

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

Rapport nr. 773001008

**EMISSIES VAN HFK's, PFK's, FIK's
EN SF₆ IN NEDERLAND IN 1990,
1994, 2000, 2005, 2010 en 2020**

A.J.C.M. Matthijsen en C. Kroeze*

april 1996

* Wagenings Instituut voor Milieu-
en Klimaatonderzoek (WIMEK),
Landbouwuniversiteit,
postbus 9101, 6700 HB Wageningen

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal
Milieubeheer, Directie Lucht en Energie in het kader van project 773001
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, tel. 030-2749111, fax 030-2742971

VERZENDLIJST

- 1 Ir. G.M. van der Slikke, Directeur Lucht en Energie van het Directoraat-Generaal Milieubeheer
- 2 Dr.Ir. B.C.J. Zoeteman, plv. Directeur-Generaal Milieubeheer
- 3 Dr.Ir. B. Metz, Themacoördinator Klimaatverandering, DGM/LE
- 4 Drs. B. Weenink, DGM/LE
- 5 Mr. C.J.H. Cozijnsen, DGM/LE
- 6 Drs. H. Merkus, DGM/LE
- 7 Dr. L.A. Meyer, DGM/LE
- 8 Drs. R.A. van den Wijngaart, DGM/LE
- 9 Mr. J.K.B.H. Kwisthout, DGM/IBPC
- 10 Drs. B.J. de Groot, Min. EZ, Den Haag
- 11 Mw.Ir. E.G. De Jeu, Min. EZ, Den Haag
- 12 Ing. M.R. Rietberg, Prov. Zuid-Holland
- 13 Dr. J.J.M. Berdowski, TNO, Delft
- 14 Ing. B. Guis, CBS, Voorburg
- 15 Ir. J.H.J. Hulskotte, TNO, Apeldoorn
- 16 Dr. M.P.J. Pullens, TNO, Delft
- 17 Ir. A. Struker, Ecofys, Utrecht
- 18 Prof.Dr. P. Vellinga, Vrije Universiteit, Amsterdam
- 19 Drs. J. Meijer, OECD/IEA, Parijs
- 20 Ing. H. Bol, Du Pont de Nemours
- 21 Ir. H. Benjamins, Du Pont de Nemours
- 22 R. de Goeij, Du Pont de Nemours
- 23 Dr. R.S. Koene, Allied Signal Fluorchemicals Europe B.V.
- 24 Ir. H.J.D. Lans, ICI Holland B.V.
- 25 J.F.T. Clement, ICI Holland B.V.
- 26 Drs. K.P. van de Scheur, KPMG
- 27 Drs. J.J. Visser, KPMG
- 28 Ir. R.J.M. van Gerwen, TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie
- 29 Prof.Dr. L. Reijnders, Universiteit van Amsterdam
- 30 P. Peters, Nippon Denso (Europe) BV
- 34 Ing. A.G.H. Smit, RAI-vereniging
- 35 H.T. Huizinga, Heat Transfer Holland BV
- 36 Dr. L. Kuypers, Technische Universiteit Eindhoven
- 37 Mr. E.M.G.G. Kroese, Nederlandse Aerosol Vereniging
- 38 Drs. W.J. Goossens, Greanpeace Nederland
- 39 T. Horsthuis, NVOB
- 40 J. den Boer, Hi-safe systems fire protection
- 41 M. Stamp, Great Lakes
- 42 C. van Wijk, Thorn Security Nederland BV
- 43 J.E.C.M. Jacobs, Aluminium Delfzijl BV
- 44 A. Dijkmans, Aluminium Pechiney Vlissingen
- 45 SOCAR
- 46 R.M. van Dusseldorp, NPU
- 47 G. Blankendaal, GZB N.V.

48	D. Havenaar, NVKL
49	W. Hennevelt, ELIN-HOLEC
50	J. Janssen, 3M Belgium N.V.
51	Ing. A.G.J. Hug, FME
52	Drs. W.M. Zijlstra, BMRO
53	Drs. J.P.A. Derks, VNCI
54	Depôt Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
55	Directie RIVM
56	Ir. R.A.W. Albers
57	Drs. A.R. van Amstel
58	Prof.Ir. N.D. van Egmond
59	Dr. M.G.J. den Elzen
60	Drs. S.A. van Esch
61	Drs. L.H.M. Kohsiek
62	Drs. R.J.M. Maas
63	Ir. F. Langeweg
64	Ir. J.G.J. Olivier
65	Dr. M.J.M. Pruppers
66	Drs. J.P.M. Ros
67	Dr. H. Slaper
68	Ir. J. Spakman
69	Ir. R.J. Swart
70	Dr. R. Thomas
71	Dr. H. van der Woerd
72	Dr. L.H.J.M. Janssen
73	Dr.Ir. G.J.M. Velders
74	Bureau Voorlichting en Public Relations
75-76	Bibliotheek RIVM
77	Bibliotheek VROM
78	Bureau Rapportenregistratie
79-80	Auteurs
81-100	Bureau Rapportenbeheer

INHOUDSOPGAVE	Pg.
Verzendlijst	ii
Inhoudsopgave	iv
Summary	v
Samenvatting	1
1 Inleiding	3
2 Methode	5
2.1 Overzicht van de gebruikte methode	5
2.2 Methode om actuele emissies te berekenen	6
3 Gebruik van fluorkoolwaterstoffen en SF ₆ in de periode 1986-2020	13
4 Emissies in de periode 1990-2020	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Scenario beschrijving	17
4.3 Emissies van HFK's, PFK's, FIK,s, en SF ₆ ; 1990-2020	21
5 Overzicht van technische opties en alternatieven	32
6 Conclusies en aanbevelingen	36
7 Referenties	38
BIJLAGE I : Begrippenlijst	42
BIJLAGE II : Het gebruik van fluorkoolwaterstoffen en SF ₆ in 1986, 1990 en 1994	44
BIJLAGE III : Groei-indexcijfers voor 1986-2020 voor de bepaling van het pre-Montreal-gebruik	47
BIJLAGE IV : HCFK-gebruik in 2000, 2005 en 2010	48
BIJLAGE V : HFK-gebruik in aerosolen	50
BIJLAGE VI : Schatting van het gebruik van koelmiddelen	51
BIJLAGE VII : GWP's	53
BIJLAGE VIII : Gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF ₆ in het referentie-scenario in 1990, 1994, 2000, 2005, 2010 en 2020	56
BIJLAGE IX : Emissies in 1990, 1994, 2000 en 2020	60

SUMMARY

As a party to the United Nations Framework Convention on Climate Change, the Netherlands is committed to report Dutch greenhouse gas emissions to the climate secretariat. The scenarios presented in this report were prompted by the need for a better insight into the extent of current emissions and their future development. Scenarios included emissions of some fluorocarbons (HFCs, PFCs, FICs) and sulfur hexafluoride (SF₆) in the Netherlands.

Emissions of HFCs, PFCs, FICs and SF₆ are estimated as the sum of:

- (1) emissions due to their use as substitutes for ozone-depleting compounds (including emissions during packaging of the compounds)
- (2) emissions due to SF₆'s historical market of its own (the so-called pre-Montreal use)
- (3) emissions as a result of industrial processes or the use of compounds as feedstock.

Emissions from these compounds are estimated using six steps. When applied to the global market, this methodology was found to result in estimates that were in reasonable agreement with projections from industry. Referring to some points, the methodology was modified for the specific Dutch situation. Here, first future use of ozone-depleting substances is estimated, as it would have been without the Montreal Protocol (step 1). Next, the actual expected use of ozone-depleting substances upon implementation of the Montreal Protocol is estimated (step 2). The difference between these two estimates represents the amount of ozone-depleting compounds to be substituted. In step 4 it is estimated for each application to what extent (in percentage of amount to be replaced) HFCs, PFCs, FICs and SF₆ will replace ozone-depleting substances. Use of substitutes is estimated in step 5 on the base of steps 3 and 4. Finally, actual emissions are estimated, taking into consideration the delay between use and emission (step 6).

Emissions and use of the compounds considered are presented for six scenarios: (i) a reference scenario, assuming that the Montreal Protocol will be implemented and that HFCs, PFCs, FICs and SF₆ can be used without restrictions, (ii) a scenario in which use of HFCs, PFCs, FICs and SF₆ is restricted to stationary cooling and closed foam blowing, and (iii) a scenario assuming that the average Global Warming Potential (GWP) of the mix of compounds used is 250 or less. All three scenarios are presented for a situation with no additional emission control (no control) and for a situation with maximum emission control through good housekeeping, recycling and destruction of discarded compounds (maximum emission control).

In the reference scenario, emissions of HFCs, PFCs, FICs, and SF₆ increase in the Netherlands from 878 (metric) tons in 1990 to 6983 tons in 2020. In the year 2000, these emissions equal about 9 Mtons of CO₂ equivalents, or 5% of the Dutch CO₂ target, set by the Dutch government. In 2020 emissions amount to 21 Mton CO₂ equivalents, or 13% of the CO₂ target in that year (i.e. a stabilization with respect to 2000).

Scenarios assuming maximum emission control show emissions that are 40 - 50% lower than emissions in the no control scenarios. In the scenario where use is restricted to stationary cooling and closed foam blowing, emissions are 15 - 25% lower in the no-control case, and 50 - 60% lower in the maximum emission control case than in the reference scenario. The

largest reductions (up to 90%) are found in scenarios in which the compounds or blends used have an average GWP lower than 250.

SAMENVATTING

Zoals overeengekomen in de United Nations Framework Convention on Climate Change is Nederland verplicht nationale emissies van broeikasgassen te rapporteren aan het klimaatsecretariaat. Om een beter inzicht te hebben in de omvang van emissies en hun toekomstige ontwikkeling wordt in dit rapport een aantal scenario's gepresenteerd voor Nederlandse emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆.

Emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ worden geschat als de som van:

- (1) emissies tengevolge van het gebruik als vervanger van ozonlaag-aantastende stoffen (inclusief emissies tijdens verpakken en ompakken van de betreffende stoffen);
- (2) emissies tengevolge van de eigen markt van SF₆ (pre-Montreal gebruik);
- (3) proces- en feedstock emissies van HFK 23 en PFK's.

De uitstoot van deze stoffen wordt geschat in zes stappen. Deze methode blijkt voor de mondiale markt schattingen op te leveren die redelijk overeenkomen met schattingen van de industrie. Op een aantal punten is de methode aangepast op basis van specifieke informatie over de Nederlandse markt. In de studie wordt eerst het gebruik geschat zoals het zou zijn geweest zonder Montreal Protocol (stap 1). Vervolgens wordt een schatting gemaakt van het werkelijke gebruik van ozonlaag-aantastende stoffen (stap 2). Het verschil tussen deze twee geeft aan hoeveel stoffen er vervangen moeten worden (stap 3). Stap 4 betreft het schatten van substitutiepercentages, waarmee berekend kan worden in welke mate ozonlaag-aantastende stoffen worden vervangen door HFK's, PFK's, FIK's en SF₆. In stap 5 wordt het gebruik van substituten geschat op basis van voorgaande stappen. En tenslotte worden actuele emissies berekend, rekening houdend met vertraging tussen gebruik en emissie (stap 6).

Emissies en gebruik zijn gepresenteerd voor zes scenario's: (i) een referentie-scenario, waarin verondersteld wordt dat het Montreal Protocol wordt uitgevoerd en waarin HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ onbeperkt kunnen worden gebruikt, (ii) een scenario waarin het gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ als substituut voor ozonlaag-aantasters wordt beperkt tot de toepassingen stationaire koeling en gesloten schuimen en (iii) een scenario waarin de gebruikte stoffen een gemiddelde Global Warming Potential hebben van 250 of minder. Deze drie scenario's worden gepresenteerd voor zowel een situatie zonder emissie-beperkende maatregelen (no control), als voor een situatie met maximale inzet op good housekeeping, hergebruik en vernietiging van afgedankte stoffen (maximum emission control).

In het referentie-scenario nemen de Nederlandse emissies toe van 878 ton in 1990 tot 6983 ton in 2020. De uitstoot kan in 2000 gelijk zijn aan ongeveer 9 Mton CO₂-equivalenten, ofwel 5% van de Nederlandse CO₂-uitstoot, die in dat jaar gerealiseerd moet zijn conform de regeringsdoelstelling. In 2020 is de berekende emissie opgelopen tot 21 Mton CO₂-equivalenten, ofwel 13% van de CO₂-doelstelling in dat jaar (stabilisatie op het niveau van 2000).

In de scenario's met *maximum emission control* zijn de emissies na 2000 40 - 50% lager dan in de *no control*-scenario's. In het scenario waarin het gebruik beperkt is tot de toepassingen stationaire koeling en gesloten schuimen is de emissie 15 - 25% lager dan in het referentie-scenario, en in combinatie met *maximum emission control* 50 - 60% lager. De grootste

reductie (tot 90%) wordt gevonden in het scenario waarin voor iedere toepassing geldt dat de gemiddelde GWP van de gebruikte stoffen lager dan 250 is.

1. INLEIDING

Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en halonen zijn stoffen die de ozonlaag aan tasten. Het zijn stoffen die van nature niet op aarde voorkomen, en sinds de jaren dertig zijn gebruikt als koelmiddel, drijfgas, blaasmiddel, oplosmiddel en brandblusmiddel. Na de ontdekking van het zogenaamde gat in de ozonlaag boven Antarctica (Farman et al., 1985) werd het gebruik van CFK's en halonen aan banden gelegd. Het Montreal Protocol ter bescherming van de ozonlaag stamt uit 1987 en is sindsdien enkele malen aangescherpt. In Nederland is het gebruik van CFK's, halonen en een aantal andere chloor- en broomhoudende ozonlaag-aantasters inmiddels verboden. Onvolledig gehalogeneerde chloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's), die een lager ozonlaag-aantastend vermogen hebben dan de volledig gehalogeneerde CFK's en halonen, zijn vanaf 2015 verboden in Europa.

CFK's en halonen vormen niet alleen een bedreiging voor de ozonlaag, maar zijn tevens broeikasgassen. Als zodanig versterken zij het natuurlijke broeikaseffect. Het is aan weinig twijfel onderhevig dat een voortgaande versterking van het broeikaseffect uiteindelijk zal leiden tot opwarming van de onderste luchtlagen en dus tot klimaatverandering (IPCC, 1990, 1992, 1994).

De CFK's en andere ozonlaag-aantasters zijn grotendeels vervangen door stoffen die de ozonlaag niet aantasten. Belangrijke vervangers zijn onvolledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen (HFK's), die geen chloor bevatten en daardoor geen bedreiging vormen voor de ozonlaag. HFK's zijn vergeleken met kooldioxide (CO_2) echter krachtige broeikasgassen (bijlage VII). Hetzelfde geldt voor perfluorkoolwaterstoffen (PFK's) en zwavelhexafluoride (SF_6). Fluorjoodkoolwaterstoffen (FIK's) hebben een aanzienlijk geringer opwarmend vermogen dan de HFK's, maar desalniettemin een ongeveer vijf maal hogere Global Warming Potential dan CO_2 (zie bijlage VII).

Nederland tekende het klimaatverdrag (United Nations Framework Convention on Climate Change, of UNFCCC) in 1992, waarop ratificatie volgde in december 1993. Hiermee heeft Nederland zich verplicht periodiek de uitstoot van broeikasgassen te rapporteren aan het klimaatsecretariaat, evenals projecties voor de toekomst. De stoffen die onder het Montreal Protocol vallen (waaronder CFK's, halonen, HCFK's en 1,1,1-trichloorethaan) zijn hiervan uitgezonderd. Emissies van de substituten zoals HFK's, PFK's, FIK's en SF_6 vallen wel onder het klimaatverdrag. Landen wordt gevraagd, waar mogelijk, actuele emissies te rapporteren. Dit is anders dan de rapportages in het kader van het Montreal Protocol, waarvoor het jaarlijkse gebruik, dat beschouwd kan worden als potentiële emissie, wordt gerapporteerd. Tevens is Nederland verplicht jaarlijks de emissies van broeikasgassen te rapporteren aan de Europese Commissie.

Het doel van deze studie is het schatten van gebruik en emissies van een aantal fluorkoolwaterstoffen (HFK's, PFK's, FIK's) en SF_6 in Nederland, die gebruikt (gaan) worden als vervangers voor verschillende ozonlaag-aantasters. Tot dusver ontbraken deugdelijke gegevens over deze emissies. Deze studie voorziet in deze lacune. Momenteel worden hydrofluorethers (HFE's) ontwikkeld als vervangers van CFK 113 en 1,1,1-trichloorethaan. Hoewel deze stoffen broeikasgassen zijn, worden ze in deze studie niet meegenomen, omdat ze nog niet in productie zijn genomen (Grenfell et al., 1995). De studie richt zich op de jaren 1990 (in

UNFCCC genoemd als basisjaar), 1994 (het meest recente jaar waarvoor gegevens beschikbaar zijn), 2000 (in UNFCCC genoemd als doeljaar voor de industrielanden) en de jaren 2005, 2010 en 2020 (voorbeeldjaren in mandaatbeschikking voor protocol-onderhandelingen).

2. METHODE

2.1 Overzicht van de gebruikte methode

Emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ worden geschat als de som van:

- (1) emissies tengevolge van het gebruik als vervanger van ozonlaag-aantastende stoffen (inclusief emissies tijdens verpakken en ompakken van de betreffende stoffen);
- (2) emissies tengevolge van de eigen markt van SF₆ (pre-Montreal gebruik);
- (3) proces- en feedstock-emissies van HFK 23 en PFK's.

In de eerste plaats is er sprake van emissies tengevolge van gebruik als vervangers van bijvoorbeeld CFK's en halonen. Ten tweede is er sprake van een eigen markt van een aantal potentiële substituten. Dit gebruik, dat er ook zou zijn geweest zonder Montreal Protocol, wordt het pre-Montreal gebruik genoemd. In deze studie wordt alleen de eigen markt van SF₆ in beschouwing genomen, dat al werd gebruikt voor 1987, dus voor het Montreal Protocol. Ook PFK's en enkele HFK's hebben een eigen markt; bij de produktie van halfgeleiders worden bijvoorbeeld PFK's gebruikt (Cook, 1995) en HFK-152a wordt als koelmiddel gebruikt. De grootte van deze eigen markt van PFK's en HFK's in Nederland is niet bekend. De derde bron van emissies betreffen emissies tijdens de produktie van (chloor)fluorkoolwaterstoffen (proces-emissies) en tijdens het gebruik van (chloor)fluorkoolwaterstoffen als grondstof (feedstock-emissies).

Het gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in Nederland verandert snel en projecties voor de toekomst zijn niet eenvoudig op te stellen. In 1995 is het toekomstige wereldwijde gebruik van deze stoffen geschat, op basis van informatie van gebruikers en producenten (Kroeze, 1995). De resulterende prognoses kwamen redelijk overeen met schattingen van de industriële Alliance of Responsible Atmospheric Policy (Fay, 1995). Het Nederlandse gebruik is in deze studie geschat op basis van de methode gebruikt als in Kroeze (1995). De studie veronderstelt dus dat de Nederlandse markt zich zal ontwikkelen zoals de wereldwijde. Voor zover informatie beschikbaar was, zijn de veronderstellingen aangepast aan de Nederlandse situatie. Samenvattend worden gebruik en emissies in zes stappen geschat:

- Stap 1 Ten eerste wordt het zogenaamde pre-Montreal gebruik geschat van ozonlaag-aantastende stoffen. Dit is het toekomstige Nederlandse gebruik van CFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan zoals het zou zijn geweest zonder Montreal Protocol.
- Stap 2 Er wordt een schatting gemaakt van het werkelijk te verwachten gebruik van ozonlaag-aantastende stoffen (CFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan), wanneer het Montreal Protocol, inclusief de aanscherpingen, wordt uitgevoerd.
- Stap 3 Vervolgens wordt de hoeveelheid te vervangen halogeenkoolwaterstoffen geschat. Dit is het verschil tussen het pre-Montreal gebruik (stap 1) en het werkelijk verwachte gebruik (stap 2) van ozonlaag-aantasters, als het Montreal Protocol wordt gerealiseerd.
- Stap 4 Daarna worden substitutiepercentages voor verschillende vervangende stoffen (HFK's, PFK's, FIK's en SF₆) geschat. Een substitutiepercentage is de verwachte procentuele vervanging van ozonlaag-aantastende stoffen in een bepaalde toepassing door een bepaalde vervanger.

Stap 5 Op basis van bovenstaande informatie kan het toekomstig gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ worden geschat als:

*substitutiepercentage * (pre-Montreal gebruik - verwacht gebruik) + pre-Montreal gebruik van substituten*

Het pre-Montreal gebruik van substituten is het gebruik ongeacht Montreal Protocol, dus de hoeveelheid waarop het Montreal Protocol niet van invloed is (in Nederland alleen SF₆). Tevens worden in stap 5 de *proces- en feedstock-emissies van HFK 23 en PFK's* geschat en de emissies tijdens *verpakken en ompakken*.

Stap 6 Tenslotte worden actuele emissies berekend voor een aantal scenario's. Dit wordt gedaan met behulp van een dynamisch model, dat rekening houdt met de verblijftijd van stoffen in apparaten, lektheid van apparatuur, eventueel hergebruik en aftappen van afgedankte stoffen, etcetera. Hierbij worden opgeteld de proces- en feedstock-emissies en verpakkings-emissies uit stap 5.

2.2 Methode om actuele emissies te berekenen (stap 6)

Emissies van fluorkoolwaterstoffen kunnen op twee manieren geschat worden: als potentiële emissie, of als actuele emissie. Potentiële emissies zijn de emissies die zouden optreden wanneer alle gebruikte fluorkoolwaterstoffen in de atmosfeer terecht zouden komen. Potentiële emissies kunnen daarom gelijkgesteld worden aan het gebruik, en bijvoorbeeld geschat als productie - export + import - vernietiging. Actuele emissies verschillen van potentiële, omdat (i) er een vertraging kan optreden tussen gebruik en emissie en (ii) omdat een deel van de emissies voorkomen kan worden.

In deze studie worden actuele emissies geschat in Nederland. Tabel 2.1 vat de hier gebruikte methode samen. Deze methode is beschreven in Kroeze (1995) en grotendeels gebaseerd op de methode, zoals gebruikt door AFEAS (Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study, 1993). Voor koeling en brandbestrijding is ook gebruik gemaakt van de studie van McCulloch (1992, 1994a,b) en voor emissies tijdens productie van UNEP (1994). De AFEAS-methode is gebaseerd op studies van Gamlen et al. (1986), McCarthy et al. (1977), Fisher en Midgley (1993) en Midgley en Fisher (1993). De AFEAS-methode wordt al een aantal jaren gebruikt en getest. Deze methode verschilt nauwelijks van de methode-ontwikkeling voor de IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC/OECD, in prep.).

Tabel 2.1 toont hoe emissies worden geschat in een referentie-scenario op basis van bestaand beleid (no control), maar ook in hoeverre de emissies kunnen worden voorkomen door good housekeeping, hergebruik en het vernietigen van afgedankte fluorkoolwaterstoffen (maximum emission control). De schattingen hiervoor zijn gebaseerd op hoofdstuk 4 in Kroeze (1995).

Aerosol

Drijfgassen worden doorgaans kort na de produktie van spuitbussen geëmitteerd. Uit onderzoek in de USA en Europa is gebleken dat gemiddeld zes maanden na verkoop de emissie plaatsvindt. Dit zou betekenen dat ongeveer 50% van de verkochte fluorkoolwaterstoffen in het jaar van verkoop in de atmosfeer terecht komen (Gamlen et al., 1986; Fisher et al., 1994). In andere studies wordt wel aangenomen dat de totale emissie in het jaar van produktie plaatsvindt (e.g. Brühl en Hennig, 1989; Kroeze en Reijnders, 1992). In dit rapport is gebruik gemaakt van de methode zoals beschreven in Gamlen et al. (1986). Verder is aangenomen dat aerosol-emissies niet kunnen worden gereduceerd. Deze categorie is inclusief polyurethaan (PUR)-schuimen die in spuitbussen verkocht worden (in situ schuimproduktie).

Open schuimen (cushioning/packaging)

Bij het blazen van schuimen komt een deel van de gebruikte blaasmiddelen direct vrij en blijft een deel achter in het schuim. Hoeveel er in het schuim terecht komt hangt af van het soort schuim. In open schuimen is de hoeveelheid klein. Zoals in de meeste studies, wordt ook hier voor het schatten van emissies bij produktie van open schuimen dezelfde methode gebruikt als voor aerosolen (tabel 3.1). Verder is aangenomen dat de emissies met 55% gereduceerd kunnen worden door preventie van lekkage bij de schuimproduktie en hergebruik van blaasmiddelen.

Gesloten schuimen: isolatie

Verschillende harde schuimen bevatten gesloten cellen, waarin zich nog een aanzienlijke hoeveelheid blaasmiddel bevindt. Polyurethaan (PU) platen, gebruikt voor isolatie, vallen onder deze categorie. Emissie van blaasmiddelen vindt plaats (i) tijdens het blazen van schuimen, (ii) tijdens het gebruik van het schuim en (iii) in de afvalfase. In gesloten schuimen kunnen zich aanzienlijke hoeveelheden blaasmiddel bevinden. Naar schatting blijft 90 (80 - 95)% van CFK-blaasmiddelen achter in het schuim, die langzaam weglekken in de 20 - 25 jaar na produktie (Gamlen et al., 1986; McCarthy et al., 1977; Midgley en Fisher, 1993). AFEAS gebruikt een constant jaarlijks lekpercentage van 4,5% voor 20 jaar (Bruhl en Hennig, 1989; McCarthy et al., 1977). Er zijn aanwijzingen dat een aanzienlijk deel van het blaasmiddel in het schuim oplost. Het is onduidelijk wat hiermee gebeurt in de afvalfase. Omdat de oplosbaarheid van HFK's kan verschillen van die van CFK's kunnen de jaarlijkse emissies van HFK's afwijken van die van CFK's. Dit is echter nog niet onderzocht. Daarom worden in deze studie HFK-emissies berekend als CFK-emissie (4,5% van het gebruik gedurende 20 jaar). Tevens is, als in Kroeze (1995), verondersteld dat hergebruik en vernietiging van afgedankte stoffen de jaarlijkse emissie naar schatting kan reduceren tot 3,5% (tabel 3.1). Emissies in de afvalfase kunnen vrijwel geheel worden voorkomen door het verbranden van de schuimen, het meeste blaasmiddel is echter al voor die tijd uit het schuim gediffundeerd. In hoeverre HFK's net als CFK's oplossen in het schuim, waardoor emissie wordt voorkomen, verdient nader onderzoek.

Oplosmiddelen

Oplosmiddelen worden doorgaans kort na gebruik geëmitteerd. AFEAS en Fisher et al. (1994) nemen bijvoorbeeld aan dat gebruik, en dus emissie, zes maanden na verkoop plaatsvindt (tabel 2.1). Intern hergebruik kan de uitstoot aanzienlijk reduceren.

Stationaire koeling

De methode die gebruik wordt voor stationaire koeling is gebaseerd op de studie van McCulloch (1994a,b). McCulloch's methode is gedetailleerder dan de AFEAS methode en beter bruikbaar voor het schatten van de effecten van emissiereducerende maatregelen. We onderscheiden drie typen koelsystemen: de huishoudkoelkast/-vriezer, overige stationaire koeling en auto-airconditioning.

Emissies van koelmiddelen vinden plaats (i) tijdens gebruik van de koelapparatuur door lek en morsen bij (her)vullen en (ii) in de afvalfase. De lek tijdens gebruik verschilt per systeem. Een huishoudkoelkast verliest jaarlijks ongeveer 1% van de aanwezige koelvloeistof (McCulloch, 1994a,b). Het overgrote deel van de koelmiddelen (>95%) wordt echter gebruikt voor grotere koelsystemen, met aanzienlijke hogere lekpercentages (tabel 2.1). Voor deze grotere bedraagt de jaarlijkse lek ongeveer 17% van de inhoud (McCulloch, 1994a,b; IPCC/OECD, in prep.). Dit komt goed overeen met het gemiddelde lekpercentage van 45 in Nederland onderzochte grote (oude en nieuwe) installaties voor stationaire koeling met een inhoud van meer dan 300 kg HCFK 22 (Regionale Inspectie Milieuhygiëne Overijssel, 1996).

In Nederland is sinds maart 1993 de regeling lekdichtheidsvoorschriften van kracht, die geldt voor grotere koelsystemen met een aandrijfvermogen van 500 Watt of meer (VROM, 1993). Huishoudkoelkasten vallen hier vanwege een kleiner aandrijfvermogen niet onder. De regeling lekdichtheid zal tot gevolg hebben dat de jaarlijkse lek tijdens het gebruik teruggedrongen wordt. Naar verwachting bedraagt in nieuw geplaatste apparatuur de jaarlijkse lek minder dan 5% van de inhoud per jaar (exclusief verliezen tijdens (bij)vullen), wanneer de richtlijnen worden nageleefd (CFK actieprogramma, 1995). Dit komt goed overeen met de schatting van McCulloch (1994a,b), dat de jaarlijkse lek uit grotere koelsystemen teruggebracht kan worden naar 3%. In bestaande systemen kan de jaarlijkse lek teruggebracht worden tot 7 - 15% van de inhoud (CFK actieprogramma, 1995; Van der Wekken et al., 1994). In deze studie wordt verondersteld, dat naleving van de regeling lekdichtheid en vervanging van oude "lekke" systemen door nieuwe tot gevolg heeft dat vanaf 2000 de jaarlijkse lek (inclusief verliezen tijdens (bij)vullen) 10% van de inhoud bedraagt en vanaf 2010 5% in het "no control"-scenario. "Maximum emission control" veronderstelt een additionele inspanning, met name op het gebied van nieuwe technologische ontwikkelingen, waardoor meer optimistische lekpercentages van 3% gerealiseerd worden vanaf 2010. Deze lek is aanzienlijk lager dan de default waarde van 17% zoals voorgesteld door IPCC/OECD (in prep.).

Auto-airconditioning

Koelsystemen voor auto-airconditioning zijn relatief lek. Tot voor kort lekte de gehele inhoud van een auto-airco in ongeveer een jaar weg. Tegenwoordig zijn auto-airco's minder lek en efficiënter. Ongeveer een-derde van de inhoud wordt jaarlijks uitgestoten. In Nederland is de auto-airco pas sinds de jaren '90 algemeen verkrijgbaar en is men bij invoering van auto-airco's vrijwel direct overgegaan op de meer gesloten systemen, zodat de jaarlijkse lek (inclusief verliezen tijdens bijvullen) waarschijnlijk een-derde van de inhoud bedraagt. Dit zou verder teruggedrongen kunnen worden tot 10% (McCulloch, 1994a,b).

Brandbestrijding

Emissies van brandbestrijding zijn niet opgenomen in de AFEAS methode, maar wel in IPCC/OECD (in prep.), waar gebruik is gemaakt van de studie van McCulloch (1992). In een volwassen markt worden slechts halonen verkocht wanneer er een brand moest worden geblust, of wanneer er een ongewenste lek is opgetreden. In het geval van een volwassen markt is de verkoop dus een goede maat voor de emissie. Zo wordt momenteel, in landen waar halonen nog gebruikt worden, ongeveer 35% van de hoeveelheid geproduceerde (=verkochte) halon 1211 geëmitteerd (McCulloch, 1992). Dit is aanzienlijke lager dan in 1985, toen halonen bijvoorbeeld nog werden gebruikt voor testen. We hebben hier aangenomen dat dit percentage verder kan dalen tot 15% door verbeterde lekdichtheid en verdergaande technische eisen aan brandblusapparatuur.

In Nederland mogen nieuwe halonen niet meer worden verkocht. De substitutie van de halonen in bestaande apparatuur is van start gegaan. HFK's worden gebruikt ter vervanging van een deel van halon 1301 in zogenaamde "fixed systems". Deze systemen vertonen een relatief lage jaarlijkse lek; vermoedelijk minder dan 5% van de hoeveelheid geplaatst blusmiddel per jaar (Great Lakes, 1996). Naar verwachting zal volledige substitutie rond 2000-2005 een feit zijn. Tot die tijd is de jaarlijkse emissie vermoedelijk lager dan 35% van de verkoop, omdat het voor een groot deel om het vervangen van halonen gaat. We gebruiken, bij gebrek aan kwantitatieve gegevens over de jaarlijkse emissie van HFK's, de methode voor halonen van McCulloch als een eerste schatting van de emissie. We tekenen hierbij aan dat deze methode de emissie tot het jaar 2000 wellicht overschat, omdat HFK's gebruikt worden om halonen te vervangen.

Voor een volwassen markt maakt het weinig verschil of emissies worden geschat op basis van verkoop of op basis van hoeveelheid geïnstalleerd blusmiddel. Zo was in 1986 de totale hoeveelheid halon die in gebruik was ongeveer 3000 ton in Nederland (Belder en Bosscher, 1989), waarvan ongeveer 50% halon 1201. Op basis van groeipercentages zoals genoemd in bijlage III en substitutiepercentages als genoemd in tabel 2.3, zou dit betekenen dat in 2020 ongeveer 1075 ton HFK's en PFK's in gebruik was. Een jaarlijkse lek van 5% zou resulteren in een emissie van 54 ton per jaar. De methode zoals beschreven in tabel 2.1 resulteert in een uitstoot van 43 ton (bijlage IX).

Emissies tijdens verpakking van fluorkoolwaterstoffen

Tijdens verpakking van fluorkoolwaterstoffen vinden emissies plaats. In Nederland wordt een aantal HFK's verpakt. De geschatte gerelateerde emissies zijn voor 1994 (Matthijsen, 1995): HFK 125: 20 ton, HFK 134a: 30 ton, HFK 143a: 5 ton en HFK 152a: 25 ton. Deze schattingen worden in de huidige studie overgenomen en voor de periode 1990-2000 is aangenomen dat deze emissies constant blijven op het niveau van 1994. Voor toekomstige jaren is een toename verondersteld van het gebruik van deze stoffen. Er wordt in deze studie verondersteld dat een halvering van de uitstoot in Nederland mogelijk is.

Emissies tijdens de produktie van fluorkoolwaterstoffen (proces- en feedstock-emissies)

Tijdens de produktie van fluorkoolwaterstoffen vinden emissies plaats. Zo schatten Gamlen et al. (1986) dat 3,3% van de hoeveelheid geproduceerde CFK 11 en 2% van CFK 12 wordt geëmitteerd vóór verkoop. Volgens UNEP (1994) zijn deze emissies aanzienlijk gereduceerd ten opzichte van een aantal jaar geleden. UNEP gebruikt emissie-factoren van 0,5% voor proces-emissie en 0,1% voor feedstock-emissies.

Tijdens de produktie van HCFK 22 komt HFK 23 vrij. In Nederland werd deze emissie in 1994 op 500 ton HFK 23 geschat (Matthijsen, 1995). In Amerika zijn met het bedrijfsleven afspraken gemaakt om proces-emissies met 50% te reduceren (Climate Action Plan, 1993). In Nederland wordt nog voor het jaar 2000 naverbranding toegepast, waardoor de emissies zullen dalen. De mate van emissiereductie is niet bekend. Momenteel wordt nergens naverbranding toegepast en lijkt het technisch moeilijk. IPCC/OECD (in prep.) beschouwt deze techniek daarom als optie voor de toekomst. Toch wordt in deze studie verondersteld dat naverbranding een halvering van de uitstoot in Nederland tot gevolg zal hebben. Wordt de naverbranding geoptimaliseerd, dan wordt verondersteld dat een reductie van 90% van de HFK-emissie tot de technische mogelijkheden kan behoren.

Bij het gebruik van HCFK 22 als feedstock komt eveneens HFK 23 vrij. In Nederland werd deze emissie in 1994 op 40 ton HFK 23 geschat (Matthijsen, 1995). Er is in deze studie verondersteld dat deze emissie via dezelfde naverbrander gaat, als hiervoor besproken bij de HCFK 22-produktie.

PFK-emissies tijdens de produktie van aluminium

Perfluorkoolwaterstoffen (PFK's) komen voornamelijk vrij bij de produktie van aluminium. Het betreft CF_4 en C_2F_6 in een verhouding 10 : 1 (Van Amstel et al., 1994). Aluminiumproduktie in Nederland vindt plaats in twee bedrijven (zie ook bijlage II, opmerking k) volgens het Hall-Heroult elektrolyseproces. Hierbij wordt aluminium gesmolten in een vat. Een elektrische stroom van een laag voltage loopt tussen de koolstofelektroden (anode) en de wand van het vat (kathode) door een mengsel van aluminiumoxide (bauxiet) en cryoliet (met ca. 50% fluoride). De elektrische stroom splitst aluminiumoxide in aluminium en zuurstof. Aan de anode wordt koolstofdioxide gevormd uit anodekoolstof en vrije zuurstof. Onder normale omstandigheden is de stroom te laag voor de vorming van PFK's. Bij een te laag gehalte aan aluminiumoxide vindt stroomdoorslag plaats (anode-effect) waarbij PFK's gevormd worden (Van Amstel et al., 1994). PFK's en SF_6 worden ook gebruikt bij de

fabricage van halfgeleiders voor etsen en reinigen (Chemical Vapor Deposititon; Cook, 1995). Naar verwachting neemt de totale aluminiumproduktie, en daarmee de PFK-uitstoot, in Nederland af in de toekomst. Door betere procesbeheersing zou de uitstoot van PFK's per hoeveelheid aluminiumproduktie naar schatting gehalveerd kunnen worden (zie ook bijlage II, noot k).

Tabel 2.1 Methode voor het schatten van actuele emissies van fluorkoolwaterstoffen (Kroeze, 1995). $Stock_t$ is de hoeveelheid stof die op tijdstip t is opgeslagen in koelinstallaties die in gebruik zijn

Toepassing	Emissie in jaar t (no control) ¹	Te reduceren tot (maximum emission control) ²
Aerosol	$0,5 * \text{gebruik}_t + 0,5 * \text{gebruik}_{t-1}$	- (geen reductie mogelijk)
Open schuim	$0,5 * \text{gebruik}_t + 0,5 * \text{gebruik}_{t-1}$	$0,23 * \text{gebruik}_t + 0,23 * \text{gebruik}_{t-1}$ (55% reductie door hergebruik en good house-keeping)
Gesloten schuim	$0,1 * \text{gebruik}_t + 0,045 * (\text{gebruik}_{t-20} + \text{gebruik}_{t-19} + \dots + \text{gebruik}_{t-1})$	$0,05 * \text{gebruik}_t + 0,035 * (\text{gebruik}_{t-20} + \text{gebruik}_{t-19} + \dots + \text{gebruik}_{t-1})$ (door preventie van lekkage en hergebruik)
Oplosmiddelen	$0,5 * \text{gebruik}_t + 0,5 * \text{gebruik}_{t-1}$	$0,1 * \text{gebruik}_t + 0,1 * \text{gebruik}_{t-1}$ (80% reductie door hergebruik, good house-keeping)
Huishoud koelkast	$0,01 * \text{stock}_t + 0,45 * \text{gebruik}_{t-15}$ (aannemende dat 50% van afgedankte koelvloeistof wordt afgetapt)	$0,01 * \text{stock}_t + 0,2 * \text{gebruik}_{t-15}$ (door hergebruik)
Overige stationaire koeling ³	$\text{lek} * \text{stock}_t + 1,0 * \text{gebruik}$ voor nieuwe koelsystemen _{t-15} (lek = 0,17 in jaren voor 1996, 0,1 vanaf 2000 en 0,05 vanaf 2010 door verbeterde lekdichtheid)	$\text{lek} * \text{stock}_t + 0,2 * \text{gebruik}$ voor nieuwe koelsystemen _{t-15} (door preventie van lekkage en hergebruik is lek 0,03 vanaf 2010; overige jaren als no control)
Auto-airconditioning ³	$0,33 * \text{stock}_t + 1,0 * \text{gebruik}$ voor nieuwe airco's _{t-15}	$0,1 * \text{stock}_t + 0,2 * \text{gebruik}$ voor nieuwe airco's _{t-15} (door preventie van lekkage en hergebruik)
Brandblusmiddelen (fixed systems)	brandbestrijding + overige emissies = $0,35 * \text{gebruik}_t$ ⁴	$0,15 * \text{gebruik}_t$ (voornamelijk door alternatieve procedures voor testen en oefenen)
Overige	$\text{gebruik}_t = \text{emissie}_t$	reductie-mogelijkheden niet bekend
Emissies tijdens verpakking van HFK's etc.	$\text{emissie}_{1994} * \text{groei}_t$ (groei = toename, zie tekst)	50% reductie is mogelijk door proces aanpassing
Emissies tijdens productie van HCFC 22 en gebruik als feedstock	$\text{emissie}_{1994} * \text{reductie}$ (reductie = 0,5 vanaf 2000)	$\text{emissie}_{1994} * \text{reductie}$ (reductie = 0,1 vanaf 2000)
Emissies van PFK's bij aluminiumproductie	$\text{emissie}_{1994} * \text{groei}_t$ (groei = toename, zie tekst)	50% reductie is mogelijk door proces aanpassing

¹ methode gebruik in *no control*-scenario's in hoofdstuk 5, ofwel het scenario zonder additioneel beleid

² gebruikt in de *maximum emission control*-scenario's in hoofdstuk 5

³ wordt regelmatig bijgevuld

⁴ gebruik = verkoop; 0,35 is gebaseerd op volwassen markt en voor jaren tot 2000 wellicht een overschatting, omdat in deze periode HFK's worden verkocht om halonen te vervangen; methode is gebaseerd op McCulloch (1992); HFK-emissies van "fixed systems" zijn vermoedelijk <5% van de geplaatste hoeveelheid per jaar (Great lakes, 1996)

3. GEBRUIK VAN FLUORKOOLWATERSTOFFEN EN SF₆ IN 1986-2020

Een meer uitgebreide beschrijving van het gebruik van HFK's, PFK's en SF₆ wordt gegeven door Kroeze (1995). Bij gebruik wordt in dit rapport bij een gewicht van een ton altijd 1.000 kg van die bepaalde stof bedoeld, als bij emissies in plaats van kg van een stof, CO₂-equivalenten worden bedoeld, is dit als zodanig aangegeven. De belangrijkste toepassingen van CFK's, HCFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan zijn als aerosol, als reinigings- en oplosmiddel, als blaasmiddel bij de produktie van zacht en hard schuim, als koelmiddel en als brandblusmiddel (CFK Aktieprogramma, 1995). Perfluorkoolwaterstoffen (PFK's) komen voornamelijk vrij bij de produktie van aluminium. PFK's worden ook gebruikt bij de fabricage van halfgeleiders voor etsen en reinigen (Chemical Vapor Deposititon; Cook, 1995). Zwavelhexafluoride (SF₆) wordt voornamelijk toegepast als isolatie- en/of blusmiddel in elektrotechnische vermogensschakelaars en middenspanningsschakelinstallaties, voorts wordt het toegepast als etsgas in de halfgeleiderindustrie, bij luchtverontreinigingsonderzoek, sporadisch in isolatieglas, in laboratoria, bij medisch onderzoek en als lekdetectiegas (Annema, 1989). Fluorjoodkoolwaterstoffen (FIK's, zie bijlage VII) zijn mogelijke vervangers voor halonen, als brandblusmiddel (Kroeze, 1995). In het gebruik is meegenomen de import en export van stoffen als zodanig, conform de jaarrapportages in het kader van het CFK Aktieprogramma, maar niet van stoffen die in een toepassing als koelkasten, brandblussers etc. de grens passeren. Naar onze inschatting betreft het relatief kleinere stromen. Wel is rekening gehouden met de im- en export van spuitbussen (bijlage V).

In stap 1 wordt het zogenaamde pre-Montreal gebruik geschat. Dit is het toekomstige Nederlandse gebruik van halogeenkoolwaterstoffen (zowel ozonlaag-aantasters als hun vervangers) zoals het zou zijn geweest zonder Montreal Protocol. Het gebruik, per toepassing en per stof, van CFK's, HCFK's, halonen, 1,1,1-trichloorethaan, HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ voor de jaren 1986, 1990 en 1994 wordt gegeven in bijlage II. Voor de bepaling van het pre-Montreal gebruik (tabel 3.1) is uitgegaan van het gebruik in 1986. Voor de jaren 2000, 2005, 2010 en 2020 is het gebruik bepaald met een groei-index voor de totale industrie volgens het European Renaissance-scenario (zie bijlage III). Voor aerosolen is uitgegaan van het geschatte gebruik in 1996, omdat sinds kort is omgeschakeld naar het gebruik van HFK's. Aangenomen wordt dat de groei van het gebruik van HFK's in aerosolen plaats vindt volgens de ontwikkeling van de bouwrijverheid (zie bijlage III), omdat 80% van de HFK's in de bouwsector wordt gebruikt in spuitbussen met polyurethaanschuim (PUR).

Tabel 3.1 "Pre-Montreal gebruik" (ton) van stoffen die onder het Montreal Protocol vallen, ofwel het gebruik in Nederland, zoals het zou zijn geweest zonder Montreal Protocol

Toepassing	Stoffen	1986	2000	2005	2010	2020
Aerosol	CFK 11, 12, 113, 114, 1,1,1-trichloorethaan	4229	4846	5154	5507	6476
Rein./oplosm.	CFK 11, 113, 1,1,1-trichloorethaan	6176	7346	7931	8581	10337
Zacht schuim	CFK 11, 12, 114	913	1086	1172	1269	1528
Hard schuim	CFK 11, 12, 113, 114	7589	9027	9746	10545	12702
Stat. koeling	CFK 11, 12, 113, 114, 115	890	1059	1143	1237	1490
Stat. koeling	HCFK 22	1400	1665	1798	1945	2343
Airco mobiel	CFK 12	60	71	77	83	100
Brandblusm.	halon 1301	171	203	220	238	286

In stap 2 wordt een schatting gemaakt van het werkelijke gebruik van ozonlaag-aantastende stoffen (tabel 3.2). Voor HCFK's wordt ervan uitgegaan dat het gebruik gelijk is aan het maximaal toegestane gebruik (zie bijlage IV).

Tabel 3.2 Werkelijk gebruik van ozonlaag-aantastende stoffen (ton) die onder het Montreal Protocol vallen, ofwel het gebruik in Nederland wanneer het Montreal Protocol wordt uitgevoerd

Toepassing	Stoffen	2000	2005	2010	2020
Aerosol	-	0	0	0	0
Rein./oplosm.	HCFK 141b	20	13	4	0
Zacht schuim	-	0	0	0	0
Hard schuim	HCFK 22, 141b, 142b	3.874	2.511	769	0
Stat. koeling	HCFK 22	1.983	1.285	394	0
Airco mobiel	-	0	0	0	0
Brandblusm.	-	0	0	0	0

In stap 3 wordt de hoeveelheid te vervangen halogeenkoolwaterstoffen geschat. Dit is het verschil tussen het pre-Montreal gebruik en het werkelijk verwachte gebruik, als het Montreal Protocol inclusief de aanscherpingen wordt gerealiseerd. Met andere woorden, voor het bepalen van de te vervangen hoeveelheid halogeenkoolwaterstoffen (tabel 3.3) wordt van het pre-Montreal gebruik uit tabel 3.1 het werkelijke gebruik volgens tabel 3.2 afgetrokken.

Tabel 3.3 Te vervangen halogeenkoolwaterstoffen (ton) die onder het Montreal Protocol vallen, ofwel pre-Montreal gebruik (tabel 3.1) - werkelijk gebruik (tabel 3.2)

Toepassing	Stoffen	2000	2005	2010	2020
Aerosol	CFK 11, 12, 113, 114, 1,1,1-trichloorethaan	4.846	5.154	5.507	6.476
Rein./oplosm.	CFK 11, 113, 1,1,1-trichloorethaan	7.326	7.918	8.577	10.337
Zacht schuim	CFK 11, 12, 114	1.086	1.172	1.269	1.528
Hard schuim	CFK 11, 12, 113, 114	5.153	7.235	9.776	12.702
Stat. koeling ¹⁾	CFK 11, 12, 113, 114, 115, HCFK 22	741	1.656	2.788	3.833
Airco mobiel ²⁾	CFK 12	71	77	83	100
Brandblusm.	halon 1301	203	220	238	286

1) kan worden gereduceerd door verbeterde lektheid (zie bijlage VI)

2) exclusief nieuwe markt voor auto-airco's (zie bijlage VI)

In stap 4 worden substitutiepercentages voor verschillende vervangende stoffen (HFK's, PFK's, FIK's en SF₆) geschat (tabel 3.4), gebaseerd op de mondiale substitutiepercentages volgens Kroeze (1995). Een substitutiepercentage is de verwachte procentuele vervanging van ozonlaag-aantastende stoffen in een bepaalde toepassing door een bepaalde vervanger.

Tabel 3.4 Substitutiepercentages voor de vervanging van ozonlaag-aantastende stoffen door HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ (in % van de te vervangen hoeveelheid)

Toepassing	Pre-Montreal gebruik	Vervangende stof	Geschatte substitutie van te vervangen gebruik			
			2000 (%)	2005 (%)	2010 (%)	2020 (%)
Aerosol	CFK 11, 12, 113, 114 en 1,1,1-trichloorethaan	HFK 134a	9	9	9	9
		HFK 152a	2,3	2,3	2,3	2,3
Rein.-/oplosm.	CFK 11, 113, en 1,1,1-trichloorethaan	HFK 43-10	0,5	0,5	2	2
		PFK's	0,5	0,5	2	2
Zacht schuim	CFK 11, 12 en 114	HFK 134a	0,5	0,5	0,5	0,5
		HFK 152a	0,5	0,5	0,5	0,5
Hard schuim	CFK 11, 12, 113 en 114	HFK 134a	0,6	0,6	2,5	2,5
		HFK 143a	1,25	1,25	5	5
		HFK 152a	0,6	0,6	2,5	2,5
		HFK 236fa	2,5	2,5	10	10
		HFK 245ca	2,5	2,5	10	10
		HFK 356	2,5	2,5	10	10
Stat. koeling	CFK 11, 12, 113, 114 en 115	HFK 23	2,5	2,5	3	3
		HFK 32	2,5	2,5	3	3
		HFK 134a	25	25	30	30
		HFK 125	2,5	2,5	3	3
		HFK 143a	2,5	2,5	3	3
		HFK 152a	2,5	2,5	3	3
		HFK 227ea	2,5	2,5	3	3
		PFK's	2	2	2	2
Airco mobiel	CFK 12	HFK 134a	75	75	75	75
Brandblusm.	halon 1301 ¹⁾	HFK 23	3	3	3	3
		HFK 125	3	3	3	3
		HFK 134a	3	3	3	3
		HFK 227ea	25	25	25	25
		PFK's	3	3	3	3
		FIK's	3	3	3	3
		SF6	3	3	3	3

1) Halon 1211 wordt gebruikt in draagbare brandblussers en deze stof wordt niet vervangen (zie paragraaf 2.2: brandbestrijding)

In stap 5 wordt op basis van bovenstaande informatie het toekomstig gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ geschat als: [substitutiepercentage * (pre-Montreal gebruik van ozonlaag-aantastende stoffen - verwacht gebruik) + pre-Montreal gebruik van potentiële substituten]. Ofwel, voor tabel 3.5 is het te vervangen gebruik van tabel 3.3 vermenigvuldigd met het substitutiepercentage van tabel 3.4 + de hoeveelheid substituuut die gebruikt zou zijn zonder Montreal Protocol. Het gebruik van koelmiddel is lager dan berekend zou worden op basis van tabellen 3.3 en 3.4, door verbeterde lekdichtheid, waardoor minder koelmiddel nodig

is voor bijvullen (zie bijlage VI). Tevens zijn de proces-emissies van HFK 23 en PFK's in tabel 3.5 opgenomen en de emissies tijdens verpakken en ompakken.

Tabel 3.5 Gebruik (ton) van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in 2000, 2005, 2010 en 2020 als vervangers van ozonlaag-aantastende stoffen, ofwel het te vervangen gebruik (tabel 3.3) * de substitutiepercentages (tabel 3.4) + proces-emissies.

Toepassing	Vervangende stof	2000	2005	2010	2020	
<u>Gebruik van stoffen als substituuat voor stoffen die onder Montreal Protocol vallen</u>						
Aerosol	HFK 134a	436	464	496	583	
	HFK 152a	111	119	127	149	
Rein.-/oplosm.	HFK 43-10	37	40	172	207	
	PFK's	37	40	172	207	
Zacht schuim	HFK 134a	5	6	6	8	
	HFK 152a	5	6	6	8	
Hard schuim	HFK 134a	31	43	244	318	
	HFK 143a	64	90	489	635	
	HFK 152a	31	43	244	318	
	HFK 236fa	129	181	978	1270	
	HFK 245ca	129	181	978	1270	
	HFK 356	129	181	978	1270	
Stat. koeling ¹⁾	HFK 23	14	29	50	62	
	HFK 32	14	29	50	62	
	HFK 134a	139	293	504	620	
	HFK 125	14	29	50	62	
	HFK 143a	14	29	50	62	
	HFK 152a	14	29	50	62	
	HFK 227ea	14	29	50	62	
	PFK's	9	20	34	41	
	Airco mobiel ²⁾	HFK 134a	236	440	630	951
	Brandblusm.	HFK 23	6	7	7	9
HFK 125		6	7	7	9	
HFK 134a		6	7	7	9	
HFK 227ea		51	55	59	72	
PFK's		6	7	7	9	
FIK's		6	7	7	9	
SF ₆		6	7	7	9	
Verpakking	HFK 125	20	36	57	70	
	HFK 134a	30	44	66	87	
	HFK 143a	5	8	34	44	
	HFK 152a	25	31	66	82	
	<u>Pre-Montreal gebruik van potentiële substituten</u>					
Brandblusm.	SF ₆	62	67	72	87	
Overige	SF ₆	4	4	4	5	
<u>Proces- en feedstock emissies</u>						
Aluminiumprod. ³⁾	CF ₄ , C ₂ F ₆	330	330	210	210	
HCFK 22 prod. ⁴⁾	HFK 23	50-250	50-250	50-250	50-250	
Feedstock ⁵⁾	HFK 23	40	40	40	40	

1) Het gebruik van koelmiddel is lager dan berekend zou worden op basis van tabellen 3.3 en 3.4, door verbeterde lekdichtheid, waardoor minder koelmiddel nodig is voor bijvullen (zie bijlage VI)

2) De vraag naar airconditioning voor auto's neemt sinds enkele jaren toe en naar verwachting zal in 2020 de helft van de verkochte auto's voorzien zijn van airconditioning. Het gebruik wordt dus bepaald door vervanging van ozonlaag-aantastende stoffen en door een uitbreiding van de markt (zie bijlage VI).

3) Gebaseerd op informatie van Aluminium Delfzijl BV en Pechiney (1996; zie bijlage II)

4) Aangenomen wordt dat door naverbranding een reductie van 50-90% mogelijk is ten opzichte van de emissie van 1994 (zie ook par. 2.2)

5) Emissie ten gevolge van het gebruik van HCFK 22 als grondstof

4. EMISSIES IN DE PERIODE 1990 - 2020

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden actuele emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ geschat (stap 6 zoals beschreven in hoofdstuk 2.1. De emissies zijn geschat op basis van de vorige stappen en met behulp van de methode zoals beschreven in hoofdstuk 2.2 (tabel 2.1). Bijlage VIII geeft een overzicht van het gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in het referentie-scenario in 2020. Het gebruik van deze stoffen bedraagt dan 8361 ton per jaar (bijlage VIII).

In het referentie-scenario blijken gesloten schuimen de belangrijkste toepassingen in Nederland in de toekomst (meer dan de helft van het gebruik in 2010-2020), waarvoor met name de HFK's 236fa, 245ca en 356 gebruikt kunnen gaan worden, wanneer HCFK's worden uitgebannen. Momenteel worden in de schuimsector nog weinig HFK's gebruikt. De toename in het gebruik is geschat op marktverwachtingen buiten Nederland. De CFK's zijn, in overeenstemming met ontwikkelingen in het buitenland, vooral vervangen door pentanen, of water (CO₂). In het buitenland verwacht men een groei van HFK's in deze sector wanneer ook HCFK's niet meer beschikbaar zijn. In hoeverre de Nederlandse markt een afwijkend beeld zal geven is vooralsnog onduidelijk. In deze studie is verondersteld dat de ontwikkelingen in Nederland conform die in het buitenland zullen zijn.

Andere belangrijke toepassingen in het referentie-scenario zijn koeling en als aerosol. De gebruikte koelmiddelen (met name HFK 134a) worden vooral gebruikt in grote koelinstallaties en auto-airco. Slechts 2,5% van de koelmiddelen wordt in huishoudkoelkasten gebruikt. Aerosol-gebruik betreft naar verwachting met name HFK 134a voor PUR schuim (spuitbussen). De eigen markt (pre-Montreal) van SF₆ is in 2020 groot ten opzichte van het gebruik als substituut voor ozonlaag-aantastende stoffen.

4.2 Scenario beschrijving

Emissies worden hier gepresenteerd voor de volgende scenario's

1. Referentie-scenario
2. Gesloten toepassingen-scenario
3. Laag GWP-scenario

Voor elk van deze drie scenario's worden twee varianten doorgerekend: een *no control* variant en een *maximum emission control* variant (zie tabel 2.1). No control wil zeggen dat er geen extra maatregelen worden getroffen om emissies te reduceren. Maximum emission control gaat uit van maximale inzet op good housekeeping, hergebruik en vernietiging van afgedankte fluorkoolwaterstoffen. Hieronder volgt een beschrijving van de scenario's.

Referentie-scenario (no control)

Gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ als substituut voor ozonlaag-aantasters

- Het 1992 Montreal Protocol wordt uitgevoerd (Kopenhagen aanscherping). Dit betekent dat in het model het gebruik van CFK's en halonen niet meer is toegestaan vanaf 1995. HCFK's worden in dit scenario gebruikt zoals beschreven in hoofdstuk 3 (tabel 3.2). De toe- en afnames tussen jaren zijn alle lineair. In het referentie-scenario wordt dus verondersteld dat het Montreal Protocol zonder vertraging wordt uitgevoerd. Dit is wellicht een optimistische veronderstelling.
- Het pre-Montreal gebruik, werkelijk gebruik en te vervangen gebruik in 2000 - 2020 is geschat zoals beschreven in hoofdstuk 3.
- In 2000 wordt ongeveer 9% van de te vervangen hoeveelheid CFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan vervangen door HFK's, PFK's, FIK's en SF₆. In 2020 is dit percentage opgelopen tot 25%. Deze toename wordt veroorzaakt door het uitfaseren van HCFK's. Er is aangenomen dat substitutie begint na 1990 en dat 2,5% van de koelmiddelen wordt gebruikt in huishoudkoelkasten en -vriezers.
- Er is verondersteld dat emissies tijdens verpakking van HFK's toenemen met het gebruik van de betreffende HFK in Nederland.

Proces- en feedstock-emissies

- Dit betreft emissies van HFK 23 tijdens de productie van HCFK 22 en tijdens het gebruik van HCFK 22 als feedstock en de emissie van PFK's tijdens aluminiumproductie (zie 2.2). De emissies van HFK 23 halveren na 2000, zoals beschreven in hoofdstuk 2. Projecties voor de uitstoot van PFK's zijn beschreven in bijlage II (noot k).

Pre-Montreal gebruik (eigen markt) van SF₆

- Zonder Montreal Protocol hadden emissies plaatsgevonden van SF₆ en vermoedelijk een aantal HFK's. Het toekomstig gebruik neemt in het referentie-scenario toe volgens de groei-index in bijlage III. De eigen markt van HFK's is verwaarloosbaar verondersteld.

Berekening emissies

- Actuele emissies worden berekend als beschreven in hoofdstuk 2 (tabel 2.1, no control). Dus in het referentie-scenario vindt geen hergebruik plaats. Het referentie-scenario negeert eventuele nieuwe toepassingsgebieden met uitzondering van een nieuwe markt voor airconditioning in auto's. Er wordt geen rekening gehouden met import en export van fluorkoolwaterstoffen in apparatuur, met uitzondering van aerosol.

Referentie-scenario (maximum emission control)

- Het enige verschil met bovenstaand scenario is dat in "reference + MAX" maximale inspanningen worden geleverd om emissies te reduceren door good housekeeping, hergebruik en het vernietigen van afgedankte fluorkoolwaterstoffen.
- Emissies worden berekend zoals beschreven in hoofdstuk 2 (tabel 2.1). Het effect van emissie reducerende maatregelen is beschreven in Kroeze (1995). De algemene veronderstelling is dat 80% van de fluorkoolwaterstoffen die na gebruik wordt aangetroffen in apparatuur, wordt hergebruikt en vernietigd. Bovendien wordt lektheid verder verbeterd en onnodige lekkage verhinderd. Daarnaast is verondersteld dat proces- en feedstock-emissies verder gereduceerd kunnen worden, zoals beschreven in hoofdstuk 2. Een dergelijke reductie zal niet plaatsvinden zonder aanvullend beleid.

Gesloten toepassingen-scenario (no control)

Gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ als substituut voor ozonlaag-aantasters

- In dit scenario worden fluorkoolwaterstoffen slechts gebruikt in relatief gesloten toepassingen. Verder is het identiek aan het referentie-scenario. In Kroeze (1995) is aangetoond dat werkelijk gesloten systemen niet bestaan. Doorgaans hebben systemen met lage jaarlijkse lek lange levensduren, zodat in de gebruiksfase uiteindelijk toch een aanzienlijk deel van de fluorkoolwaterstoffen in de atmosfeer terecht komt. Desondanks worden stationaire koeling en gesloten schuimen in dit scenario gerekend tot de meest gesloten systemen, met een jaarlijkse gemiddelde lek van minder dan 5% bij *maximum emission control*.

Proces- en feedstock-emissies.

- Als referentie-scenario.

Pre-Montreal gebruik (eigen markt)

- Als referentie-scenario.

Gesloten toepassingen-scenario (maximum emission control)

- In "gesloten toepassingen + MAX" wordt uitgegaan van maximale inzet om emissies te reduceren. Zie voor een beschrijving het referentie-scenario.

Laag GWP-scenario (no control)

Gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ als substituut voor ozonlaag-aantasters en eigen (pre-Montreal) markt

- In dit scenario wordt verondersteld dat de gemiddelde Global Warming Potential (GWP; zie bijlage VII) van de gebruikte stoffen relatief laag is. Verder is het scenario identiek aan het referentie-scenario. Dus voor iedere toepassing geldt: de totale hoeveelheid die gebruikt wordt in tonnen is gelijk aan het referentie-scenario, maar de gebruikte stoffen hebben een lage gemiddelde GWP. Dit kan betekenen dat mengsels van stoffen worden gebruikt, waarbij hoog GWP-stoffen worden gemengd met laag GWP-stoffen. Voor de meeste toepassingen geldt dat er slechts enkele (mengsels van) HFK's bruikbaar zijn. Dit scenario impliceert daarom dat een aantal toepassingen naar niet-fluorkoolwaterstoffen zal uitwijken.

- In dit scenario is voor iedere toepassing de gemiddelde GWP van de gebruikte stoffen lager dan 250. Dit is minstens 90% lager dan de gemiddelde GWP van fluorkoolwaterstof-emissies tengevolge van het gebruik als substituut voor ozonlaag-aantastende stoffen in het referentie-scenario. Dit impliceert dus de veronderstelling dat voor 90% van de stoffen, gebruikt voor het Montreal Protocol, een laag GWP-alternatief beschikbaar is. In Kroeze (1995) is beschreven dat, wereldwijd, voor 90 - 100% van de CFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan, zoals gebruikt voor het Montreal Protocol, alternatieven anders dan fluorkoolwaterstoffen beschikbaar zijn. Het beperken van het gebruik van fluorkoolwaterstoffen tot stoffen met een GWP < 250 is dus een technisch haalbaar scenario.

- Fluorkoolwaterstoffen met een directe GWP < 250 zijn HCFK 123, HCFK 225ca, HFK 152a, HFE B en de FIK's. De GWP's van HFK 143 en HFE A zijn in de range van 250 - 500, en die van HFK 32 en HFK 245ca in de range 500 - 750 (IPCC, 1995).

Proces- en feedstock-emissies

- Als referentie-scenario.

Laag GWP-scenario (maximum emission control)

- In "laag-GWP + MAX" wordt uitgegaan van maximale inzet om emissies te reduceren. Zie voor een beschrijving het referentie-scenario.

4.3 Emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆; 1990 - 2020

Tabellen 4.1 - 4.3 en figuren 4.1 - 4.8 geven een overzicht van de Nederlandse emissie van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in de periode 1990 - 2020, zowel uitgedrukt in tonnen als in CO₂-equivalenten. Voor het berekenen van CO₂-equivalente emissies zijn Global Warming Potentials gebruikt zoals gerapporteerd door IPCC (1995; zie bijlage VII). Een overzicht van emissies per stof per toepassing is gegeven in bijlage IX.

Emissies in het referentie-scenario

In het referentie-scenario nemen de Nederlandse emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ toe van 878 ton in 1990 tot 6983 ton in 2020 (tabel 4.1 en figuren 4.3 en 4.4). Dit komt overeen met 8,5 Mt CO₂-equivalenten in 1990 en 21,4 Mt CO₂-equivalenten in 2020 (tabel 4.3). De CO₂-equivalente emissies worden bepaald door de emissie in tonnen te vermenigvuldigen met Global Warming Potentials (GWP's) zoals gepresenteerd door het Intergovernmental Panel on Climate Change (bijlage VII).

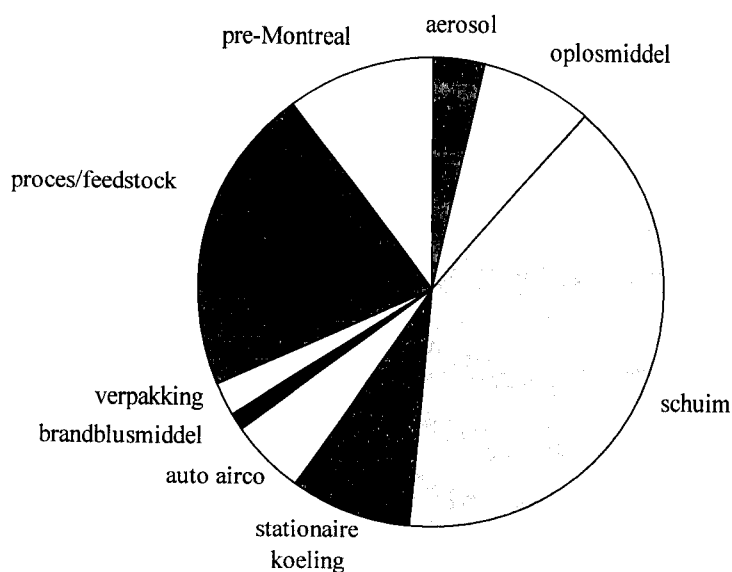
Uit figuur 4.3 blijkt dat in de periode 1990 - 1995 de uitstoot voor ruim 80% veroorzaakt wordt door de proces- en feedstock-emissies (HFK 23-vorming tijdens de produktie van HCFK 22 en PFK-vorming tijdens aluminium-produktie) en voor ongeveer 15% door de eigen markt van SF₆ ("pre-Montreal gebruik", ofwel gebruik dat ook plaats zou hebben gehad zonder Montreal Protocol). Na 2000 zijn de proces- en feedstock-emissies gereduceerd, zoals beschreven in hoofdstuk 2.

De groei in emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ wordt in de scenario's vooral veroorzaakt door een toenemend gebruik van de stoffen als alternatief voor CFK's en andere ozonlaag-aantastende stoffen. In 2020 is ongeveer 70% van de CO₂-equivalente emissie het gevolg van gebruik van deze stoffen als substituuat voor ozonlaag-aantasters (figuren 4.1 en 4.2).

Bij het blazen van gesloten schuimen wordt momenteel in Nederland weinig gebruik gemaakt van HFK's. Echter wanneer de Nederlandse markt zich zal gedragen als de internationale, zullen emissies uit deze sector snel stijgen (figuur 4.5). In het referentie-scenario is deze sector in 2020 verantwoordelijk voor ongeveer 40% van de CO₂-equivalente emissies (bijlage IX). Het blazen van zachte schuimen is daarentegen een relatief kleine bron van emissies (bijlage IX; figuur 4.1). Volgens fabrikanten van polyurethaanschuim kan het gebruik van HFK's in Nederland minder zijn dan hier is aangenomen. Of de Nederlandse markt in dit opzicht af zal wijken van de internationale markt, zal nader onderzoek uit moeten wijzen. Emissies uit stationaire koeling zouden na 2000 aanzienlijk hoger zijn geweest, als er geen lekdichtheidsvoorschriften waren geweest.

De koelsektor draagt ruim 10% bij aan de CO₂-equivalente emissies in 2020 in het referentie-scenario. Meer dan de helft hiervan is afkomstig van de auto-airconditioning (bijlage IX; figuur 4.1). Het gebruik van HFK's in airconditioning in auto's is geschat op 951 ton in 2020 (bijlage VIII). Dit komt goed overeen met een studie van Olivier et al. (1994), waarin het gebruik van HFK 134a in auto-airco's werd geschat op 1000 (0 - 5000) ton per jaar. Dit is geen vervanging van CFK's, maar moet beschouwd worden als een nieuwe toepassing.

Emissies van oplosmiddelen dragen ongeveer 8% bij aan de CO₂-equivalente emissies in 2020 in het referentie-scenario. Het betreft hier met name PFK's, met een relatief hoge GWP. Gebruik als aerosol en als brandblusmiddel levert in het referentie-scenario een relatief bescheiden aandeel in de totale CO₂-equivalente emissies. Tot het jaar 2000 leveren HFK 23, PFK's en SF₆ de grootste bijdrage aan de CO₂-equivalente emissie in het referentie-scenario (figuren 4.7 en 4.8). De HFK 23-uitstoot is voornamelijk het gevolg van vorming tijdens de productie van HCFK 22. Zoals beschreven in hoofdstuk 2, wordt in het referentie-scenario verondersteld dat deze emissie vanaf 2000 belangrijk zal afnemen door naverbranding. Ook de uitstoot van PFK's tijdens aluminiumproductie neemt na 2000 af. Deze afname wordt echter gecompenseerd door een veronderstelde toename in gebruik van PFK's als oplosmiddel. Na de eeuwwisseling krijgt de uitstoot van andere HFK's de overhand in het referentie-scenario, met name tengevolge van het gebruik als substituuut voor ozonlaag-aantastende stoffen (figuur 4.7).



Figuur 4.1 Verdeling van de emissies in 2020 (kt CO₂-equivalenten/jaar) volgens het referentie-scenario (no control). De totale emissie bedraagt 21 Mton (zie tabel IX.8)

Mogelijkheden om emissies te reduceren

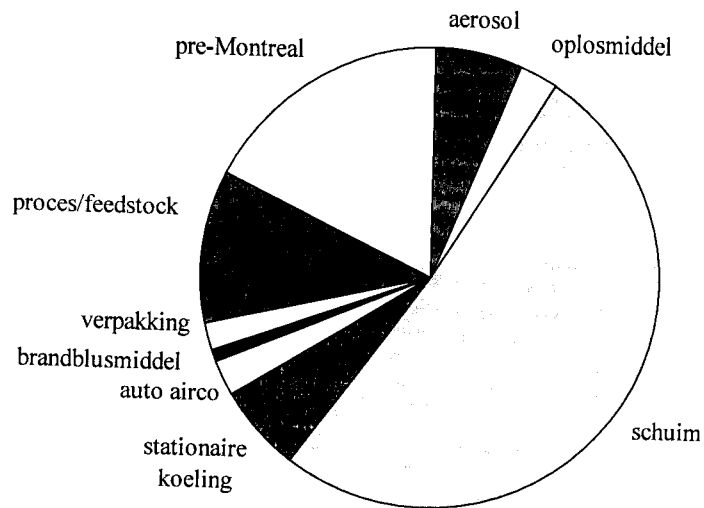
Na 2000 zijn in het referentie-scenario met *maximum emission control* de CO₂-equivalente emissies 40 - 50% lager dan in het *no control* scenario (tabel 4.4). In 2020 is het effect van good housekeeping, hergebruik en vernietiging van afgedankte stoffen en emissie-reductie het grootst voor gebruik als oplosmiddelen en voor koeling, zoals blijkt uit de figuren 4.1, 4.2, 4.5 en 4.6. Bovendien zijn proces-emissies aanzienlijk gereduceerd door optimalisatie van de naverbranding bij de HCFK 22-productie, waardoor de HFK 23-emissie lager is, en door vermeden PFK-emissies bij de aluminiumproductie (figuur 4.3).

In het scenario waarin het gebruik van deze stoffen wordt beperkt tot stationaire koeling en het blazen van gesloten schuimen (het gesloten toepassingen-scenario) zijn de emissies ongeveer 15 - 25% lager dan in het referentie-scenario. Wordt tegelijkertijd ingezet op *maximum emission control* dan bedraagt de reductie 50 - 60%.

De grootste reducties worden bereikt in het scenario waarin slechts stoffen met een GWP lager dan 250 worden gebruikt. In het laag GWP-scenario met maximum emission control zijn de emissies 80 - 90% lager dan in het referentie-scenario zonder maximum emission control. De emissies die nog plaatsvinden in dit scenario worden voornamelijk veroorzaakt door PFK-uitstoot tijdens aluminium-productie en HFK 23-uitstoot bij HCFK 22-productie.

De gemiddelde GWP van uitgestoten HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ bedraagt in het referentie-scenario in het jaar 2000 ongeveer 5000. Dit is hoger dan de gemiddelde GWP van wereldwijde emissies, die ongeveer 2500 is (Kroeze, 1995). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de relatief grote uitstoot van HFK 23 en PFK's, ondanks de verwachte emissiereducties. Deze stoffen hebben een relatief hoge GWP (bijlage VII). Omdat in het scenario is verondersteld dat deze emissies niet toenemen in de tijd, neemt het relatieve aandeel hiervan in de totale emissie af. Het gevolg is dat de gemiddelde GWP in het referentie-scenario tussen de jaren 2000 en 2020 afneemt tot 3000 (tabel 4.3).

De bijdrage van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ aan Nederlandse broeikasgas-emissies kan worden geïllustreerd door de emissie uit te drukken als percentage van de Nederlandse CO₂-uitstoot (tabel 4.3). De Nederlandse CO₂-uitstoot bedroeg in 1990 173 Mton en in 1994 178 Mton. Voor toekomstige jaren is gerekend met de beleidsdoelstelling (168 Mton in 2000 en daarna). In 1990 is de uitstoot van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ gelijk aan 5% van de CO₂-uitstoot. In 2005 en 2020 bedraagt dit percentage 6 en 13% van de CO₂-doelstelling (referentie-scenario). In de scenario's waarin het gebruik is beperkt tot stationaire koeling en het blazen van gesloten schuimen is de toekomstige emissie gelijk aan 2 - 10% van de CO₂-emissie. En in de scenario's waarin stoffen met een GWP < 250 worden gebruikt is de uitstoot 1 - 3% van de CO₂-uitstoot.



Figuur 4.2 Verdeling van de emissies in 2020 (kt CO₂-equivalenten/jaar) volgens het referentie-scenario (maximum emission control). De totale emissie bedraagt 12 Mton (zie tabel IX.12)

Table 4.1 Emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in het referentie-scenario (no control) in 2020 (ton per jaar)

HFK-	23	32	125	134a	143a	152a	227ea	236fa	245ca	356	43-10mee	PFK ³	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol				578		148									726
Oplosmiddel											205	205			410
Open schuim			8			8									15
Gesloten schuim			206	412	206	206	824	824	824	824					3294
Stationaire Koeling	45	45	45	448	45	45	45					30			747
Auto-airconditioning															899
Brandblusmiddelen	3		3	3			25					3	3	3	45
Verpakking van HFK's			64	85	44	81									274
Proces en feedstock ¹	270											210			480
Eigen markt ²														92	92
Totaal	318	45	112	2227	501	448	70	824	824	824	205	448	3	95	6983

¹ proces-emissies en emissies tijdens gebruik als grondstof.

² emissies door pre-Montreal gebruik van SF₆ voor isolatie in elektrotechnische vermogensschakelaars.

³ CF₄ : C₂F₆ = 10 : 1

Tabel 4.2 Emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in het referentie-scenario (maximum emission control) in 2020 (ton per jaar)

HFK-	23	32	125	134a	143a	152a	227ea	236fa	245ca	356	43-10mee	PFK ³	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol				578		148									726
Oplosmiddel											41	41			82
Open schuim			3			3									7
Gesloten schuim			151	303	151	151	605	605	605	605					2421
Stationaire Koeling	19	19	19	189	19	19	19					13			315
Auto-airconditioning				260											260
Brandblusmiddelen	1	1	1	1		11						1	1	1	19
Verpakking van HFK's			32	43	22	41									137
Proces en feed-stock ¹	54											105			159
Eigen markt ²														92	92
Totaal	74	19	52	1226	344	362	30	605	605	605	41	160	1	93	4219

¹ proces-emissies, emissies bij verpakking en tijdens gebruik als grondstof.

² emissies door pre-Montreal gebruik van SF₆ voor isolatie in elektrotechnische vermogensschakelaars.

³ CF₄ : C₂F₆ = 10 : 1

Tabel 4.3. Nederlandse CO₂-equivalente emissie, gemiddelde GWP van de mix van HFK's, PFK's en SF₆ geëmitteerd en totale CO₂-equivalente emissies uitgedrukt als % van de Nederlandse CO₂ emissie in 1990; voor het referentie-scenario (referentie), gesloten toepassing-scenario (gesloten) en laag GWP-scenario (GWP < 250); voor alle drie scenario's worden emissies gegeven voor een situatie zonder emissie reductie (No control) en voor een situatie met maximale inzet op goed housekeeping, hergebruik en vernietiging van afgedankte fluorokoolwaterstoffen (+ MAX)

Jaar	Totale emissie (ton)			Totale CO ₂ -eq. emissie (Mt)			Gemiddelde GWP			% van CO ₂ emissie in 1990-2020		
	referentie	gesloten	GWP < 250	referentie	gesloten	GWP < 250	referentie	gesloten	GWP < 250	referentie	gesloten	GWP < 250
	No control	No control	No control	No control	No control	No control	No control	No control	No control	No control	No control	No control
1990	878	878	878	8,5	8,5	8,5	9712	9712	9712	5	5	5
1994	1145	1145	1145	10,3	10,3	10,3	8993	8993	8993	6	6	6
2000	1781	990	1781	8,9	7,6	5,4	4996	7647	3044	5	5	3
2005	2398	1334	2398	10,2	8,4	5,5	4261	6325	2275	6	5	3
2010	3918	2348	3918	13,7	10,4	4,9	3501	4430	1244	8	6	3
2020	6983	4888	6983	21,1	17,1	5,0	3068	3504	720	13	10	3
	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX	+ MAX
1990	878	878	878	8,5	8,5	8,5	9712	9712	9712	5	5	5
1994	1145	1145	1145	10,3	10,3	10,3	8993	8993	8993	6	6	6
2000	1117	526	1117	4,6	3,8	1,8	4129	7264	1595	3	2	1
2005	1531	807	1531	5,6	4,6	1,8	3640	5668	1186	3	3	1
2010	2213	1350	2213	7,1	5,7	1,6	3227	4248	708	4	3	1
2020	4219	3124	4219	12,4	10,6	1,7	2932	3390	397	7	6	1

Tabel 4.4 Het effect van verschillende opties om emissies te reduceren na 2000 (ranges gebaseerd op de verschillende jaren; zie tabel 4.3)

Optie	Reductie ten opzichte van het referentie-scenario (no control)
Maximum emission control	40 - 50
Gebruik beperken tot gesloten toepassingen	15 - 25%
Gebruik beperken tot gesloten toepassingen + maximum emission control	50 - 60%
Gebruik beperken tot stoffen met een GWP < 250	40 - 75%
Gebruik beperken tot stoffen met een GWP < 250 + maximum emission control	80 - 90%

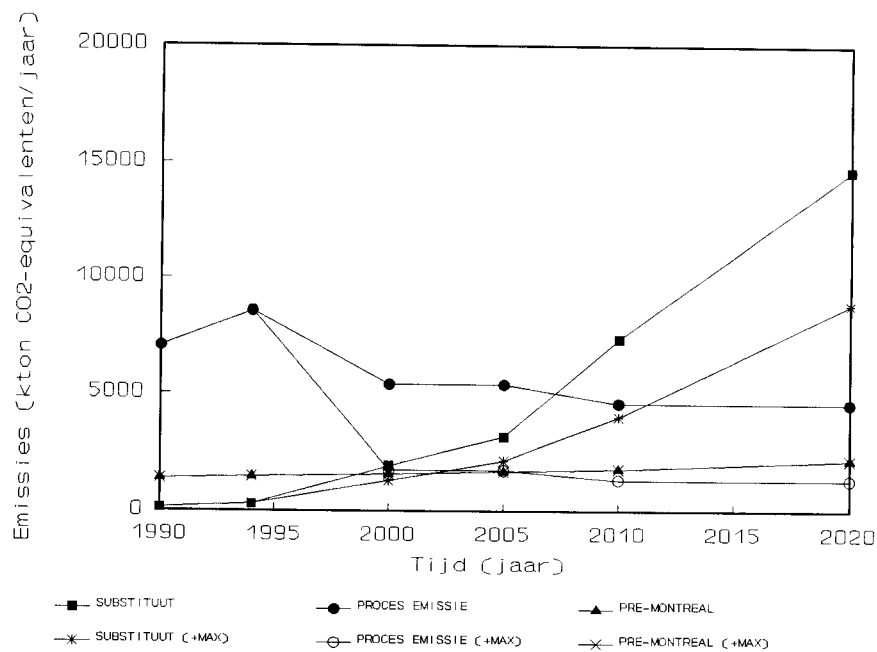


Fig. 4.3 Emissies van HFK's PFK's, FIK's en SF₆ in het referentie-scenario met (+MAX) en zonder *maximum emission control*, in kt CO₂-equivalenten per jaar. SUBSTITUUT: emissies tengevolge van gebruik als substituuat voor ozonlaag-aantastende stof; PROCES-EMISSIE: proces-emissies van HFK 23 en PFK's en emissies door gebruik als feedstock; PRE-MONTREAL: emissie tengevolge van eigen markt van SF₆.

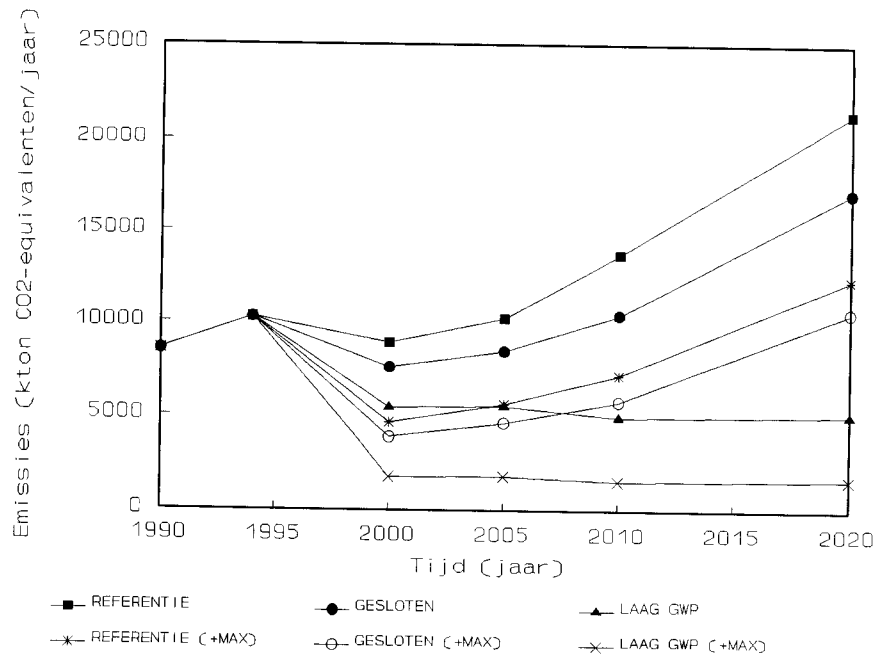


Fig. 4.4 Emissies van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in het referentie-scenario, gesloten toepassingen-scenario en laag GWP-scenario, alle drie met (+ MAX) en zonder *maximum emission control*; in kt CO₂-equivalenten per jaar

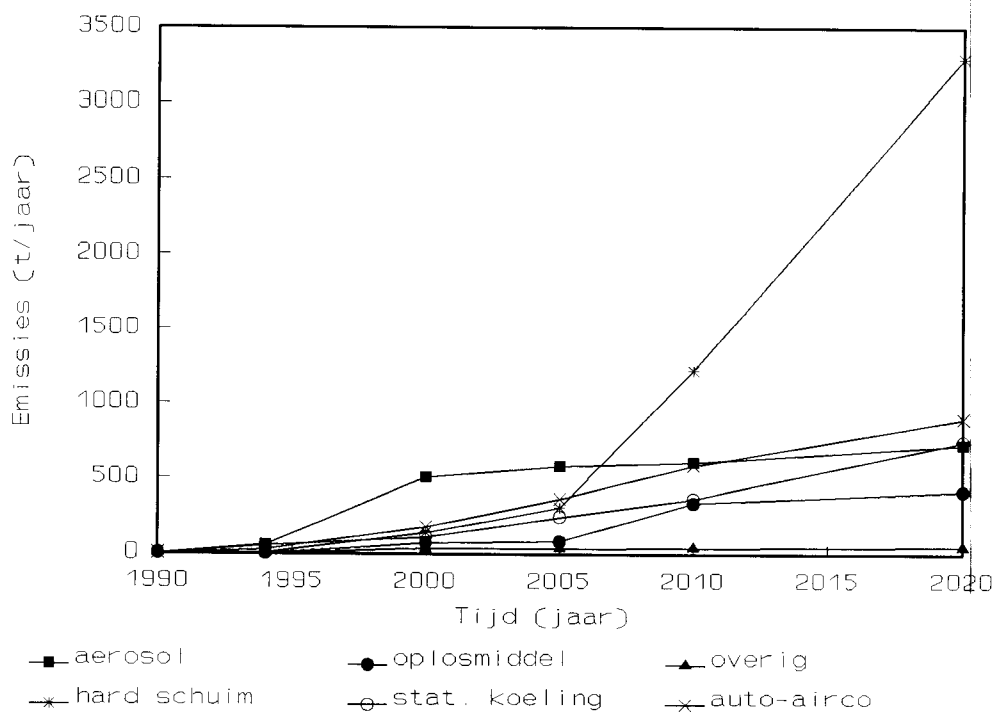


Fig. 4.5 Emissies van HFK's PFK's, FIK's en SF₆ die gebruikt worden als substituuat voor ozonlaag-aantastende stoffen in het referentie-scenario (no control) in ton per jaar voor verschillende toepassingen.

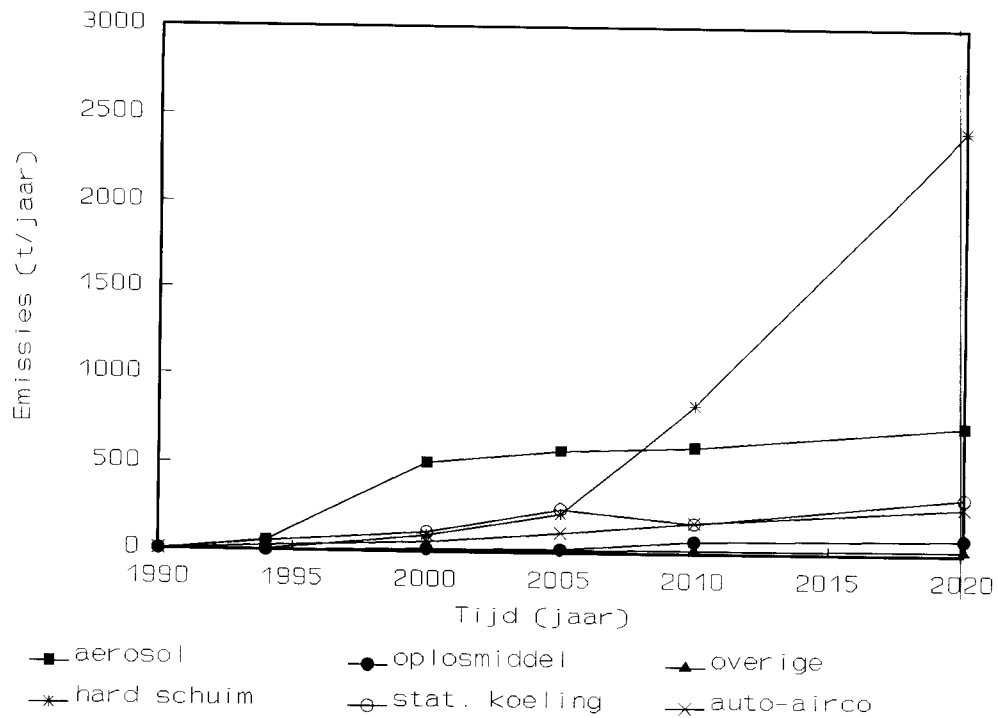


Fig. 4.6 Emissies van HFK's PFK's, FIK's en SF₆ die gebruikt worden als substituuat voor ozonlaag-aantastende stoffen in het referentie-scenario (*maximum emission control*) in ton per jaar voor verschillende toepassingen.

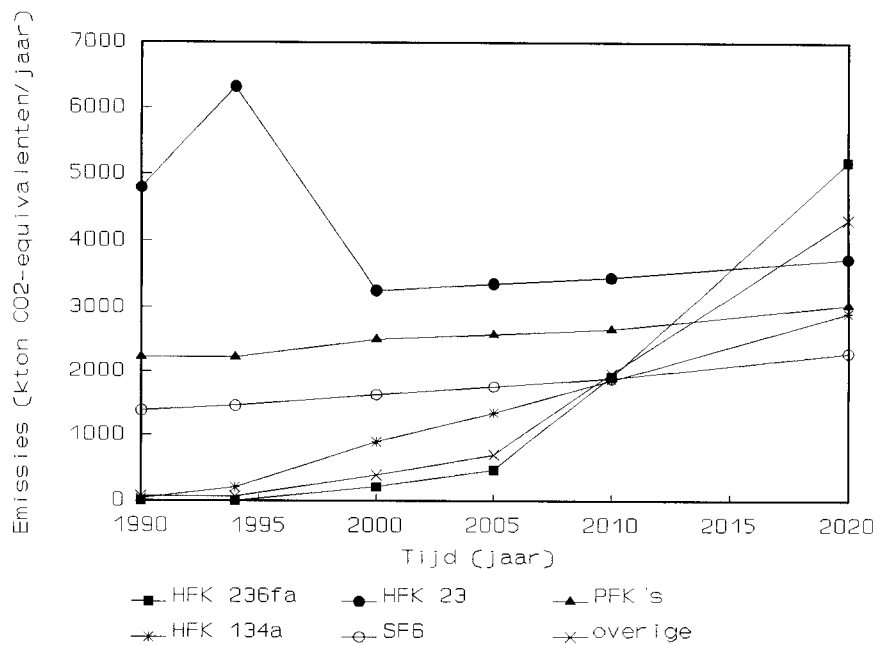


Fig. 4.7 Totale emissies van HFK's PFK's, FIK's en SF₆ (gebruikt als substituuat voor ozonlaag-aantastende stoffen, eigen markt, proces- en feedstock-emissies en emissies tijdens verpakking) in het referentie-scenario (*no control*) in kt CO₂-equivalenten per jaar.

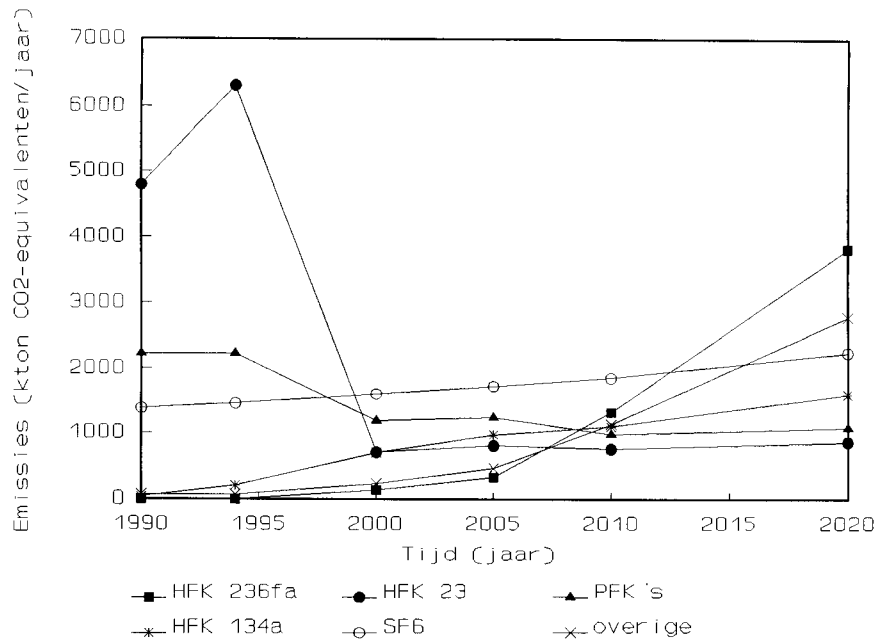


Fig. 4.8 Totale emissies van HFK's PFK's, FIK's en SF₆ (gebruikt als substituuat voor ozonlaag-aantastende stoffen, eigen markt, proces- en feedstock-emissies en emissies tijdens verpakking) in het referentie-scenario (maximum emission control) in kt CO₂-equivalenten per jaar.

5 OVERZICHT VAN TECHNISCHE OPTIES EN ALTERNATIEVEN

Het gebruik, de import en export, het hergebruik en emissies in 2020 volgens het referentie-scenario (no control en maximum control) zijn opgenomen in tabel 5.1. Het grootste toepassingsgebied is schuim. De grootste emissiereductie door hergebruik en vernietiging is mogelijk bij koeling en gebruik als reinigings- en oplosmiddel.

Tabel 5.1 Gebruik, import, export, hergebruik en emissies in 2020 (referentiescenario; no control en maximum control; ton; zie bijlage IX))

Toepassing/bron	Gebruik ¹⁾	Import	Export	Hergeb./verniet. ³⁾ (no control)	Hergebruik (max. control) ²⁾	Emissie (no control)	Emissie (max. control) ⁵⁾
Aerosolen	732	274	438	0	0	726	726
Rein./oplosm.	413	0	0	0	331	410	82
Schuim	5.096	0	0	0	8	3.309	2.428
Koeling	948	0	0	0	271	747	315
Airco mobiel	951	0	0	0	96	899	260
Brandblusm.	129	0	0	0 ₄₎	0 ₄₎	45	19
Verpakking	0	0	0	0	0	274	137
Pre-Montreal emissies	0	0	0	0	0	92	92
Proces-emissies	92	0	0	0	0	480	159

- 1) het gebruik is lager als hergebruik plaats vindt, of door verbeterde lekdichtheid
- 2) deze hoeveelheid komt in max. emission control-scenario maximaal beschikbaar voor hergebruik/vernietiging
- 3) in werkelijkheid vindt hergebruik plaats van koel- en brandblusmiddel; in de "no control" scenario's wordt dit ter vereenvoudiging op 0 gesteld
- 4) emissies worden berekend als % van de verkoop van nieuw brandblusmiddel (tabel 2.1), dus hergebruik is per definitie 0
- 5) inclusief vermeden gebruik door verbeterde lekdichtheid en hergebruik

In de scenario's in hoofdstuk 4 worden voor een aantal toepassingen als mogelijke opties voor emissiebeperking genoemd:

- het beperken van HFK-gebruik tot relatief gesloten toepassingen;
- het beperken van HFK-gebruik tot HFK's met een lage GWP;
- maximale emissiecontrole door good housekeeping en hergebruik of vernietiging van afgedankte fluorkoolwaterstoffen.

Daarnaast volgen hierna in het kort een aantal specifieke alternatieven en opties per toepassing (CFK Actieprogramma, 1991; Olivier et al., 1994; Kroeze, 1995). Alternatieven en opties worden uitgebreid behandeld door Kroeze (1995).

Productie van fluorkoolwaterstoffen

- Nagegaan dient te worden of terugwinning van HFK 23 uit de afgassen van het HCFK 22-productieproces op economisch verantwoorde wijze mogelijk is.

Aerosolen

- Non-spray techniek. Mechanische verstuivers. Droogpoederinhalers. De omschakeling naar alternatieve technologieën bij gebruik van dragergas voor sterilisatie is thans in volle gang.
- Er zijn vele niet-halogeenkoolwaterstoffen als alternatief beschikbaar, zoals koolwaterstoffen, koolstofdioxide en stikstof.

Reinigings- en oplosmiddel

- Intern hergebruik kan hier zeer effectief zijn.
- Gebruik van stoffen die geen reinigingsstap nodig hebben.
- Reiniging onder druk met lucht of stikstof.
- Er zijn vele niet-halogeenkoolwaterstoffen als alternatief voorhanden, zoals laagkokende petroleumfractie, (gedestilleerd/alkaline) water, detergenten, aromatische koolwaterstoffen, alcohol, ketonen.
- Het stikstofsoldeerprocédé.

Schuimproductie

- Toepassing van koolstofdioxide, koolstofmonoxide, water, pentaan en butaan.
- Certificatie door EnergieNed van in-situ aangebrachte HCFK-vrije ondervloerisolatiesystemen.
- Gebruik van traditionele isolatiematerialen zoals minerale wol.
- Gebruik van het traditionele karton e.d. als verpakkingsmateriaal.
- Aantal toepassingen niet nodig/ongewenst.

*Koeling en airconditioning**Huishoudkoelkasten:*

- Behandelen van meer koelkasten in de afvalfase dan tot dusver.
- Toepassen van propaan, butaan, LPG en helium.

Koelinstallaties:

- Toepassen van propaan, butaan, LPG, helium en ammoniak.
- Alternatieve koude-opwekkingsmethoden, zoals de air cycle of koude-opslag in aquiferen.
- Verbetering van de lekdichtheid.
- Toepassen van absorptiesystemen.

Mobiele airconditioning:

- Propaan/butaan als koelmiddel.
- Met open ramen rijden.
- Toepassen van absorptiesystemen met zeoliet en water.
- Uitvoeren van lekcontrole.

Brandblusmiddelen

- Toepassen van water, poeder, schuim, koolstofdioxide, stikstof, nieuw mengsel van koolstofdioxide, stikstof en argon als vervanging van halon 1301.
- Bouwkundige maatregelen, snelle detectieapparatuur, verliesreductie-methodes.
- Voor zwavelhexafluoride: geen gebruik bij testen; vast en vloeibaar afval dat besmet is met (ontledingsproducten van) zwavelhexafluoride als chemisch afval behandelen; regenereren van afval-gas; het (blijven) toepassen van installaties met lucht/giethars-isolatie en vacuümschakelaars.

Aluminiumproductie

- Optimaal ovenontwerp.
- Optimale procesbeheersing.

In tabel 5.2 zijn de verwachte substitutiepercentages opgenomen van het pre-Montreal gebruik van CFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan, als gevolg van de uitwerking van het Montreal protocol en mogelijke substitutie door niet-halogeenkoolwaterstoffen, zonder recycling en controle van lekken. Tabel 5.2 is gebaseerd op mondiale gegevens en wordt door Kroeze (1995) uitgebreid behandeld.

Tabel 5.2 Verwachte substitutie (%) van het pre-Montreal gebruik van CFK's, halonen en 1,1,1-trichloorethaan, als gevolg van de uitwerking van het Montreal protocol en mogelijke substitutie door niet-halogeenkoolwaterstoffen, zonder recycling en controle van lekken (percentages gelden nadat HCFK's zijn uitgebannen)

Toepassing	Verwachte substitutie		Potentiële substitutie
	halogeenkool-waterstoffen ¹⁾	niet-halogeenkool-waterstoffen	niet halogeenkool-waterstoffen
Aerosolen	9-11%	90%	>90%
Oplos- en reinigingsmiddelen	<5%	>95%	>95%
Verpakkingsschuim	<2%	>98%	>98%
Isolatieschuim	40-45%	55-60%	>90%
Stationaire koeling	>50%	<50%	>90%
Mobiele airconditioning	<75%	>25%	>90%
Draagbare brandblussers	<2%	>98%	>98%
Stationaire brandblussers	45-50%	50-55%	>95% ²⁾
Overige	30%	70%	>95%
Totaal	25%	75%	>95%

1) zie tabel 3.4

2) in theorie mogelijk, maar niet alle alternatieven zijn even veilig als HFK's

Indirecte emissies van CO₂ tengevolge van energiegebruik

Voor het uiteindelijke netto effect op het klimaat is niet alleen de GWP van de stoffen zelf van belang, maar ook de indirecte effecten die de stoffen zouden kunnen hebben. De totale broeikasgasemissie van een isolatieschuim, bijvoorbeeld, is de som van weglekkend blaasmiddel uit het schuim en de uitstoot van CO₂ tengevolge van het energiegebruik. In een levenscyclus-analyse zouden zelfs meer zaken in rekening kunnen worden gebracht, zoals de energie-inhoud van de gebruikte materialen en de energie die het heeft gekost om de verschillende onderdelen te transporteren naar de plaats van gebruik. Geuzendam en Gilijamse (1994) hebben bijvoorbeeld aangetoond dat vacuüm panelen en aerogels aantrekkelijke alternatieven zijn voor met fluorkoolwaterstoffen geblazen isolatieschuimen. De isolatiewaarde van vacuüm panelen en aerogels is hoger dan de CFK- of HFK-geblazen panelen, zodat de totale uitstoot van broeikasgassen (blaasmiddel en CO₂) lager is.

Er wordt, bij het zoeken naar de meest milieuvriendelijke alternatieven voor CFK's en halonen, soms gewerkt met de Total Equivalent Warming Impact (TEWI) van een toepassing. TEWI is een maat voor het totale effect op het klimaat (dus inclusief bijvoorbeeld de CO₂-uitstoot tengevolge van energiegebruik) over de totale leeftijd van een apparaat. Het vaststellen van een TEWI kan inzicht geven in het minst klimaatveranderende alternatief voor CFK's en halonen. In de praktijk blijkt echter dat het vaststellen van de TEWI van een apparaat sterk bepaald wordt door vooronderstellingen en randvoorwaarden. Een duidelijk voorbeeld hiervan is een studie waarin de TEWI van een huishoudkoelkast werd vastgesteld (PRI, 1994). Het bleek dat propaan/butaan-koelkasten een lagere TEWI hadden dan HFK-koelkasten wanneer de afbraak van het schuim in beschouwing werd genomen. Wanneer gemakshalve werd aangenomen dat veroudering niet optrad zouden de conclusies tegenovergesteld zijn. Een ander probleem bij het vaststellen van een TEWI-waarde betreft de inzet van energiedragers: kolen, olie, gas of duurzame energiedragers geven aanleiding tot verschillende CO₂-uitstoot en dit kan de TEWI-waarde aanzienlijk beïnvloeden. Tenslotte blijkt het van doorslaggevend belang te zijn in hoeverre aanpassing van apparatuur in de studies betrokken wordt. Een lagere isolatiewaarde van isolatiepanelen kan bijvoorbeeld gecompenseerd worden door de dikte van de panelen aan te passen, maar dit wordt niet altijd in beschouwing genomen.

Het vaststellen van een indirecte CO₂-emissies kan inzichtelijk zijn bij onderzoek naar het verminderen van de milieubelasting van een specifieke toepassing onder specifieke omstandigheden. Het blijkt echter moeilijk om, met behulp van TEWI, algemene uitspraken te doen over de milieuvriendelijkheid van alternatieven voor ozonlaag-aantastende stoffen, omdat de indirecte CO₂-uitstoot sterk wordt bepaald door specifieke omstandigheden en doorgaans relatief eenvoudig is te reduceren. Het lijkt daarom gerechtvaardigd om alternatieven voor ozonlaag-aantastende stoffen te evalueren op basis van GWP's. Het is, onafhankelijk van het gekozen alternatief, aanbevelenswaardig vervolgens te onderzoeken in hoeverre indirecte CO₂-emissies vermeden kunnen worden.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies

In dit rapport worden gebruik en emissies in Nederland geschat van fluorkoolwaterstoffen die niet gereguleerd zijn in het Montreal Protocol (HFK's, PFK's, FIK's) en zwavelhexafluoride (SF₆). Dit wordt gedaan in zes stappen, zoals beschreven in hoofdstuk 2. Het gebruik van substituten voor ozonlaag-aantastende stoffen wordt geschat op basis van de hoeveelheid te vervangen ozonlaag-aantastende stoffen. De wijze waarop dit wordt geschat is weergegeven in hoofdstuk 3.

Het inschatten van het gebruik van de stoffen als substituut voor CFK's is niet eenvoudig, al wordt het beeld duidelijker naarmate de uitfasering van CFK's en andere stoffen een feit wordt. Het toekomstige gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ is in deze studie geschat op basis van ontwikkelingen op de mondiale markt. Er is dus verondersteld dat de Nederlandse markt niet afwijkt van de internationale. Waar mogelijk is gekozen voor specifiek Nederlandse studies en de methode aangepast.

Uit de studie blijkt dat het gebruik van HFK's, PFK's, FIK' en SF₆ snel kan toenemen in het begin van de volgende eeuw. De emissies kunnen toenemen van 878 t in 1990 tot 6983 t in 2020. De berekende emissie in 2020 staat gelijk aan 21 Mt CO₂-equivalenten in 2020, ofwel 13% van de Nederlandse CO₂-uitstoot in dat jaar, aannemende dat de CO₂-uitstoot na 2000 niet is toegenomen. Tussen 2000 en 2020 verdubbelen de emissies in het referentie-scenario. Deze toename wordt veroorzaakt door een verondersteld toenemend gebruik van deze stoffen (HFK's, PFK's, FIK's en SF₆) als vervangers van ozonlaag-aantastende stoffen. Gesloten schuimen zijn in Nederland naar verwachting een belangrijke toepassing. In het referentiescenario zijn na 2000 gesloten schuimen verantwoordelijk voor ongeveer 40% van de emissie uitgedrukt in CO₂-equivalenten (bijlage IX). Andere belangrijke toepassingen zijn koeling (ruim 10%) en oplosmiddelen (8%).

In de periode voor 2000 zijn de vorming van HFK 23 tijdens de produktie van HCFK 22, en de produktie van PFK's bij aluminiumproduktie in Nederland belangrijke bronnen. Samen veroorzaken ze ruim 80% van de CO₂-equivalente emissies (bijlage IX). Beide emissies nemen naar verwachting af in de toekomst, door het toepassen van naverbranding (HFK 23) en afname van de aluminiumproduktie. Het gebruik van HFK's als substituut neemt daarentegen snel toe. In 2020 wordt, in het referentie-scenario, ongeveer 70% van de CO₂-equivalente uitstoot veroorzaakt door gebruik van de stoffen als alternatief voor CFK's en andere ozonlaag-aantastende stoffen.

In de scenario's met *maximum emission control* zijn, na 2000, de emissies 40 - 50% lager dan in scenario's waarin geen extra maatregelen worden genomen om emissies terug te dringen (no control scenario's). Deze reductie wordt gerealiseerd door maximale inzet op good housekeeping, hergebruik en vernietiging van afgedankte stoffen. In het scenario waarin gebruik beperkt is tot de toepassingen gesloten schuimen en stationaire koeling is de emissie ongeveer 15 - 25% lager dan in het referentie-scenario. Wordt tegelijkertijd ingezet op *maximum emission control*, dan bedraagt de berekende reductie 50 - 60%. De grootste reductie (tot 90%) is gevonden in het scenario waarin de gebruikte stoffen een gemiddelde

GWP van 250 of minder hebben. Dit laatste scenario impliceert dat meer dan 90% van de ozonlaag-aantastende stoffen wordt vervangen door stoffen of mengsels met een GWP < 250. Uit hoofdstuk 5 en Kroeze (1995) blijkt dat dit technisch haalbaar is. Naar economische consequenties is niet gekeken.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Het gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ is in deze studie geschat op basis van beschikbare gegevens. Het gebruik van deze stoffen verandert echter zeer snel. Het is daarom aanbevelenswaardig het gebruik te blijven volgen. Voor alle toepassingen geldt dat een schatting, gebaseerd op het werkelijke gebruik door bedrijven in Nederland, inzicht kan verschaffen in de betrouwbaarheid van de in deze studie gehanteerde methode. Hierbij kan gedacht worden aan de methode waarmee het gebruik van CFK's en HCFK's werd geschat in het kader van het CFK Actieprogramma. Dit levert echter geen inzicht in het toekomstig gebruik.

Toepassingen die in deze studie niet zijn meegenomen en waar nader onderzoek in elk geval gewenst is zijn: gebruik van koelmiddel in airconditioning in bussen en vrachtauto's, de eigen (historische) markt van PFK's en het mogelijk oplossen van HFK's in schuimen (zodat emissie verhinderd wordt). Daarnaast is nader onderzoek gewenst naar gebruik van HFK's in verschillende soorten hardschuim en koelinstallaties in Nederland. Mogelijk is het relatieve aandeel van HFK 245ca en HFK 134a voor het blazen van gesloten schuimen groter dan in dit rapport aangenomen. De opname van HFK's in de celwanden van geproduceerd schuim dient nader onderzocht te worden. Verder zijn er aanwijzingen dat in Nederland minder HFK 23 en PFK's in koeling wordt gebruikt dan wereldwijd gemiddeld, maar dit kan pas worden vastgesteld na nader onderzoek.

In dit rapport is geen aandacht geschonken aan de kosten van maatregelen. De netto financiële consequentie van substitutie wordt bepaald door (i) de kostprijs van de stoffen, (ii) eventuele kosten in de gebruiksfase en (iii) de kosten van eventuele aanpassing of vervanging van apparatuur. HFK's zijn doorgaans duurder dan de CFK's die ze vervangen. Een aantal niet-fluorkoolwaterstoffen is echter goedkoper dan CFK's en HFK's. De grootste kosten kunnen worden verwacht wanneer apparatuur moet worden vervangen. Deze kosten kunnen echter vermeden worden door vroegtijdige afschrijving van apparatuur te voorkomen. Een kostenstudie kan inzicht verschaffen in de wijze waarop emissiereductie tegen minimale kosten tot stand kan komen.

Tenslotte wordt aanbevolen te zoeken naar substituten die geen indirecte CO₂-uitstoot veroorzaken. Dit kan, voor specifieke toepassingen in specifieke omstandigheden gedaan worden door de levenscyclus van het produkt te analyseren. Het is aanbevelenswaardig voor specifieke gevallen het energiegebruik van installaties/toepassingen te onderzoeken. Nadruk in een dergelijk onderzoek zou dienen te liggen op het zoeken naar het verminderen van de totale broeikasgas-emissie in een bepaalde toepassing door het aanpassen van apparatuur.

7 REFERENTIES

- AFEAS (1993)
Production, sales and atmospheric release of fluorocarbons through 1992
- Aluminium Delfzijl BV (1995)
Persoonlijke mededeling J. Jacobs, 5 maart 1996
- Annema (1989)
Zwavelhexafluoride
Stichting Natuur & Milieu
Utrecht, juli 1989
- Belder B. en G. Bosscher (1989)
Halonen als brandblusmiddel
Chemiewinkel RUG, Groningen
- Brühl C. en R. Hennig (1989)
Umweltsforschungen des Bundesministers des innern Zwischenbericht zum FE-Vorhaben
104 02 521. Assessment of models for predicting of changes in the ozone content of the
atmosphere. 113 pp
- CFK Aktieprogramma (1991)
Inventariserend onderzoek 1,1,1-trichloorethaan
CFK-commissie, april 1991
- CFK Aktieprogramma (1994)
Jaarrapportage CFK Aktieprogramma 1993
- CFK Aktieprogramma (1995)
Jaarrapportage 1994, 29 mei 1995
- Climate Action Plan (1993)
President William J. Clinton and Vice President Albert Gore, Jr., oktober 1993
- Cook, E. (1995)
Why climate policy-makers can't afford to overlook fully fluorinated compounds
World Resources Institute, februari 1995
- Farman J.C., B.G. Gardiner en J.D. Shanklin (1985)
Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction
Nature 315, 207-210
- Fay, K.J. (1995)
Critique of articles by C. Kroeze concerning potential effect of HFC policy on global
greenhouse gas emissions
Alliance for Responsible Atmospheric Policy and the International Climate Change
Partnership. Arlington, Virginia, USA
- Fisher D.A. en P.M. Midgley (1993)
Production and release to the atmosphere of chlorodifluoromethane (HCFC-22)
Atmospheric Environment 27, 2215-2223
- Fisher D.A., T. Duafala, P.M. Midgley, C. Niemi, A. Makhijani en S. Seidel (1994)
Production and emission of CFCs, halons and related molecules. In: Kaye J.A., S.A.
Penkett and F.M. Ormond (eds.), Report on concentrations, lifetimes, and trends of CFCs,
halons, and related species
NASA Reference Publication 1339. NASA office of mission to planet earth, Washington,
D.C., USA

- Gamlen P.H., B.C. Lane, P.M. Midgley en J.M. Steed (1986)
The production and release to the atmosphere of Ccl_3F and Ccl_2F_2 (chlorofluorocarbons CFC 11 and CFC 12)
Atmospheric Environment 20 (6), 1077-1085
- Geuzendam C. en W. Gilijamse (1994)
Assessment of energy efficient technologies for end-use in the residential and commercial sectors
IVAM Environmental Research. Report no. 94-15. Amsterdam, The Netherlands
- Great Lakes (1996)
Persoonlijke mededeling Hr. M. Stamp en J. den Boer, 19 februari 1996
- Grenfell, M.W. et al. (1995)
New fluorinated solvent alternatives
3M Chemicals Division Laboratory, first presented at Precision Cleaning '95
- Houghton et al. (1992)
Zie IPCC, 1992.
- IPCC (1990)
Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Houghton J.J., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (1992)
Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.
Houghton J.J., B.A. Callander and S.K. Varney (eds.)
Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC (1994)
Climate Change 1994. Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Houghton J.T., L.G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.)
Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC/OECD, in preparation. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC (1994)
Radiative forcing of climate change. The 1994 report of the scientific assessment working group of IPCC. Summary for policy makers
Intergovernmental Panel on Climate Change. 28 pp
- IPCC (1995)
The IPCC Scientific Assessment. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
Cambridge University Press, Cambridge
- Jacobs, Cindy B. (1994)
Preliminary method for estimating country emissions of CF_4 and C_2F_6
Global Change Division, U.S. Environmental Protection Agency
Draft version 2.0, juli 1994
- Kroeze, C. en L. Reijnders (1992)
Halocarbons and global warming II and III
Science of the Total Environment 112, 269 - 314

- Kroeze, C. (1995)
Fluorocarbons and SF₆. Global emission inventory and options for control
RIVM-rapportnummer 773001007, februari 1995
- Matthijsen, A.J.C.M. (1995)
Gebruik en emissies van CFK's en aanverwante stoffen in Nederland in 1993 en 1994
RIVM-rapportnummer 773001009, december 1995
- McCarthy, R.L., F.A. Bower en J.P. Jesson (1977)
The fluorocarbon-ozone theory-I. Production and release-world production and release of
Ccl₃F and Ccl₂F₂ (fluorocarbons 11 and 12) through 1975
Atmospheric environment 11, 491-497
- McCulloch, A. (1992)
Global production and emissions of bromochlorodifluoromethane and bromotrifluoro-
methane (Halons 1211 and 1301)
Atmospheric Environment 26, 1325-1329
- McCulloch A. (1994a)
Sources of hydrochlorofluorocarbons, hydrofluorocarbons and fluorocarbons and their
potential emissions during the next twenty five years
Environmental Monitoring and Assessment 31, 167-174
- McCulloch A. (1994b)
Sources of hydrochlorofluorocarbons, hydrofluorocarbons and fluorocarbons and their
potential emissions during the next twenty five years
Maastricht 1993
- Midgley P.M. en D.A. Fischer (1993)
The Production and release to the atmosphere of CFCs 113, 114 and 115
Atmospheric Environment 27, 271-276
- Nippon Denso (1996)
Persoonlijke mededeling Hr. P. Peeters, 22 februari 1996
- Olivier, J.G.J., C. Kroeze, A.J.C.M. Matthijsen en H.J. van der Woerd (1994)
HFK's en het (H)CFK-reductiebeleid in relatie tot het beleid inzake Nederlandse emissies
van broeikasgassen
RIVM-rapportnummer 481507005, december 1994
- Pechiney (1996)
Persoonlijke mededeling Hr. Dijkmans, 5 maart 1996
- PRI (1994)
Problems in the TEWI argument
A discussion paper by People's Research Institute on Energy & Environment, Tokyo. For
Greenpeace, Japan. 7 pp
- RAI-vereniging (1996)
Persoonlijke mededeling van Ing. A.G.H. Smit, 22 januari 1996
- Regionale Inspectie Milieuhygiëne Overijssel (1996)
Voorlopige rapportage.
- RIVM (1995)
Milieubalans 95
ISBN 90 6092 881 4
Samson H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan de Rijn

- Solomon A., J.B. Burkholder, A.R. Ravishankara en R.R. Garcia (1994)
Ozone depletion and global warming potentials of CF₃I
J.Geophys.Res. 99, 20929-20935
- TNO (1994)
Een chloorbalans voor Nederland
TNO-rapport STB/94/054, Apeldoorn/Leiden
- UNEP (1994)
Montreal Protocol an substances that deplete the ozone layer. 1994 Report of the
technology and economic assessment panel
UNEP, Nairobi, Kenya
- VROM (1993)
Regeling lekdichtheidsvoorschriften koelinstallaties. Staatscourant 52, 20-23
- Wee, G.P. van, J. van der Waard (eds.), M.J. van Doesburg, H.C. Eerens, H. Flikkema, A.L.
't Hoen, E. Rab en R. Thomas (1993)
Verkeer en vervoer in de nationale milieuverkenning 3 en de SVV-verkenning 1993
RIVM-rapportnummer 251701014
- Wekken B.J.C. van der, G. van Laar en R.J.M. van Gerwen (1994)
Onderzoek lekdichtheid koelinstallaties
TNO-rapport 94-287. TNO Milieu- en Energietechnologie, Apeldoorn. 50 pp

BIJLAGE I: Begrippenlijst

Ccl ₄	tetrachloorkoolstof
CFK's	chloorfluorkoolwaterstoffen (volledig gehalogeneerd)
CH ₃ CCl ₃	1,1,1-trichloorethaan of methylchloroform
Feedstock emissie	emissie die optreedt tijdens het gebruik van een stof als grondstof of tussenprodukt
FIK's	fluorjoodkoolwaterstoffen
Fluorkoolwaterstoffen	fluorbevattende halogeenkoolwaterstoffen, zoals CFK's, HCFK's, HFK's, PFK's en FIK's
Gebruik	eindgebruik (niet als grondstof of tussenprodukt)
GWP	Global Warming Potential, door IPCC gedefinieerd als "time-integrated commitment to climate forcing from the instantaneous release of 1 kg of a trace gas expressed relative to that from 1 kg of carbon dioxide" (Houghton et al., 1992). In deze studie wordt gewerkt met een tijdshorizon van 100 jaar.
Halonen	chloorbroomkoolwaterstoffen (volledig gehalogeneerd)
Halogeenkoolwaterstoffen	chloor-, fluor-, jood-, en/of broom-houdende koolwaterstoffen, waaronder CFK's, HCFK's, HFK's, PFK's, FIK's, CH ₃ CCl ₃ en Ccl ₄
HCFK's	onvolledig gehalogeneerde chloorfluorkoolwaterstoffen
HFK's	onvolledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen
Montreal Protocol	<i>Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer</i> ; internationaal verdrag dat het gebruik van ozonlaag-aantastende stoffen regelt
ODP	Ozone Depleting Potential
PFK's	perfluorkoolwaterstoffen, volledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen
Pre-Montreal gebruik	toekomstig gebruik zoals het zou zijn geweest ongeacht het Montreal Protocol; dus gebruik van CFK's en andere ozonlaag-aantastende stoffen zonder restricties, en de "eigen markt" van HFK's, PFK's en SF ₆ .

Proces-emissie	emissie die optreedt tijdens de productie of stoffen van bij aluminiumproductie
Productie	industriële productie van nieuwe, niet hergebruikte, stoffen
SF ₆	zwavelhexafluoride
TEWI	Total Equivalent Warming Impact (inclusief directe broeikasgasemissie en CO ₂ -emissie tengevolge van energiegebruik)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change; internationaal klimaatverdrag, door Nederland geratificeerd

BIJLAGE II: Het gebruik van fluorkoolwaterstoffen en SF₆ in 1986, 1990 en 1994

Het gebruik van CFK's, HCFK's, halonen, 1,1,1-trichloorethaan, HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ voor de jaren 1986, 1990 en 1994 wordt gegeven in tabel II.1.

Tabel II.1 Gebruik (ton) van CFK's en aanverwante stoffen

Toepassing	Stof	Gebruik (1986)	Opm.	Gebruik (1990)	Opm.	Gebruik (1994)	Opm.
Aerosol	CFK 11	1676	a	215	a	0	c
	CFK 12	1775	a	271	a	4	c
	CFK 113	292	a	115	a	0	d
	CFK 114	46	a	49	a	0	c
	1,1,1-trichloorethaan	440	cf	440	cf	14	c
	HCFK 22	0	c	350	c	77	c
	HCFK 142b	0	g	154	i	113	d
	HFK 134a	0	g	0	g	60	de
Reinigings-/ oplosmiddel	CFK 11	61	ab	47	ab	31	bd
	CFK 113	1015	a	1003	a	101	c
	1,1,1-trichloorethaan	5100	cf	5100	cf	1901	c
	HCFK 141b	0	c	0	c	17	c
Zacht schuim	CFK 11	913	a	602	a	36	c
	CFK 12	0	a	0	a	0	c
	CFK 114	0	a	0	a	0	c
	HFK 134a	0	g	0	g	5	de
Hard schuim	CFK 11	5254	a	4419	a	511	d
	CFK 12	2262	a	200	a	0	d
	CFK 113	28	a	79	a	0	d
	CFK 114	45	a	50	a	0	c
	HCFK 22	0	g	350	c	1234	c
	HCFK 141b	0	c	0	c	1375	c
	HCFK 142b	0	g	869	i	638	d
	HFK 134a	0	g	0	g	30	de
Stationaire koeling	CFK 11	48	ab	34	ab	28	d
	CFK 12	746	a	512	a	288	d
	CFK 113	0	a	0	a	0	d
	CFK 114	0	a	0	a	0	c
	CFK 115	96	a	105	a	34	d
	HCFK 22	1400	h	1420	c	1662	c
	HFK 134a	0	g	0	g	140	de
	Airco mobiel	CFK 12	60	a	60	a	91
	HFK 134a	0	g	0	g	39	de
Brandblusmid.	halon 1211	292	a	212	a	0	c
	halon 1301	171	a	170	a	12	c
	SF ₆	52	j	55	j	57	j
	FIK's	0	l	0	l	0	l
Aluminiumprod. ¹⁾	CF ₄	300	k	300	k	300	k
	C ₂ F ₆	30	k	30	k	30	k
Overig gebruik	SF ₆	3	j	3	j	4	j

1) Gebaseerd op informatie van Aluminium Delfzijl BV en Pechiney (1996; zie bijlage II, noot k)

Opmerkingen bij tabel II.1:

- a) Olivier et al. (1994)
- b) Volgens Matthijsen (1995) vindt het gebruik van CFK 11 voor koeling in 1993 en 1994 plaats voor het doorspoelen van koelapparatuur (50%) en voor stationaire airconditioning (50%). Deze verdeling is ook aangehouden voor 1990 (resp. 33 en 34 ton) en 1986 (resp. 47 en 48 ton). Het gebruik voor doorspoelen wordt opgeteld bij het gebruik voor reinigen/oplosmiddel volgens a), voor 1986, 1990 en 1994 resp. 14, 14 en 5 ton
- c) CFK Aktieprogramma (1995)
- d) Matthijsen (1995)
- e) Volgens Matthijsen (1995) bedraagt het totaal gebruik van HFK 134a in 1994 enkele honderden tonnen. Aangenomen wordt dat het totale gebruik ca. 300 ton bedraagt. Een eerste schatting is gebaseerd op Kroeze (1995), een mondiaal referentiescenario met maximale emissiereductie. Voor mobiele airconditioning zie bijlage VI.
- f) Volgens een onderzoek in het kader van het CFK Aktieprogramma (1994), wordt in 1989 van het totale gebruik van 1,1,1-trichloorethaan 8% gebruikt voor aerosolen. Dit percentage wordt in deze studie voor 1990 aangenomen. De rest van het totaalgebruik van 5.540 ton wordt gebruikt voor reiniging/oplosmiddel. Bij gebrek aan gebruiksgegevens over 1986 wordt aangenomen dat het gebruik toen gelijk was aan dat in 1990.
- g) Aangenomen wordt dat het gebruik van deze stof in het betreffende jaar voor deze toepassing nihil was.
- h) Aangenomen wordt dat het gebruik van HCFK 22 voor koeling in 1986 vrijwel gelijk is aan het gebruik in 1990.
- i) Uit c) en d) is voor 1994 het percentage berekend van het totaalgebruik van HCFK 142b, dat werd aangewend voor aerosolen en hard schuim. Voor 1990 is hetzelfde percentage aangehouden van het totaalgebruik (c).
- j) Volgens Annema (1989) bedraagt het gebruik van SF₆ in 1987:
 - als isolatie- en/of blusmedium in elektrotechnische vermogensschakelaars (brandbestrijding) 39 ton, het gebruik neemt toe;
 - middenspanningschakelinstallaties 10-15 ton, gebruik neemt toe;
 - overige toepassingen als etsgas in de halfgeleiderindustrie, bij luchtverontreinigingsonderzoek, sporadisch in isolatieglas, in laboratoria, bij medisch onderzoek en als lekdetectiegas 1-5 ton.

Het totale gebruik voor 1987 bedraagt dus 50-59 ton (49-54 ton brandbestrijding en 1-5 ton overig gebruik) en het gebruik vertoont een stijgende tendens. Geschat wordt dat het totale gebruik in 1986 55 ton SF₆ bedraagt en dat de groei gelijke tred houdt met de groei van de totale industrie (zie bijlage III)
- k) Volgens opgave van Aluminium Delfzijl BV en Pechiney (1996) wordt er momenteel 275.000 ton aluminium per jaar geproduceerd. In 2006 wordt Aluminium Delfzijl gesloten, waardoor de produktie in Nederland tot 2020 naar schatting 175.000 ton zal bedragen. Voor de periode 1986-2005 wordt de emissie van PFK's geschat op 330 ton per jaar en voor de periode 2010-2020 op 210 ton. De verdeling over de PFK's is daarbij: CF₄:C₂F₆ = 10:1. De omvang van de produktie van aluminium na 2010 is onduidelijk, bovendien wordt de mogelijkheid onderzocht om een nieuw elektrolyse-proces toe te passen, waardoor de emissies na 2010 beduidend lager kunnen zijn.
- l) FIK's betreft de fluorjoodkool(water)stoffen CF₃I, CF₃CF₂I, CF₃(CF₂)₂I en CF₃(CF₂)₃I. Voor zover bekend is de enige toepassing als brandblusmiddel.

Om vergelijking met de tabellen uit hoofdstuk 3 te vergemakkelijken is in tabel II.2 het gebruik per toepassing uit tabel II.1 voor de betreffende stoffen opgeteld.

Tabel II.2 Werkelijk gebruik (ton) in Nederland in 1990 en 1994

Toepassing	Stoffen	1990	1994
Aerosol	CFK 11, 12, 113, 114, 1,1,1-trichloorethaan, HCFK 22, 142b, HFK 134a	1594	2680
Rein./oplosm.	CFK 11, 113, 1,1,1-trichloorethaan, HCFK 141b	6150	2050
Zacht schuim	CFK 11, 12, 114, HFK 134a	602	41
Hard schuim	CFK 11, 12, 113, 114, HCFK 22, 141b, 142b, HFK 134a	5967	3788
Stat. koeling	CFK 11, 12, 113, 114, 115, HCFK 22, HFK 134a	2071	2152
Airco mobiel	CFK 12, HFK 134a	60	161
Brandblusm.	halon 1211, 1301, SF ₆	437	69
Overige	SF ₆	3	4
Aluminiumprod.	CF ₄ , C ₂ F ₆	342	333

BIJLAGE III: Groei-indexcijfers voor 1986-2020 voor de bepaling van het pre-Montreal gebruik

Het pre-Montreal gebruik wordt bepaald met behulp van het European Renaissance- scenario met fysieke groeicijfers voor de totale industrie (SBI'93: 2-3), zoals die ook zijn gebruikt voor Milieubalans 95 (RIVM, 1995). De procentuele jaarlijkse groei bedraagt in dit scenario voor 1991-2000 1,3%, voor 2001-2010 1,6%, voor 2011-2015 1,9% en voor 1991-2015 1,5%. Het basisjaar 1990 heeft een index 100 en de indexen voor 2000, 2010 en 2015 zijn respectievelijk 113, 132 en 145. Interpolatie voor de jaren 1986, 1994, 2005 en 2020 levert respectievelijk de indexen 95, 105, 122 en 159. In tabel III.1 wordt een overzicht gegeven van de groei-indexen voor de totale industrie.

Tabel III.1 Groei-index van de totale industrie volgens het European Renaissance scenario

Jaar	Index
1986	95
1990	100
1994	105
2000	113
2005	122
2010	132
2015	145
2020	159

Het pre-Montreal gebruik voor aerosolen wordt bepaald met behulp van het European Renaissance-scenario met fysieke groeicijfers voor de bouwnijverheid, omdat ca. 80% van de HFk's in spuitbussen het gebruik van polyurethaanschuim (PUR) in de bouw betreft. In tabel III.2 wordt een overzicht gegeven van de groei-indexen voor de bouwnijverheid.

Tabel III.2 Groei-index van de bouwnijverheid volgens het European Renaissance-scenario

Jaar	Index
1986	96
1990	100
1994	104
1996	106
2000	110
2005	117
2010	125
2015	135
2020	147

BIJLAGE IV: HCFK-gebruik in 2000, 2005 en 2010

Het maximaal toegestane gebruik van HCFK's is sinds 1 januari 1995 volgens de Europese verordening PbEG 1994, L 333 (CFK Actieprogramma, 1995) de som van:

- 2,6% van het berekende niveau van het gebruik van CFK's in 1989, uitgedrukt in tonnen, gewogen overeenkomstig het ozonlaagaantastend vermogen van de CFK's en
- het berekende niveau, uitgedrukt in tonnen, gewogen overeenkomstig het ozonlaagaantastend vermogen, van het gebruik van HCFK's in 1989.

In 1989 bedroeg het CFK-gebruik 9.656 ton ODP (CFK 11-equivalenten) en het HCFK-gebruik 131 ton ODP (CFK Actieprogramma, 1995). Het maximaal toegestane gebruik bedraagt derhalve $0,026 \times 9.656 + 131 = 382$ ton ODP.

Met behulp van het reductieschema voor HCFK's volgens EU-verordening 3093/94 is het maximaal toegestane gebruik van HCFK's voor de komende jaren te berekenen (tabel IV.1).

Tabel IV.1 Reductieschema voor HCFK's volgens Europese wetgeving en het berekende maximale toegestane gebruik

Jaar	Reductie (%)	Maximaal toegestane gebruik (ton ODP)
1995	100	382
2004	65	248
2007	40	153
2010	20	76
2013	5	19
2015	0	0

De aanname is dat het gebruik gelijk is aan het maximaal toegestane verbruik, dus voor 2000, 2005 en 2010 respectievelijk 382, 248 en 76 ton ODP. Voorts wordt aangenomen dat de verdeling van de HCFK's onderling gelijk is aan die in 1994, dus 149/139/45 (zie CFK Actieprogramma, 1995). Impliciet wordt dus aangenomen dat het gebruik in de toekomst beperkt blijft tot de toepassingen als reinigings- en oplosmiddel, voor de produktie van hard schuim en voor stationaire koeling en dat het gebruik beperkt blijft tot de HCFK's 22, 141b en 142b. Het gebruik van HCFK's voor aerosolen is na 1997 verboden volgens Europese wetgeving. In tabel IV.2 is een overzicht van het gebruik gegeven.

Tabel IV.2 Verwacht totaal-gebruik aan HCFK's

Stof	2000 (ton ODP)	2005 (ton ODP)	2010 (ton ODP)	2000 (ton)	2005 (ton)	2010 (ton)
HCFK 22	171	111	34	3420	2220	680
HCFK 141b	159	104	32	1590	1040	320
HCFK 142b	52	33	10	867	550	167
Totaal	382	248	76	5877	3810	1167

Verder wordt aangenomen dat de verdeling over de toepassingen gelijk is aan die van 1994 (tabel IV.3).

Tabel IV.3 Verwacht HCFK-gebruik per toepassing

Toepassing	HCFK	1994 (ton)	2000 (ton)	2005 (ton)	2010 (ton)
Rein./oplosm.	141b	17	20	13	4
Hard schuim	22	1234	1472	954	292
	141b	1375	1641	1064	326
	142b	638	761	493	151
Stat. koeling	22	1662	1983	1285	394
Totaal		5116	5877	3810	1167

De aanname dat het gebruik van HCFK's de komende jaren gelijk zal zijn aan het maximaal toegestane gebruik, zal mogelijk een onderschatting zijn van het werkelijke gebruik, omdat in 1994 al bijna het plafond was bereikt.

BIJLAGE V: HFK-gebruik in aerosolen

Volgens informatie van de Nederlandse Aerosol Vereniging (1996) bedraagt het gebruik in 1994 ca. 50 ton HFK's en in 1996 zal het gebruik 500-1000 ton bedragen, waarvan ca. 80% HFK 134a en ca. 20% HFK 152a. De verdeling over deze twee stoffen is sterk afhankelijk van de marktprijs voor HFK's. De HFK's worden voor 80% toegepast in spuitbussen met polyurethaanschuim (PUR). HFK's zijn goed toepasbaar in spuitbussen, wat betreft brandbaarheid en explosiegevaar. Van de HFK's in spuitbussen wordt ca. 80% geëxporteerd en 50% geïmporteerd, waardoor er een exportoverschot van 30% is. Dit is in goede overeenstemming met het exportoverschot van 33% voor 1990 volgens TNO (1994). Voor het gebruik in Nederland in 1996 is uitgegaan van 750 ton HFK's, waarvan 30% wordt geëxporteerd. Met behulp van de groei-index voor de bouwnijverheid is een indicatie te geven van het toekomstig HFK-gebruik. Vergelijking van dit toekomstig gebruik met de waarden in tabel 3.3 levert de substitutiepercentages voor HFK 134a (9%) en HFK 152a (2,3%) ten behoeve van tabel 3.4.

Tabel V.1 HFK-gebruik in aerosolen (ton) en substitutiepercentages

Toepassing	Vervangende stof	1996	2000	2005	2010	2020
Aerosol	HFK 134a	420	436 (9,0%)	463(9,0%)	496 (9,0%)	582 (9,0%)
	HFK 152a	105	109 (2,2%)	116 (2,3%)	124 (2,3%)	146 (2,3%)

BIJLAGE VI: Schatting van het gebruik van koelmiddelen

Het gebruik van koelmiddelen zal afnemen omdat de lekdichtheid wordt verbeterd. Tabel VI.1 geeft hiervan een overzicht.

Tabel VI.1 Gebruik van koelmiddelen in het referentie-scenario (no control)

Jaar (ton)	te vervangen CFK's	% dat vervangen wordt door HFK's zie tabel 3.4	reductie in gebruik door verbeterde lekdichtheid (%) zie hoofdstuk 2.2	verwacht gebruik HFK's (ton)
1990	0	0	0	0
1994	0	0	0	0
2000	741	0,42	25	236
2005	1656	0,42	25	527
2010	2788	0,5	40	823
2020	3833	0,5	50	948

Wanneer het gebruik van HFK 134a in auto-airco wordt geschat op basis van het pre-Montréal gebruik, zoals beschreven in hoofdstuk 3, leidt dit tot een onderschatting van het werkelijk gebruik, omdat deze toepassing na 1986 in Nederland geïntroduceerd is. Hieronder wordt daarom het gebruik van HFK 134a geschat, op basis van de volgende veronderstellingen (deels op basis van RAI-vereniging (1996) en Nippon Denso (1996)):

1. Aantal verkochte auto's in 1995 = 450.000
2. Toename aantal verkochte auto's op basis van MV3 index voor auto's in omloop: 100 in 1990, 118 in 2000, 145 in 2010 en 154 in 2015; na 2000 15% lager door toenemende leeftijd van auto's met ca. 2 jaar.
3. Nieuwe auto's met airco: 0% in 1990, 7.5% in 1995, 25% in 2000 en 50% in 2020 met een lineaire toename voor tussenliggende jaren
3. Leeftijd airco is 12 jaar (zie hoofdstuk 2.2)
4. Jaarlijkse lek = 33% van stock; stock = aantal auto-airco's * 800 gram HFK-134a (zie Tabel 2.1)
5. Service = jaarlijkse lek (incl. morsen tijdens bijvullen)

Tabel VI.2 Aantal auto's in Nederland met airco

Jaar	Verkoop auto's	% Nieuwe auto's met airco	Totaal aantal auto's met airco
1990	409500	0	0
1994	445500	6	65475
1995	450000	7,5	99225
2000	486000	25	526185
2005	492750	32	1195738
2010	499500	38	1812251
2015	526500	45	2264224
2020	553500	50	2762226

Tabel VI.3 Gebruik HFK-134a (ton/jaar)

Jaar	Nieuwe auto's	Service	Totaal
1990	0	0	0
1994	21	17	39
1995	27	26	53
2000	97	139	236
2005	124	316	440
2010	152	478	630
2015	187	598	785
2020	221	729	951

BIJLAGE VII: GWP's

Tabel VII.1 Chemische formule, atmosferische verblijftijd, directe GWP's (Global Warming Potentials over 100 jaar) van verschillende stoffen

Stof	Chemische formule	Atmosferische verblijftijd (jaar) ¹⁾	Directe GWP (CO ₂ = 1) ¹⁾
Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's):			
CFK 11	CFCl ₃	50±5	4.000
CFK 12	CF ₂ Cl ₂	102	8.500
CFK 13	CF ₃ Cl	640	11.700
CFK 113	C ₂ F ₃ Cl ₃	85	5.000
CFK 114	C ₂ F ₄ Cl ₂	300	9.300
CFK 115	C ₂ F ₅ Cl	1.700	9.300
Chloorbroomkoolwaterstoffen (halonen):			
Halon 1211	CF ₂ ClBr		
Halon 1301	CF ₃ Br	65	5.600
Halon 2402	C ₂ F ₄ Br ₂		
Onvolledig gehalogeneerde chloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's):			
HCFK 22	CHF ₂ Cl	13,3	1.700
HCFK 123	C ₂ HF ₃ Cl ₂	1,4	93
HCFK 124	C ₂ HF ₄ Cl	5,9	480
HCFK 141b	C ₂ H ₃ FCl ₂	9,4	630
HCFK 142b	C ₂ H ₃ F ₂ Cl	19,5	2.000
HCFK 225ca	C ₃ HF ₅ Cl ₂	2,5	170
HCFK 225cb	C ₃ HF ₅ Cl ₂	6,6	530
Carbontetrachloride	CCl ₄	42	1.400
1,1,1-Trichloorethaan (MCF)	CH ₃ CCl ₃	5,4±0,6	110

1) IPCC (1994; 1995); Grenfell et al. (1995) voor HFE's

Vervolg tabel VII.1 Chemische formule, atmosferische verblijftijd, directe GWP's (Global Warming Potentials over 100 jaar) van verschillende stoffen

Stof	Chemische formule	Atmosferische verblijftijd (jaar) ¹⁾	Directe GWP (CO ₂ = 1) ¹⁾
Onvolledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen (HFK's):			
HFK 23	CHF ₃	264	11.700
HFK 32	CH ₂ F ₂	5,6	650
HFK 41	CH ₃ F	3,7	150
HFK 43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17,1	1.300
HFK 125	C ₂ HF ₅	32,6	2.800
HFK 134	CHF ₂ CHF ₂	10,6	1.000
HFK 134a ²⁾	CH ₂ FCF ₃	14,6	1.300
HFK 152a	C ₂ H ₄ F ₂	1,5	140
HFK 143	CHF ₂ CH ₂ F	3,8	300
HFK 143a	CF ₃ CH ₃	48,3	3.800
HFK 227ea	C ₃ HF ₇	36,5	2.900
HFK 236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	6.300
HFK 245ca	C ₃ H ₃ F ₅	6,6	560
Perfluorkoolwaterstoffen (PFK's):			
Perfluormethaan; PFK 14	CF ₄	50.000	6.500
Perfluorethaan; PFK 116	C ₂ F ₆	10.000	9.200
Perfluorpropan	C ₃ F ₈	2.600	7.000
Perfluorbutaan; CEA410; PFK 31-10	C ₄ F ₁₀	2.600	7.000
Perfluorpentaa	C ₅ F ₁₂	4.100	7.500
Perfluorhexaan	C ₆ F ₁₄	3.200	7.400
Perfluorcyclobutaan	c-C ₄ F ₈	3.200	8.700
Perfluorhexaan; PFK 51-14	C ₆ F ₁₄	3.200	6.800
Fluorjoodkoolwaterstoffen (FIK's):			
	CF ₃ I	<0,005	<1
	CF ₃ CF ₂ I		
	CF ₃ (CF ₂) ₂ I		
	CF ₃ (CF ₂) ₃ I		
Zwavelhexafluoride	SF ₆	3.200	23.900
Hydrofluorethers (HFE's)			
HFE A	C ₄ F ₉ OCH ₃	5,5	500
HFE B	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	1,2	110

1) IPCC (1994; 1995); Grenfell et al. (1995) voor HFE's

2) voor HFK 356 is dezelfde GWP gebruikt als voor HFK 134a (1.300)

Tabel VII.2 Global Warming Potentials (GWP's) van fluorkoolwaterstoffen volgens IPCC (1995 gerangschikt naar GWP)

Stof	Global Warming Potential (CO ₂ = 1)
FIK's	<1
HFK 152a	140
HFK 143	300
HFK 245ca	560
HFK 32	650
HFK 134	1.000
HFK 134a	1.300
HFK 4310mee	1.300
HFK 125	2.800
HFK 227ea	2.900
HFK 143a	3.800
HFK 236fa	6.300
PFK 14	6.500
PFK 51-14	6.800
PFK 116	9.200
HFK 23	11.700
SF ₆	23.900

BIJLAGE VIII: Gebruik van HFK's, PFK's, FIK's en SF₆ in het referentie-scenario in 1990, 1994, 2000, 2005, 2010 en 2020

TABEL VIII.1 Gebruik in 1990 (t/f)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK	FIK	SF ₆	Total
Aerosol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacht schuim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hard schuim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stat.koeling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Auto airco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brandblusmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	58
Totaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	58

TABEL VIII.2 Gebruik in 1994 (t/f)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK	FIK	SF ₆	Total
Aerosol	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacht schuim	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Hard schuim	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Stat.koeling	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140
Auto airco	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
Brandblusmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	61
Totaal	0	0	0	274	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	335

TABEL VIII.3 Gebruik in 2000 (t/j); Referentie scenario (no control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PPFK	FIK	SF ₆	Total
Aerosol	0	0	0	436	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0	548
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	37	0	0	73
Zacht schuim	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Hard schuim	0	0	0	32	64	32	0	129	129	129	0	0	0	0	515
Stat.koeling	14	14	14	141	14	14	14	0	0	0	0	9	0	0	236
Auto airco	0	0	0	236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	236
Brandblusmidde7	7	0	7	7	0	0	51	0	0	0	0	7	7	7	91
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	66
Totaal	21	14	21	858	79	163	65	129	129	129	37	53	7	73	1.776

TABEL VIII.4 Gebruik in 2005 (t/j); Referentie scenario (no control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PPFK	FIK	SF ₆	Total
Aerosol	0	0	0	464	0	119	0	0	0	0	0	0	0	0	582
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40	0	0	79
Zacht schuim	0	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Hard schuim	0	0	0	45	90	45	0	181	181	181	0	0	0	0	724
Stat.koeling	32	32	32	316	32	32	32	0	0	0	0	21	0	0	527
Auto airco	0	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	440
Brandblusmiddel	7	0	7	7	0	0	55	0	0	0	0	7	7	7	99
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71	71
Totaal	39	32	39	1.278	122	202	87	181	181	181	40	68	7	78	2.534

TABEL VIII.5 Gebruik in 2010 (t/j); Referentie scenario (no control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PPK	FIK	SF ₆	Total
Aerosol	0	0	0	495	0	127	0	0	0	0	0	0	0	0	622
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	172	172	0	0	343
Zacht schuim	0	0	0	6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	13
Hard schuim	0	0	0	244	489	244	0	978	978	978	0	0	0	0	3.910
Stat.koeling	49	49	49	494	49	49	49	0	0	0	0	33	0	0	823
Auto airco	0	0	0	630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	630
Brandblusmiddel	8	0	8	8	0	0	60	0	0	0	0	8	8	8	107
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	76
Totaal	57	49	57	1.878	538	427	109	978	978	978	172	212	8	84	6.524

TABEL VIII.6 Gebruik in 2020 (t/j); Referentie scenario (no control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PPK	FIK	SF ₆	Total
Aerosol	0	0	0	583	0	149	0	0	0	0	0	0	0	0	732
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	207	207	0	0	413
Zacht schuim	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Hard schuim	0	0	0	318	635	318	0	1.270	1.270	1.270	0	0	0	0	5.081
Stat.koeling	57	57	57	569	57	57	57	0	0	0	0	38	0	0	948
Auto airco	0	0	0	951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	951
Brandblusmidde10	10	0	10	10	0	0	72	0	0	0	0	10	10	10	129
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92	92
Totaal	66	57	66	2.437	692	531	128	1.270	1.270	1.270	207	254	10	102	8.361

TABEL VIII.7 Gebruik in 2000, 2005, 2010 en 2020 (kt CO₂-eq/fj); Referentie scenario (no control)

Toepassing	Stoffen	2000	2005	2010	2020
Aerosol	HFK 134a	567	603	644	757
	HFK 152a	16	17	18	21
Oplosmiddel	HFK 43-10	48	51	223	269
	PFK's	247	267	1.157	1.395
Zacht schuim	HFK 134a	7	8	8	10
Hard schuim	HFK 152a	1	1	1	1
	HFK 134a	42	59	318	413
	HFK 143a	245	344	1.857	2.413
	HFK 152a	5	6	34	44
	HFK 236fa	812	1.140	6.159	8.002
	HFK 245ca	72	101	547	711
Stationaire koeling	HFK 356	167	235	1.271	1.651
	HFK 23	165	370	577	665
	HFK 32	9	21	32	37
	HFK 125	40	89	138	159
	HFK 134a	184	411	642	739
	HFK 143a	54	120	188	216
	HFK 152a	2	4	7	8
	HFK 227ea	41	92	143	165
	PFK's	64	142	222	256
	HFK 134a	307	572	819	1.236
Auto-airco	HFK 23	79	86	93	111
	HFK 125	19	21	22	27
	HFK 134a	9	10	10	12
	HFK 227ea	147	160	173	207
	PFK's	46	49	53	64
	FK's	0	0	0	0
Pre-Montreal gebruik	SF ₆	162	175	189	228
	SF ₆	1.577	1.697	1.816	2.199
Totaal		5.131	6.848	17.363	22.018

BIJLAGE IX: Emissies in 1990, 1994, 2000 en 2020

Deze bijlage geeft een overzicht van emissies per gas per toepassing in de jaren 1990, 1994, 2000 en 2020. Voor elk jaar worden emissies gepresenteerd in ton per jaar en in kton CO₂-equivalenten per jaar (gebruik makend van de GWP's zoals genoemd in Bijlage VII). Voor de jaren 2000 en 2020 zijn de emissies gepresenteerd voor het referentie scenario (no control) en het referentie scenario (maximum emission control).
Samenvattend:

Tabel IX.1	Emissies in 1990 in ton/jaar
Tabel IX.2	Emissies in 1990 in kt CO ₂ -equivalenten/jaar
Tabel IX.3	Emissies in 1994 in ton/jaar
Tabel IX.4	Emissies in 1994 in kt CO ₂ -equivalenten/jaar
Tabel IX.5	Emissies in 2000 in ton/jaar, referentie scenario (no control)
Tabel IX.6	Emissies in 2000 in kt CO ₂ -equivalenten/jaar, referentie scenario (no control)
Tabel IX.7	Emissies in 2020 in ton/jaar, referentie scenario (no control)
Tabel IX.8	Emissies in 2020 in kt CO ₂ -equivalenten/jaar, referentie scenario (no control)
Tabel IX.9	Emissies in 2000 in ton/jaar, referentie scenario (maximum emission control)
Tabel IX.10	Emissies in 2000 in kt CO ₂ -equivalenten/jaar, referentie scenario (maximum emission control)
Tabel IX.11	Emissies in 2020 in ton/jaar, referentie scenario (maximum emission control)
Tabel IX.12	Emissies in 2020 in kt CO ₂ -equivalenten/jaar, referentie scenario (maximum emission control)

TABEL IX.1 Emissies in 1990 (t/f)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacht schuim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hard schuim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stat.koeling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Auto airco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brandblusmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verpakking	0	0	20	30	5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	80
Proces/feedstock	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330	0	0	740
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	58
Totaal	410	0	20	30	5	25	0	0	0	0	0	330	0	58	878

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 10 : 1

TABEL IX.2 Emissies in 1990 (kt CO₂-equ./f)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacht schuim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hard schuim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stationaire koeling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Auto airco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brandblusmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verpakking	0	0	56	39	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	118
Proces/feedstock	4.797	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.226	0	0	7.023
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.386	1.386
Totaal	4.797	0	56	39	19	4	0	0	0	0	0	2.226	0	1.386	8.527

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's met gemiddelde geschatte GWP 6,745; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 7,1 : 1

TABEL IX.3 Emissies in 1994 (t/j)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacht schuim	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Hard schuim	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Stationaire koeling	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
Auto airco	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
Brandblusmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verpakking	0	0	20	30	5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	80
Proces/feedstock	540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330	0	0	870
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	61
Totaal	540	0	20	164	5	25	0	0	0	0	0	330	0	61	1.145

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 10 : 1

TABEL IX.4 Emissies in 1994 (kt CO₂-equ./j)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacht schuim	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Hard schuim	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Stationaire koeling	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
Auto airco	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Brandblusmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verpakking	0	0	56	39	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	118
Proces/feedstock	6.318	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.226	0	0	8.544
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.458	1.458
Totaal	6.318	0	56	213	19	4	0	0	0	0	0	2.226	0	1.458	10.293

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's met gemiddelde geschatte GWP 6.745; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 7,1 : 1

TABEL IX.5 Emissies in 2000 (tj); Referentie scenario (no control)

HFk	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	403	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	507
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	34	0	0	68
Zacht schuim	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Hard schuim	0	0	0	9	17	9	0	34	34	34	0	0	0	0	136
Stationaire koeling	6	6	6	65	6	6	6	0	0	0	0	4	0	0	108
Auto airco	0	0	0	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174
Brandblusmiddel	2	0	2	2	0	0	18	0	0	0	0	2	2	2	32
Verpakking	0	0	20	30	5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	80
Proces/feedstock	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330	0	0	600
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66
Totaal	279	6	29	688	29	148	24	34	34	34	34	371	2	68	1.781

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's; proces-emissies aluminiumproductie CF₄: C₂F₆ = 10 : 1

TABEL IX.6 Emissies in 2000 (kt CO₂-equ./j); Referentie scenario (no control)

HFk	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	524	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	539
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	229	0	0	273
Zacht schuim	0	0	0	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Hard schuim	0	0	0	11	65	1	0	214	19	44	0	0	0	0	354
Stationaire koeling	76	4	18	84	25	1	19	0	0	0	0	29	0	0	257
Auto airco	0	0	0	226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226
Brandblusmiddel	28	0	7	3	0	0	52	0	0	0	0	16	0	57	161
Verpakking	0	0	56	39	19	4	0	0	0	0	0	0	0	0	118
Proces/feedstock	3.159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.226	0	0	5.385
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.577	1.577
Totaal	3.263	4	81	895	108	21	70	214	19	44	44	2.500	0	1.634	8.897

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's met gemiddelde geschatte GWP 6.745; proces-emissies aluminiumproductie CF₄: C₂F₆ = 7,1 : 1

TABEL IX.7 Emissies in 2020 (t/j): Referentie scenario (no control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	578	0	148	0	0	0	0	0	0	0	0	726
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	205	0	0	410
Zacht schuim	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Hard schuim	0	0	0	206	412	206	0	824	824	824	0	0	0	0	3.294
Stationaire koelin	45	45	45	448	45	45	45	0	0	0	0	30	0	0	747
Auto airco	0	0	0	899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	899
Brandblusmiddel	3	0	3	3	0	0	25	0	0	0	0	3	3	3	45
Verpakking	0	0	64	85	44	81	0	0	0	0	0	0	0	0	274
Proces/feedstock	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	210	0	0	480
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92
Totaal	318	45	112	2.227	501	488	70	824	824	824	205	448	3	95	6.983

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 10 : 1

TABEL IX.8 Emissies in 2020 (kt CO₂-equ./j): Referentie scenario (no control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	751	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	772
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	267	1.383	0	0	1.650
Zacht schuim	0	0	0	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Hard schuim	0	0	0	268	1.565	29	0	5.189	461	1.071	0	0	0	0	8.582
Stationaire koeling	525	29	126	583	170	6	130	0	0	0	0	202	0	0	1.770
Auto airco	0	0	0	1.168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.168
Brandblusmiddel	39	0	9	4	0	0	73	0	0	0	0	22	0	80	227
Verpakking	0	0	178	111	167	11	0	0	0	0	0	0	0	0	467
Proces/feedstock	3.159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.417	0	0	4.576
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.199	2.199
Totaal	3.723	29	313	2.895	1.903	68	203	5.189	461	1.071	267	3.024	0	2.278	21.423

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's met gemiddelde geschatte GWP 6745; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 7,1 : 1

TABEL IX.9 Emissies in 2000 (t/f); Referentie scenario (maximum emission control)

HFk	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	403	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	507
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	14
Zacht schuim	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Hard schuim	0	0	0	6	12	6	0	23	23	23	0	0	0	0	93
Stationaire koeling	6	6	6	65	6	6	6	0	0	0	0	4	0	0	108
Auto airco	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53
Brandblusmiddel	1	0	1	1	0	0	8	0	0	0	0	1	1	1	14
Verpakking	0	0	10	15	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	40
Proces/feedstock	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	165	0	0	219
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	66
Totaal	62	6	18	545	21	130	14	23	23	23	7	177	1	67	1.117

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's; proces-emissies aluminiumproductie CF₄; C₂F₆ = 10 : 1

TABEL IX.10 Emissies in 2000 (kt CO₂-equ./f); Referentie scenario (maximum emission control)

HFk	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	524	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	539
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	46	0	0	55
Zacht schuim	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Hard schuim	0	0	0	8	44	1	0	146	13	30	0	0	0	0	241
Stationaire koeling	76	4	18	84	25	1	19	0	0	0	0	29	0	0	257
Auto airco	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
Brandblusmiddel	12	0	3	1	0	0	22	0	0	0	0	6	0	24	69
Verpakking	0	0	28	20	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	59
Proces/feedstock	632	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.113	0	0	1.745
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.577	1.577
Totaal	720	4	49	709	78	18	41	146	13	30	9	1.195	0	1.602	4.613

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's met gemiddelde geschatte GWP 6745; proces-emissies aluminiumproductie CF₄; C₂F₆ = 7,1 : 1

TABEL IX.11 Emissies in 2020 (tj); Referentie scenario (maximum emission control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	578	0	148	0	0	0	0	0	0	0	0	726
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	41	0	0	82
Zacht schuim	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Hard schuim	0	0	0	151	303	151	0	605	605	605	0	0	0	0	2.421
Stationaire koeling	19	19	19	189	19	19	19	0	0	0	0	13	0	0	315
Auto airco	0	0	0	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	260
Brandblusmiddel	1	0	1	1	0	0	11	0	0	0	0	1	1	1	19
Verpakking	0	0	32	43	22	41	0	0	0	0	0	0	0	0	137
Proces/feedstock	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	0	0	159
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92
Totaal	74	19	52	1.226	344	362	30	605	605	605	41	160	1	93	4.219

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 10 : 1

TABEL IX.12 Emissies in 2020 (kt CO₂-equ./j); Referentie scenario (maximum emission control)

HFK	-23	-32	-125	-134a	-143a	-152a	-227ea	-236fa	-245ca	-356	-4310	PFK ¹	FIK	SF ₆	Totaal
Aerosol	0	0	0	751	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	772
Oplosmiddel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	277	0	0	330
Zacht schuim	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Hard schuim	0	0	0	197	1.150	21	0	3.813	339	787	0	0	0	0	6.307
Stationaire koeling	221	12	53	246	72	3	55	0	0	0	0	85	0	0	747
Auto airco	0	0	0	338	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	338
Brandblusmiddel	17	0	4	2	0	0	31	0	0	0	0	10	0	34	97
Verpakking	0	0	89	55	84	6	0	0	0	0	0	0	0	0	234
Proces/feedstock	632	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	708	0	0	1.340
Pre-Montreal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.199	2.199
Totaal	870	12	146	1.594	1.306	51	86	3.813	339	787	53	1.080	0	2.233	12.369

¹ oplosmiddel en koeling: verschillende PFK's met gemiddelde geschatte GWP 6745; proces-emissies aluminiumproductie CF₄ : C₂F₆ = 7,1 : 1