonen rekent), heeft dus een duidelijke invloed heeft op het totale emissiepatroon. Het *aandeel* van HKW's in de totale emissie van directe broeikasgassen neemt in de scenario's toe van ca. 3% in 1990 tot 7 à 11% in 2010, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Als gevolg van de emissie van HKW's kan de *totale* Nederlandse directe broeikasgasemissie stijgen met maximaal ca. 9% in 2010 ten opzichte van 1990, uitgaande van scenario ER/K-Hoog. In de extreme variant van scenario ER met K-Hoog zou deze stijging zelfs ca. 26% bedragen, maar deze HKW-variant lijkt veel minder waarschijnlijk. Uit Figuur 4.4 kan tevens geconcludeerd worden dat, wanneer alleen vervangers met GWP-0 of bijna-nul worden gebruikt in de CFK-sector (scenario A in Figuur 4.2), het Nederlandse beleid inzake reductie van nationale broeikasgasemissies gemakkelijker gerealiseerd kan worden, dan zonder specifiek HKW-beleid mogelijk is.

## 5. Emissiebronnen en reductie-mogelijkheden

### **Bronnen**

De emissiebronnen in het geval van CFK-toepassingen zijn algemeen bekend: bij aërosolen, oplosmiddelen, reiniging, zachte schuimen en blusmiddelen komt de stof bij gebruik direct (of binnen een jaar) als emissie vrij, wanneer er geen terugwinning plaatsvindt of kan plaatsvinden. Bij gesloten schuimen en stationaire koelsystemen komen de stoffen als emissies vrij gedurende de jaren van gebruik, met uitzondering van koelsystemen die lek dicht zijn. Een deel van de stationaire koelsystemen dat grote lekverliezen heeft, en de auto-airconditioners, dienen thans bijna jaarlijks volledig hervuld te worden. Volgens wettelijke voorschriften mag in de toekomst de lek dichtheid niet slechter zijn dan 1% per jaar. Bij lekdichte koelsystemen komen de stoffen als emissie vrij na het afdanken, tenzij ze afgetapt worden. Verder komen ook emissies vrij bij onderhoud van de systemen, wanneer de stof bij het aftappen niet wordt opgevangen maar 'afgeblazen'. Naast de emissie bij of tijdens het gebruik vinden ook emissies plaats bij de productie van een aantal halogeenkoolwaterstoffen. Voor meer informatie zie bijv. Van den Born *et al.* (1991) en Brackemann en Hanhoff-Stemping (1989).

Du Pont heeft aangekondigd in 1995 in Nederland met de productie van CFK-113 te stoppen; vanaf dat jaar zal dan ook geen HFK-productie meer (kunnen) plaatsvinden, want daarvoor is CFK-113 als grondstof nodig (Kwisthout, 1993).

### **Hergebruik**

Afhankelijk van de toepassing komt het gebruikte HCFK/HFK dus direct bij aanvang van het gebruik of pas later vrij. In Tabel 1.1 (hoofdstuk 1) wordt tevens vermeld wat het geschatte potentieel voor hergebruik is. Ketenbeheer, dat wil zeggen hergebruik, is slechts goed mogelijk bij gebruik als oplos- of reinigingsmiddel (80%) en in het geval van blusapparatuur (50%); en gedeeltelijk bij koelsystemen (15%). Hergebruik bij koelsystemen kan sterk vergroot worden door een grotere lek dichtheid van het koelcircuit te realiseren en door bij afdanking de halogeenkoolwaterstoffen op te vangen.

Het hergebruik komt in Nederland thans nog onvoldoende van de grond. In het geval van commerciële koeltechniek ondermeer omdat het gebruik van nieuwe CFK's goedkoper is dan recycled CFK. Wettelijke beëindiging per 1995 van gebruik van nieuw CFK zal het hergebruik stimuleren (naast gebruik van alternatieven) (Amstel *et al.*, 1994). De voorbereidingen voor het totstandkomen van een verbod op het gebruik van nieuw CFK zijn reeds in gang gezet (VROM, 1992); effectuering zal mede afhangen van een advies hierover van de CFK-commissie. Met name in de commerciële sector wordt veel koelapparatuur gebruikt, waarvan de verliezen teruggebracht zullen worden tot enkele procenten van de inhoud per jaar. Voor huishoudelijke koelapparatuur noemt het CFK-actieprogramma een te onderzoeken inzamel/aftap-percentage van ca. 90% (VROM, 1990). Ofschoon hiervoor geen concrete doelstelling geldt, blijkt het aftap-percentage in 1992 gemiddeld ca. 50% te bedragen (CFK-commissie, 1993). Gewerkt wordt aan een implementatieplan om het aftap-percentage flink te verhogen. Hoeveel halogeenkoolwaterstoffen direct worden geregenereerd door eindverbruikers in de oplos- en reinigingssector en in de koeltechniek is niet bekend (CFK-commissie, 1993).

Een belangrijke factor voor hergebruik in de koelsector is het gebruik van blends, dat in de praktijk

vaak gebruikt wordt bij toepassing van HCFK's en HFK's. Een extra zorgpunt is dat de blends van koelmiddelen per producent verschillend zijn (klantenbinding?!). Een voorbeeld is een HCFK/HFK-mengsel met een ODP minder dan 0,05 of het gebruik van HFK met andere toevoegingen. Technisch-economisch en logistiek wordt hergebruik door het gebruik van mengsels erg lastig of zelfs praktisch onmogelijk. De CFK-commissie heeft dit ook gesignaleerd in haar recente jaarrapportage over 1992. Als hergebruik niet mogelijk is, is vernietiging bij afdanking de enige adequate oplossing ter voorkoming van emissies.

In een recente studie wordt er overigens op gewezen dat maximaal hergebruik in de USA de groei van CO<sub>2</sub>-emissies van andere bronnen slechts zo'n 10 jaar kan compenseren, maar dat daarna deze compensatie snel tot terugloopt (Fernau, 1993).

### ***Alternatieve stoffen en processen***

Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven lijkt voor de meeste toepassingen van halogeenkoolwaterstoffen een vervanging door stoffen met lage ODP- en GWP-waarden (of zelfs 0-waarden) mogelijk. In hoeverre deze alternatieven thans reeds technisch-economisch toegepast worden of toepasbaar zijn voor alle traditionele HKW-toepassingen, valt op basis van de beschikbare literatuur niet met zekerheid te zeggen. Wel worden enkele zgn. essentiële toepassingen genoemd, zoals bepaalde medische toepassingen van aërosols, en mobiele blusapparatuur bijv. in vliegtuigen, waarvoor nog geen goed alternatief voor handen lijkt.

### ***Kosten***

In het algemeen zijn de inschattingen voor de toepassing van verschillende vervangers zoals genoemd in Tabel i.1 en Tabel A.4 mede gebaseerd op kostenschattingen voor het gebruik van deze stoffen. Kostenoverwegingen leiden ertoe, dat in de praktijk slechts een deel van de CFK's zal worden vervangen door HCFK's of HFK's, daar gebruik van deze stoffen soms duurder is dan andere alternatieven. Daarbij kan niet alleen naar de kostprijs van de stoffen gekeken worden, maar dienen ook de kosten voor aanpassing van de apparatuur in beschouwing te worden genomen. Hierover is in de literatuur weinig informatie gevonden. Overigens zijn de hogere kosten van niet-CFK's ook een aansporing voor hergebruik.

Een soort kosten, die in de overgangsfase van belang zijn voor gebruikers, zijn de kosten verbonden aan de aanpassing van bestaande apparatuur, die gemaakt worden wanneer het reductieschema een snellere afbouw van het CFK/HCFK-gebruik voorschrijft, dan volgens het normale vervangingstempo van bestaande apparatuur gerealiseerd zou worden. Hierbij vindt door de gebruiker een afweging plaats tussen de kosten voor aanpassing of van vervroegde vervanging van apparatuur.

## **6. Samenvatting en conclusies m.b.t. mogelijk klimaatbeleid inzake HCFK's en HFK's**

### **6.1. Algemeen**

De laatste amendering in Kopenhagen van het Montreal protocol met een uitfaseringsprogramma voor CFK's en HCFK's, zal leiden tot gedeeltelijke substitutie door HCFK's en HFK's. Wereldwijd zal het gebruik van deze stofgroepen daarom fors stijgen evenals de emissies van deze stoffen uitgedrukt in totale CO<sub>2</sub>-equivalent-termen (zie scenario K-Midden in Fig. 4.2). Hetzelfde geldt waarschijnlijk voor Nederland. Daar de GWP-waarde per stof nogal uiteen loopt, is de mate van stijging sterk afhankelijk van de marktaandelen die de specifieke HCFK's en HFK's zullen krijgen in het substitutieproces. Voor Nederland is een stijging met een factor 2 tot 4 in de periode 1990-2000/2010 waarschijnlijk, gerekend met totale GWP-waarden voor 100 jaar. De onzekerheid welk deel van het huidige gebruik van halogeenkoolwaterstoffen door HFK's vervangen zal worden is echter groot. Beperkingen voor HCFK's leiden wellicht tot een extra toename van de broeikasgasemissies, wanneer HCFK's vervangen worden door HFK's.

### **6.2. Stoffen, toepassingen, trends, alternatieven**

#### **Stoffen**

Wanneer de stofgroepen CFK, HFCK en HFK vergeleken worden qua GWP, dan blijken de sommige HFK's een hogere GWP te hebben dan verschillende HCFK's. Op dit moment worden als alternatief voor HKW's met name de volgende HFK's in de literatuur genoemd: HFK-23, 125, 134a, 143a en 152a met GWP's variërend van 150 voor 152a tot 3800 voor 143a. [Het thans het eerst toegepaste HFK no. 134a heeft een GWP van 1200.] De GWP's van HCFK's bevinden zich in de range van 90 tot 1800. [Zie Tabel 2.1.]

#### **Toepassingen**

Met name in de koelsector en in de brandblusmiddelensector worden HFK's als alternatief gezien. Mondiaal lijken de belangrijkste toepassingen voor HFK's stationaire koeling en de auto-airconditioning, samen goed voor ruim 80% van het toekomstige wereldwijde HFK-gebruik. HFK-134a is thans de meest gebruikte van de HFK's; deze stof zal waarschijnlijk vooral toegepast worden in de koelsector. HFK's worden thans specifiek beschouwd als alternatief voor de traditionele HKW's; de ontwikkeling van nieuwe toepassingen voor deze stoffen is echter niet uitgesloten.

#### **Trends**

Over de fysieke groei van de vraag in de verschillende toepassingsgebieden is niet veel bekend. In Nederland wordt het gebruik van airconditioning in auto's en in huizen/kantoren gesignaleerd als een duidelijke groeimarkt. Over een aantal jaren zullen koelinstallaties in Nederland die HKW's bevatten in hoge mate lek dicht zijn; dit zal de jaarlijkse vraag naar nieuw koelmiddel doen afnemen. Tevens zal uit afgedankte installaties het koelmiddel afgetapt en hergebruikt worden. In de koelsector wordt ook veel met mengsels gewerkt, bijvoorbeeld van verschillende HCFK's en HFK's (zgn. 'blends'), die vaak per producent verschillend zijn. Hierdoor wordt hergebruik erg lastig of zelfs praktisch onmogelijk. In Nederland worden bij nieuwe apparatuur voornamelijk HFK-blends gebruikt, terwijl bij vervanging in bestaande apparatuur vooral blends van HFK en HCFK

worden toegepast.

### **Alternatieven**

In het algemeen kan gesteld worden dat voor verreweg de meeste HKW-toepassingen ODP-0 en laag- of 0-GWP alternatieven bekend zijn (of als stof of als alternatieve methode) (Tabel i.1). Het potentieel voor deze andere alternatieven dan HFK/HCFK lijkt groot (in alle categorieën mogelijk tot 100%). Niet duidelijk is of alle in de literatuur genoemde toepassingen ook (reeds) technisch-economisch en veilig toepasbaar zijn. Met name wat betreft grote stationaire koel- en vriesinstallaties en mobiele airconditioners bestaat onduidelijkheid in hoeverre 0-ODP/GWP alternatieven voor alle toepassingsgebieden beschikbaar zijn. Kostenoverwegingen leiden ertoe, dat in de praktijk slechts een deel van de CFK's zal worden vervangen door HCFK's of HFK's, daar gebruik van deze stoffen soms duurder is dan andere alternatieven. Daarbij moet behalve de kostprijs van de andere stof ook de kosten voor aanpassing van de apparatuur in de vergelijking betrokken worden. Hierover is in de literatuur weinig informatie gevonden. [Overigens zijn de hogere kosten van niet-CFK's ook een aansporing voor hergebruik ervan.]

### **6.3. Scenario's en gevolgen: mondiaal**

Uitgaande van de veronderstelling dat de gemiddelde GWP van gebruikte HFK's hoger zal zijn dan die van HCFK's en rekening houdend met vervanging door niet-HCFK/HCK's zal de emissie in termen van CO<sub>2</sub>-equivalenten in 2035 kunnen groeien tot ca. 3 tot 5 maal het niveau van 1990 (gerekend met een netto GWP van CFK's van 0) (zie Figuur 4.1). Hierbij zijn eventuele nieuwe toepassingen van HFK's buiten beschouwing gelaten. De vervanging van alle HCFK's door HFK's, zal het gebruik van halogeenkoolwaterstoffen uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten met bijna 50% doen toenemen ten opzichte van een situatie waarin beide gebruikt worden als alternatief voor CFK's.

### **6.4. Scenario's en gevolgen: Nederland**

Voor Nederland is in de scenario's uitgegaan van een constante vraag naar HKW-toepassingen, met uitzondering van de sector auto-airconditioning in sommige scenario's. Ook het Nederlands gebruik uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten is afhankelijk van de gebruikte mix van HFK's. Uit de scenario's kan geconcludeerd worden, dat als gevolg van de afbouw van het CFK-gebruik de emissie van broeikasgassen in deze categorie toepassingen mogelijk gelijk kan blijven, maar waarschijnlijk fors zal stijgen: maximaal tot 9x het niveau van 1990, maar waarschijnlijk tot 2 à 4 maal het 1990-niveau (Figuur 4.1). Met restricties voor HCFK-gebruik kan de emissie van broeikasgassen van deze broncategorie gelijk blijven, maar waarschijnlijker lijkt het dat deze resulteren in een toename ten opzichte van de situatie waarin HCFK's en HFK's beide ongelimiteerd gebruikt worden; een verdubbeling is daarbij niet uitgesloten.

Het *aandeel* van HKW's in de totale emissie van directe broeikasgassen neemt daarbij toe van ca. 3% in 1990 tot 7 à 11% in 2010 (uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten). Waar reductie van CFK-gebruik door GWP-0 alternatieven samen met de veronderstellingen met betrekking tot andere directe broeikasgassen de totale emissies van broeikasgassen in 2000 en 2010 had kunnen stabiliseren ten opzichte van 1990 (met uitzondering van het ER-scenario na 2000), is er in de meeste scenario's sprake van een toename (Figuur 4.3). Als gevolg van de emissie van HKW's kan de *totale* Nederlandse directe broeikasgasemissie stijgen met maximaal ca. 9% in 2010 ten opzichte van 1990, uitgaande van scenario ER/Kopenhagen-Hoog (Figuur 4.4). In de extreme

variant van ER met Kopenhagen-Hoog zou deze stijging zelfs ca. 26% bedragen, maar deze HKW-variant is veel minder waarschijnlijk. Wanneer echter alleen GWP-0 of laag-GWP vervangers worden gebruikt in de CFK-sector zal Nederlands beleid inzake reductie van nationale broeikasgasemissies gemakkelijker gerealiseerd kunnen worden, dan zonder specifiek HCFK/HFK-beleid mogelijk is.

## **6.5. Conclusies voor additioneel beleid**

### **Mogelijkheden en effecten**

Een conclusie is dat, gelet op de beschikbaarheid van voldoende alternatieven, additioneel beleid voor deze broncategorie mogelijk is. Zonder additioneel HKW-beleid in het licht van het klimaatbeleid zullen door de gebruikers slechts de kosten en de ODP-waarde als leidraad worden genomen bij de keuze van specifieke HCFK's, HFK's en andere alternatieven als vervanger voor CFK's en halonen. Het aandeel van HKW's in de emissies van directe broeikasgassen van 3% in 1990 zal daarbij dan stijgen tot mogelijk zo'n 9% in 2010. Met aanvullend beleid vanuit het perspectief van klimaatbeleid is derhalve in 2010 een reductie mogelijk van de emissie van directe broeikasgassen van zo'n 9% ten opzichte van de autonome ontwikkeling. Een strengere reductie van HCFK's dan in Kopenhagen is overeengekomen - zoals bijv. thans door de Europese Commissie overwogen wordt - zal waarschijnlijk leiden tot een snellere stijging van de CO<sub>2</sub>-equivalente emissies, en kan de effectiviteit van additioneel HKW-beleid vergroten. Dit als gevolg van de grotere druk op gebruikers om versneld - en a-select voor wat betreft GWP-waarde - niet-HCFK's, waaronder ook HFK's, te gaan gebruiken.

### **Stofgericht beleid**

Omdat de (directe) GWP's zowel voor HCFK's als voor HFK's afhankelijk zijn van de specifieke stof, is vanuit klimaatoptiek een naar stof - in plaats van naar stofgroep - gedifferentieerd additioneel beleid het meest effectief. Daarbij zouden ook de FK's, die een grote (directe) GWP hebben van meer dan 3 000 en waarvan het gebruik als alternatief ook overwogen wordt, meegenomen moeten worden.

### **Beperkingen**

Tenslotte noemen we hier nog de belangrijkste beperkingen voor wat betreft de kennis en mogelijkheden voor additioneel beleid:

- \* **Technisch-economische en veilige beschikbaarheid:** Uit de beschikbare literatuur is niet duidelijk geworden, in hoeverre voor *alle* toepassingen van HKW's nu reeds technisch-economisch beschikbare en veilige alternatieven bestaan met een GWP van 0 (of zeer laag). Veel lijkt echter mogelijk, maar de inzichten met betrekking tot de na de uitfasering verwachte mix van alternatieven en de ontwikkelingen inzake de marktpenetratie van toepassingen met alternatieven voor de traditionele HKW's veranderen snel. Voor de onderbouwing van de ruimte voor toekomstig beleid is verdere studie nodig om de technisch-economische status van alternatieven anno 1993 vast te stellen.
- \* **Kosten:** Op basis van de beschikbare informatie is het niet mogelijk een kwantitatief beeld te schetsen van de kosten van eventueel additioneel beleid.

- \* **Onzekerheid GWP's:** Voor een geïntegreerd broeikasgasbeleid is ook aandacht gewenst voor de onzekerheid met betrekking tot directe en totale GWP-waarde voor de verschillende stoffen.
- \* **Hergebruik:** Hergebruik is slechts in beperkte mate mogelijk, afhankelijk van de toepassing. Echter in de sectoren waar dit wel kan, bijv. door het lekdicht maken van apparatuur en aftappen bij afdanking, kan hiermee op korte termijn een aanmerkelijke reductie van de emissies bereikt worden.

## Referenties

- Amstel, R.A. van (ed.), Albers, R.A.W., Kroeze, C., Matthijsen, A.J.C.M., Olivier, J.G.J. en Spakman, J., 1994:** Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990, 1991, 1992 and projections for 1990-2010. RIVM, Bilthoven. Report no. 773 001 003.
- Brackemann, H. en Hanhoff-Stemping, I. (Eds.), 1989:** Responsibility means doing without - How to rescue the ozone layer. Umweltbundesamt, Berlin.
- CFK-commissie, 1993:** CFK Aktieprogramma. Jaarrapportage 1992.
- Clerbaux, C., R. Colin, P.C. Simon en C. Granier, 1993:** Infrared Cross Sections and Global Warming Potentials of 10 Alternative Hydrohalocarbons, *J. Geophys. Res.*, **98**, 10491-10497.
- Cohen, S. and Pickaver, A. (eds.), 1992:** Climbing out of the ozone hole. A preliminary survey of alternatives to ozone-depleting chemicals. Greenpeace International, October, 1992.
- Deutscher Bundestag, 1991:** Protecting the earth: a status report with recommendations for a new energy policy. Third report. Vol. 1. German Bundestag, Bonn. ISBN 30924521-71-9.
- Dorrestein, E., Karci, M., Van der Togt, E., Van der Vaart, R., Veefkind, V., Velzeboer, J., Vernooij, R. en Warringa, P., 1991:** Auto-airconditioning... Probleemproduct? CFK 12 in auto-airconditioningsystemen. RUU, werkgroep Chemie en Samenleving. Studentenverslag, Februari 1991.
- EG, 1993:** Persbericht d.d. 10 juni 1993.
- Fernau, M.E., 1993:** An estimate of the recoverable chlorofluorocarbons available to offset future carbon dioxide emissions. *J. Air Waste Managem.*, **43**, 366-340.
- Houghton, J.T., B.A. Callander en S.K. Varney (eds.), 1992:** Climate Change 1992. The supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.
- IPCC, 1994:** Radiative forcing of climate change. The 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC. Summary for policymakers. WMO/UNEP.
- Ko, M.K.W., Sze, N.D. en Molnar, G., 1993:** Global warming from chlorofluorocarbons and their alternatives: time scales of chemistry and climate. *Atm. Env.* **27A:4**, 581-587.
- Kroeze, 1994:** Potential effect of HFC policy on global greenhouse gas emissions in 2035. Rapport nr. 773 001 002. RIVM, Bilthoven, september 1994.
- Kroeze, C. and Reijnders, L., 1992:** Halocarbons and global warming. III. *Sc. Tot. Env.* **111**, 291-314
- Krol, M.S. en H.J. van der Woerd, 1993:** Atmospheric Composition Calculations for Evaluation of Climate Scenarios, *Water Air Soil Pol.*, submitted.
- Kwisthout, B.H. (VROM/DGM), 1993:** Persoonlijke communicatie.
- Olivier, J.G.J., Kroeze, C., Matthijsen, A.C.J.M. en H.J. van der Woerd, 1994:** Scenarios for global and dutch use of hydrofluorocarbons and their consequences for global warming. In: Van Ham, J. *et al.* (eds.). *Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases. Why and how to control?*, Proceedings of an International Symposium, Maastricht (NL), 13-15 December 1993, pp. 533-542. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. ISBN 0-7923-3043-9.
- Pepper, W., Leggett, J., Swart, R., Wasson, J., Edmonds, J. and Mintzer, I., 1992:** Emission scenarios for the IPCC; an update. Assumptions, methodology, and results. Prepared for IPCC Working Group 1. May 1992.
- Ravishankara, A.R., S. Solomon, A.A. Turnipseed, R.F. Warren, 1993:** Atmospheric Livedetimes of Long-lived Halogenated Species, *Science*, **259**, 194-199.
- RIVM, 1993:** Nationale milieuverkenning 3: 1993-2015. RIVM, Bilthoven.
- Srinivasan, K., 1992:** *Env. Cons.* **19:4**, 339-342.
- UNEP, 1987:** The Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. Final act, Na.87-6106.
- UNEP, 1991a:** Montreal Protocol 1991 Assessment. Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee. December 1991. Report no. RWR-570-LK-91423-al.
- UNEP, 1991b:** Montreal Protocol 1991 Assessment. Report of the Technology and Economic Assessment Panel. December 1991. ISBN 92-807-1314-0.



- UNEP, 1991c:** Montreal Protocol 1991 Assessment. Report of the Halons Technical Options Committee. December 1991. ISBN 92-807-1314-0.
- UNEP, 1991d:** Handbook for the Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. Second edition. Ozone secretariat, Nairobi, Kenya.
- UNEP, 1992:** Report of the fourth meeting of the parties to the Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. Na.92-6155. UNEP/OzL.Pro.4/15.
- Van den Born, G.J., A.F. Bouwman, J.G.J. Olivier en R.J. Swart, 1991:** The emission of greenhouse gases in the Netherlands. Rapport no. 222 901 003. RIVM, Bilthoven, Juli 1992.
- VROM, 1990,** CFK-actieprogramma. VROM, Den Haag.
- VROM, 1992:**, Industriële emissies in Nederland. Vierde inventarisatieronde. Basisjaar 1988. Supplement. *Publikatiereeks emissieregistratie*, Nr. 5A, oktober 1992. VROM, Den Haag.
- WMO, 1992:** Scientific Assessment of Stratospheric Ozone: 1989. WMO, Global Ozone research and monitoring project. Report no. 20
- Ybema, J.R., 1992:** Effecten van isolatiematerialen op broeikasgasemissies. ECN, Petten, Juni 1992. Rapport no. ECN-C-92-025.

## APPENDIX A: GEBRUIK VAN HKW'S EN POTENTIËLE TOEPASSINGEN VAN H(C)FK'S.

**Tabel A.1:** Mondiaal gebruik per toepassing (kton produkt/jaar) van halogeenkoolwaterstoffen in 1990 (exclusief MCF en CCl<sub>4</sub>).

Toepassing	CFK-11	CFK-12	CFK-113	CFK-114	CFK-115	halon-1211	halon-1301	HCFK-22 <sup>2</sup>	Totaal
Aërosol	106	141							247
Schuim (open)	67	23		7.5					97.5
Schuim (gesloten)	126	36	5.1	7.5					174.6
Oplosmiddel			167						167
Koeling <sup>1</sup>	28	91		0.4	23			183	325.4
Auto-airco		130							130
Brandbestrijding						14	10		24
Overig	24	29						61	114
<b>Totaal</b>	<b>351</b>	<b>450</b>	<b>172.1</b>	<b>15.4</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>244</b>	<b>1 279.5</b>

<sup>1</sup> Exclusief auto-airconditioning.

<sup>2</sup> Exclusief 60 kton HCFK-22 gebruikt voor vervanging van CFK's en halonen.

bron: Kroeze en Reijnders, 1992.

**Tabel A.2:** Mondiaal gebruik (kton produkt/jaar) van halogeenkoolwaterstoffen in scenario's L, K-Midden, en A.

Jaar	CFK's <sup>1</sup>	HCFK's	HFK-125	HFK-134a	HFK-143a	HFK-152a	Totaal
1990	1 036	304	0	0	0	0	1 340
Scenario L							
2000	247	768	16	113	0	29	1 173
2010	33	774	116	375	92	10	1 402
2035	33	1 259	180	638	145	18	2 273
Scenario K							
2010	33	774	116	375	92	10	1 402
2035	33	0	520	944	451	324	2 273
Scenario A							
2010	33	0	0	0	0	10	34
2035	33	0	0	0	0	18	51

<sup>1</sup> inclusief halonen, exclusief MCF en CCl<sub>4</sub>.

bron: Kroeze en Reijnders, 1992

**Tabel A.3:** Geschat Nederlands gebruik van CFK's en halonen per toepassing (in ton produkt/jaar) in 1986 en 1990.

Toepassing	1986							Totaal
	CFK-11	CFK-12	CFK-113	CFK-114	CFK-115	halon-1211	halon-1301	
Aërosolen/steril.	1 676	1 775	292	46				3 789
Schuimen								
- open	913							913
- gesloten	5 254	2 262	28	45				7 593
Oplosm./rein.	14		1 015					1 029
Koelmiddel	95	806 <sup>1</sup>			96			997
Brandbestrijding						292	171	463
<b>Totaal</b>	<b>7 952</b>	<b>4 843</b>	<b>1 335</b>	<b>91</b>	<b>96</b>	<b>292</b>	<b>171</b>	<b>14 780/14 784</b>

Toepassing	1990							Totaal <sup>2</sup>
	CFK-11	CFK-12	CFK-113	CFK-114	CFK-115	halon-1211	halon-1301	
Aërosolen/steril.	215	271	115	49				650
Schuimen								
- open	602							602
- gesloten	4 419	200	79	50				4 751
Oplosm./rein.	14		1 003					1 017
Koelmiddel	67	572 <sup>1</sup>			105			744
Brandbestrijding						212	170	382
<b>Totaal</b>	<b>5 317</b>	<b>1 043</b>	<b>1 197</b>	<b>99</b>	<b>105</b>	<b>212</b>	<b>170</b>	<b>8 143/8 146</b>

<sup>1</sup> Waarvan 60 ton voor auto-airconditioning (Dorrestein *et al.*, 1991).

<sup>2</sup> Daarnaast werd in 1990 2120 ton HCFK-22 en 1023 ton HCFK-142b gebruikt.

bron: gebaseerd op CFK-commissie, 1993; Van den Born *et al.*, 1991; Dorrestein *et al.*, 1991.

## Potentiële toepassingen voor HFK's

Tabel A.4 geeft een overzicht van potentiële toepassingen van HCFK's en HFK's. Het blijkt dat HFK's met name in de koelsector belangrijke CFK-substituten kunnen zijn. Daarnaast kan gebruik van HFK's als blaasmiddel en blusmiddel worden verwacht. CFK's die gebruikt worden als aërosol en oplosmiddel worden naar alle waarschijnlijkheid niet door CFK's vervangen.

Als belangrijkste CFK in de koelsector wordt CFK-12 gebruikt. Wereldwijd wordt ongeveer de helft van de koelmiddelen in auto-airconditioning toegepast. De belangrijkste vervanger voor CFK-12 in auto-airconditioning en de koelsector is HFK-134a. In de nabije toekomst zal ook een blend gebruikt worden in auto-airconditioning, met daarin o.a. HFK-134a en -152a. Tenslotte zal HFK-125 voor een deel CFK-115 vervangen als koelmiddel in 'storage'. In de koelsector zal met name HFK-134a gebruikt worden. In Tabel A.4 is aangenomen dat op de wat langere termijn ook HFK-143a gebruikt kan worden als koelmiddel. HCFK-22 wordt niet alleen als CFK-substituut gebruikt, maar heeft ook een eigen markt als koelmiddel (met name in airconditioning). Een deel van deze markt kan ook overgenomen worden door HFK's.

**Tabel A.4:** Geschatte wereldwijde substitutie van CFK's en halonen op korte termijn (binnen 10 jaar) en op langere termijn (in dit rapport ook gebruikt voor Nederland). De getallen geven de percentages aan, die in deze studie gebruikt zijn; de ranges geven de marges aan op basis van schattingen door deskundigen en vermeld in de literatuur.

Toepassing	CFK/halon	substituut	korte termijn	langere termijn	
Aërosol	CFK-11 -12	niet-HCFK/HFK's	93% (90-95%)	93% (90-95%)	
		HFK-152a	2%	2%	
		HCFK-142b	2%	2%	
		HCFK-22	2%	1%	
		HFK-125	-	0.5%	
		HFK-134a	-	<0.5%	
		HFK-143a	-	0.5%	
Oplosmiddel	CFK-113	niet-HCFK/HFK's	75% (70-80%)	75% (70-80%)	
		HCFK-123	12.5%	12.5%	
		HCFK-141b	12.5%	12.5%	
Schuim (open)	CFK-11	niet-HCFK/HFK's	80% (70-90%)	80% (70-90%)	
		HCFK-123	10%	10%	
		HCFK-141b	10%	10%	
	CFK-12	niet-HCFK/HFK's	80% (70-90%)	80% (70-90%)	
		HCFK-22	7%	7%	
		HCFK-123	7%	7%	
	CFK-114	HCFK-141b	7%	7%	
		niet-HCFK/HFK's	100%	100%	
Schuim (gesloten)	CFK-11	niet-HCFK/HFK's	60% (55-65%)	60% (55-65%)	
		HCFK-123	20%	20%	
		HCFK-141b	20%	20%	
	CFK-12	niet-HCFK/HFK's	60% (55-65%)	60% (55-65%)	
		HCFK-22	13%	13%	
		HCFK-142b	13%	13%	
		HFK-134a	13%	13%	
	CFK-113	niet-HCFK/HFK's	60% (55-65%)	60% (55-65%)	
		HCFK-124	20%	20%	
	CFK-114	HCFK-142b	20%	20%	
		niet-HCFK/HFK's	60% (55-65%)	60% (55-65%)	
		HCFK-124	20%	20%	
	Koeling (excl. auto-airco)	CFK-11	niet-HCFK/HFK's	0% (0-35%)	0% (0-35%)
			HCFK-123	100%	100%
		CFK-12	niet-HCFK/HFK's	0% (0-100%)	0% (0-100%)
HCFK-22			85%	43%	
HFK-134a			15%	24%	
HFK-125			-	17%	
HFK-143a			-	17%	
CFK-114		niet-HCFK/HFK's	0% (0-35%)	0% (0-35%)	
		HCFK-22	100%	100%	
CFK-115		niet-HCFK/HFK's	0% (0-35%)	0% (0-35%)	
		HCFK-22	85%	85%	
		HFK-125	15%	15%	
Auto-airconditioning		CFK-12	niet-HCFK/HFK's	0% (0-10%)	0% (0-10%)
			HCFK-22	25%	0%
			HFK-134a	50%	100%
	HCFK-124		12.5%	0%	
	HFK-152a		12.5%	0%	
Brandbestrijding	halon 1211	niet-HCFK/HFK's	?	?	
		HCFK-123	100%	100%	
	halon 1301	niet-HCFK/HFK's	?	?	
		HFK-125	100%	100%	

bron: gebaseerd op Kroeze en Reijnders (1992) [n.a.v. literatuurstudie en interviews met deskundigen]

## APPENDIX B: MONDIALE EMISSIESCENARIO'S IS92a-f VAN HET IPCC.

Mondiale emissies van halocarbonen volgens zes IPCC-scenario's. Bron: Pepper *et al.*, 1992.

**Tabel B.1:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92a.

Stof	1990	2000	2025	2050	2100
CFK-11	299	168	94	85	2
CFK-12	363	200	98	110	1
CFK-113	147	29	21	24	0
CFK-114	13	4	3	3	0
CFK-115	7	5	1	1	0
CCl4	119	34	19	21	0
Methylchloroform	738	353	97	110	0
HCFK-22	138	275	530	523	614
HCFK-123	0	44	159	214	267
HCFK-141b	0	24	82	110	138
HCFK-124	0	7	11	15	16
HCFK-142b	0	7	11	0	0
HCFK-225	5	17	30	38	40
HFK-134a	0	148	467	918	1 055

bron: Pepper *et al.*, 1992.

**Tabel B.2:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92b.

Stof	1990	2000	2025	2050	2100
CFK-11	299	162	27	0	0
CFK-12	363	191	9	0	0
CFK-113	147	26	0	0	0
CFK-114	13	4	0	0	0
CFK-115	7	5	0	0	0
CCl4	119	34	0	0	0
Methylchloroform	738	353	0	0	0
HCFK-22	138	276	539	535	614
HCFK-123	0	44	167	226	268
HCFK-141b	0	25	86	116	139
HCFK-124	0	7	12	16	16
HCFK-142b	0	7	11	0	0
HCFK-225	5	17	31	40	40
HFK-134a	0	149	489	946	1055

bron: Pepper *et al.*, 1992.

**Tabel B.3:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92c.

Stof	1990	2000	2025	2050	2100
CFK-11	299	168	94	85	2
CFK-12	363	200	98	110	1
CFK-113	147	29	21	24	0
CFK-114	13	4	3	3	0
CFK-115	7	5	1	1	0
CCl4	119	34	19	21	0
Methylchloroform	738	353	97	110	0
HCFK-22	138	275	530	523	614
HCFK-123	0	44	159	214	267
HCFK-141b	0	24	82	110	138
HCFK-124	0	7	11	15	16
HCFK-142b	0	7	11	0	0
HCFK-225	5	17	30	38	40
HFK-134a	0	148	467	918	1055

bron: Pepper *et al.*, 1992.

**Tabel B.4:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92d.

Stof	1990	2000	2025	2050	2100
CFK-11	299	156	17	0	0
CFK-12	363	172	7	0	0
CFK-113	147	26	0	0	0
CFK-114	13	4	0	0	0
CFK-115	7	5	0	0	0
CCl4	119	34	0	0	0
Methylchloroform	738	170	0	0	0
HCFK-22	138	185	19	1	0
HCFK-123	0	73	248	85	0
HCFK-141b	0	0	0	0	0
HCFK-124	0	7	11	0	0
HCFK-142b	0	7	11	0	0
HCFK-225	5	17	28	0	0
HFK-134a	0	170	559	1042	1172

bron: Pepper *et al.*, 1992.**Tabel B.5:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92e.

Stof	1990	2000	2025	2050	2100
CFK-11	299	156	17	0	0
CFK-12	363	172	7	0	0
CFK-113	147	26	0	0	0
CFK-114	13	4	0	0	0
CFK-115	7	5	0	0	0
CCl4	119	34	0	0	0
Methylchloroform	738	170	0	0	0
HCFK-22	138	185	191	1	0
HCFK-123	0	73	248	85	0
HCFK-141b	0	0	0	0	0
HCFK-124	0	7	11	0	0
HCFK-142b	0	7	11	0	0
HCFK-225	5	17	28	0	0
HFK-134a	0	170	559	1042	1172

bron: Pepper *et al.*, 1992.**Tabel B.6:** Mondiale emissies van halocarbonen volgens IPCC-scenario IS92f.

Stof	1990	2000	2025	2050	2100
CFK-11	299	168	94	85	2
CFK-12	363	200	98	110	1
CFK-113	147	29	21	24	0
CFK-114	13	4	3	3	0
CFK-115	7	5	1	1	0
CCl4	119	34	19	21	0
Methylchloroform	738	353	97	110	0
HCFK-22	138	275	530	523	614
HCFK-123	0	44	159	214	267
HCFK-141b	0	24	82	110	138
HCFK-124	0	7	11	15	16
HCFK-142b	0	7	11	0	0
HCFK-225	5	17	30	38	40
HFK-134a	0	148	467	918	1055

bron: Pepper *et al.*, 1992.

**Tabel B.7: Beschrijving van zes IPCC-scenario's IS92a-f voor de emissie van halocarbonen.**  
Bron: Pepper *et al.*, 1992.

Scenario	LDC Compliance Level with London Amendments	HFC Use	Phase-out Schedule for Developed Nations	Phase-out Schedule for LDCs
<b>Case 1</b>	Only 70% of the developing world is assumed to comply with London Amendments. Percentage of LDCs complying is based on GNP of countries that have signed and/or ratified. (List as of 12/9/91) China is included as a party to the Montreal Protocol – India is not.	HCFC-123/HCFC-141b blend used in insulating foams. HCFC-123/HCFC-141b blend replaces 25% of solvent cleaning market. HCFC-22 and ternary blend used in many refrigeration sectors. HFC-134a used in mobile air conditioning.	Phase-out as per London Amendments for all countries (including U.S. and E.C.) Phase-out in 2000 for CFCs, halons, and carbon tetrachloride and in 2005 for methyl chloroform. No extra national commitments are modeled.	Phase-out as per London Amendments for all countries (including Mexico). Phase-out in 2010 for CFCs, halons, and carbon tetrachloride and in 2015 for methyl chloroform. No extra national commitments are modeled.
<b>Case 2</b> Case 1 and Reduced HCFC Use	Same as Case 1	Ternary blend use eliminated and replaced with HFC-134a in refrigeration sectors. HCFC-22 use eliminated in process refrigeration and replaced with HFC-134a. HCFC-123/HCFC-141b use eliminated in solvent cleaning and instead HCFC-225 replaces 5% of market. HCFC-123/HCFC-141b blend used in insulating foams.	Same as Case 1	Same as Case 1
<b>Case 3</b> (IS92a, c, and f) Case 2 and Technology Transfer to Non-complying LDCs	Non-complying countries phase out CFCs, halons, carbon tetrachloride, and methyl chloroform use between 2025 and 2075.	Same as Case 2 but with U.S. Clean Air Act limits on HCFC production included.	Same as Case 1	Same as Case 1

continued....



Scenario	LDC Compliance Level with London Amendments	HFC Use	Phase-out Schedule for Developed Nations	Phase-out Schedule for LDC's
Case 4 (IS92b) Case 2 and 100% Global Compliance	100% of the developing world complies with London Amendments.	Same as Case 3	Same as Case 1	Same as Case 1
Case 5 Case 4 and Faster Phaseout for Developed Nations	Same as Case 4	Same as Case 3	Phaseout in 1997 for CFCs, halons, carbon tetrachloride, and methyl chloroform. Stringent interim targets used for all developed nations.	Same as Case 1
Case 6 (IS92d and e) Case 5 and Minimal HFC Use	Same as Case 4	All HCFC-22 use for developed nations is reduced 25% from 1995 levels in 1995, 60% from 1995 levels in 2000, and phased down to 5% of 1990 use by 2005. HCFC-22 use is replaced with HFC-152a (65%) and HFC-125 (35%). No HCFC-141b use is assumed. All use in foams is substituted with HCFC-123 and use in solvents is eliminated. HCFC use is frozen at 2015 levels in 2015 and phased out in 2030. The same policy is implemented for LDCs with a 10-year lag.	Same as Case 5	Same as Case 1

continued.....

Scenario	LDC Compliance Level with London Amendments	HCFC Use	Phase-out Schedule for Developed Nations	Phase-out Schedule for LDCs
<p>Case 7 Case 6 and Faster Phaseout for LDCs – Accelerated Technology Transfer</p>	<p>Same as Case 4</p>	<p>The same policy as Case 6 is implemented for LDCs <u>without</u> a 10-year lag.</p>	<p>Same as Case 5</p>	<p>Phase-out in 2000 for CFCs, halons, carbon tetrachloride, and methyl chloroform for all complying LDCs.  Same interim targets as specified for developed nations under London Amendments.</p>