

Greenpeace-Studie

**Der hohe und wachsende Anteil fluorierter Treibhausgase  
(F-Gase) an den globalen treibhauswirksamen  
Gesamtemissionen**

**Eine Studie von**

**Öko-Recherche, Frankfurt**

**Verfasser: Dr. Winfried Schwarz**

**im Auftrag von**

**Greenpeace Deutschland e.V., Hamburg**

**Juni 2004**

## **Inhalt**

<b>Inhalt</b>	<b>1</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
Die wachsende Rolle der F-Gas-Emissionen ist kein Naturgesetz	2
<b>1. Effektiver Umfang und Anteil der F-Gas-Emissionen weltweit und nach Industrie- und Entwicklungsländern 1990 und 2000</b>	<b>3</b>
<b>2. Das weltweite F-Gas-Emissionspotenzial des Jahres 2002 - unter Einbeziehung ozonschichtzerstörender Substanzen</b>	<b>6</b>
Alte und neue chlorfreie F-Gase	6
Klärung bis 2002: Wo HFKW die FCKW ersetzen und wo nicht	7
<b>3. Umrechnung der Emissionen chlorhaltiger und chlorfreier F-Gase von 2002 in ausschließlich chlorfreie (nach Treibhauspotenzial)</b>	<b>11</b>
<b>4. Der Blick auf das Jahr 2050</b>	<b>14</b>
Globale F-Gas-Emissionen real erst 2050 chlorfrei	14
Mindestens zwei Szenarien für THG Emissionen in 2050 erforderlich	14
Regional verschiedene Wachstumsraten für F-Gas-Emissionen	14
<b>5. Aufteilung der globalen F-Gas-Emissionen von 2002 nach Industrie- und Entwicklungsländern</b>	<b>15</b>
Regionale Aufteilung der globalen F-Gas-Emissionen von 2002, nach Masse	15
Regionale Aufteilung der F-Gas-Emissionen von 2002, in MTCO <sub>2</sub>	16
<b>6. Annahmen für die Entwicklung der F-Gas-Emissionen bis 2050</b>	<b>18</b>
Langfristige jährliche Wachstumsraten der F-Gas-Emissionen bis 2050	18
Keine Prognosen für die Jahre zwischen 2002 und 2050 sinnvoll	20
<b>7. Prognose der weltweiten F-Gas-Emissionen für 2050</b>	<b>21</b>
F-Gas-Emissionen und ihre Spielräume 2050 - in KT	21
<b>8. Der Treibhausbeitrag der F-Gas-Emissionen im Jahr 2050</b>	<b>24</b>
Das Treibhauspotenzial der F-Gas-Emissionen 2050 I (GWP 100 Jahre)	24
Das Treibhauspotenzial der F-Gas-Emissionen 2050 II (GWP 20 Jahre)	24
<b>9. Die direkten Emissionen der anderen Treibhausgase bis 2050</b>	<b>27</b>
Die illustrativen Marker-Szenarien des IPCC für THG-Emissionen	27
Die Treibhausgas-Emissionen von CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O und CH <sub>4</sub> nach GWP 100 und 20	28
<b>10. Anteil der F-Gase an den Treibhausgas-Emissionen von 2050</b>	<b>30</b>
Der Anteil der F-Gas-Emissionen zwischen 4,5 und 9 Prozent	30
Die wachsende Rolle der F-Gas-Emissionen ist kein Naturgesetz	31
<b>11. Ein Szenario für 6,2 bzw. 8,6% Anteil der F-Gas-Emissionen</b>	<b>32</b>
<b>Anhang 1 List of Direct Global Warming Potentials relative to carbon dioxide</b>	<b>34</b>
<b>Anhang 2 Zur Berechtigung des GWP-Zeithorizonts 20 Jahre</b>	<b>35</b>
IPCC-Definition des GPW seit 1990	35
Drei Zeithorizonte für die THG-Emissionsbetrachtung.	35
GWP 20 für kurzfristige Klimaeffekte und schnelle Politik.	36
Zeithorizont ist eine politische Entscheidung.	36
Sind Klimaänderungen innerhalb von wenigen Jahrzehnten möglich?	37
Fazit	37
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>38</b>

## **Zusammenfassung**

### **Die wachsende Rolle der F-Gas-Emissionen ist kein Naturgesetz**

Die Rolle der F-Gase an den gesamten Treibhausgas-Emissionen ist gegenwärtig schon recht hoch, wenn der Blick nicht nur auf die chlorfreien Substanzen gerichtet wird, die vom Kioto-Protokoll geregelt werden. Werden nämlich auch die heutigen Emissionen chlorhaltiger F-Gase berücksichtigt, beträgt der Anteil an den Gesamtemissionen nicht nur 1,5%, sondern 4,1% bzw. 5,2%, je nach dem verwendeten Zeithorizont zur Betrachtung des Treibhauspotentials 100 oder 20 Jahre (GWP 100yr oder GWP 20yr).

Mit Spannen von 4,5 bis 6,6% nach GWP 100yr und 6% bis 9% nach GWP 20yr werden die F-Gas-Emissionen nach ihrer realen Umwandlung in nur noch chlorfreie Substanzen im Jahr 2050 eine noch größere Rolle innerhalb der globalen Treibhausgas-Emissionen spielen. Sowohl nach GWP 100yr als auch nach GWP 20yr werden sie das bisher drittstärkste direkte Treibhausgas N<sub>2</sub>O (Distickstoffoxid) an Bedeutung übertreffen.

Diese Prognosen beruhen für die F-Gas-Emissionen auf für Industrie- und Entwicklungsländer unterschiedlichen jährlichen Wachstumsraten ab dem Jahre 2002. Für Industrieländer wird ein leichter Rückgang der absoluten Emissionen erwartet, für die Entwicklungsländer dagegen ein rascher Anstieg dank einer langfristigen jährlichen Wachstumsrate um 4%. Diese Annahmen sind nicht aus der Luft gegriffen, sondern liegen noch unter der Fortschreibung der Trends der letzten Jahre. In dem nachfolgend favorisierten Szenario ergeben sich 2050 weltweit F-Gas Anteile an den klimaschädigenden Gesamtemissionen von 6,2% (GWP 100yr) bzw. 8,6% (GWP 20yr).

Politisch folgt daraus, schon jetzt weltweit verstärkt auf die Eindämmung von F-Gas-Emissionen zu achten, um vor allem die hohen Wachstumsraten in den Entwicklungsländern zu verhindern, die selbst eine erfolgreiche Umsetzung des Kioto-Protokolls in den Industrieländern weitgehend unwirksam machen würden. Nichtsdestoweniger hätte ein Erfolg des Kioto-Protokolls positive Rückwirkungen auf die Entwicklungsländer, derart, dass diese erst gar nicht den klimaschädlichen Umweg der Industrieländer mit den gegenwärtig sehr hohen Anteilen von F-Gas-Emissionen (chlorfreie und chlorhaltige F-Gase zusammengenommen) von 6,2 bzw. 8,6% (2002) gehen müssten.

Alle Initiativen zum Ersatz von F-Gasen durch insgesamt das Klima weniger belastende Alternativen (TEWI-Betrachtung), insbesondere im Bereich der Kälte- und Klimatechnik durch natürliche Kältemittel, sind von daher zu begrüßen, und sei es vorerst aufgrund ihrer Signalwirkung, dass Alternativen zu F-Gasen überhaupt möglich sind.

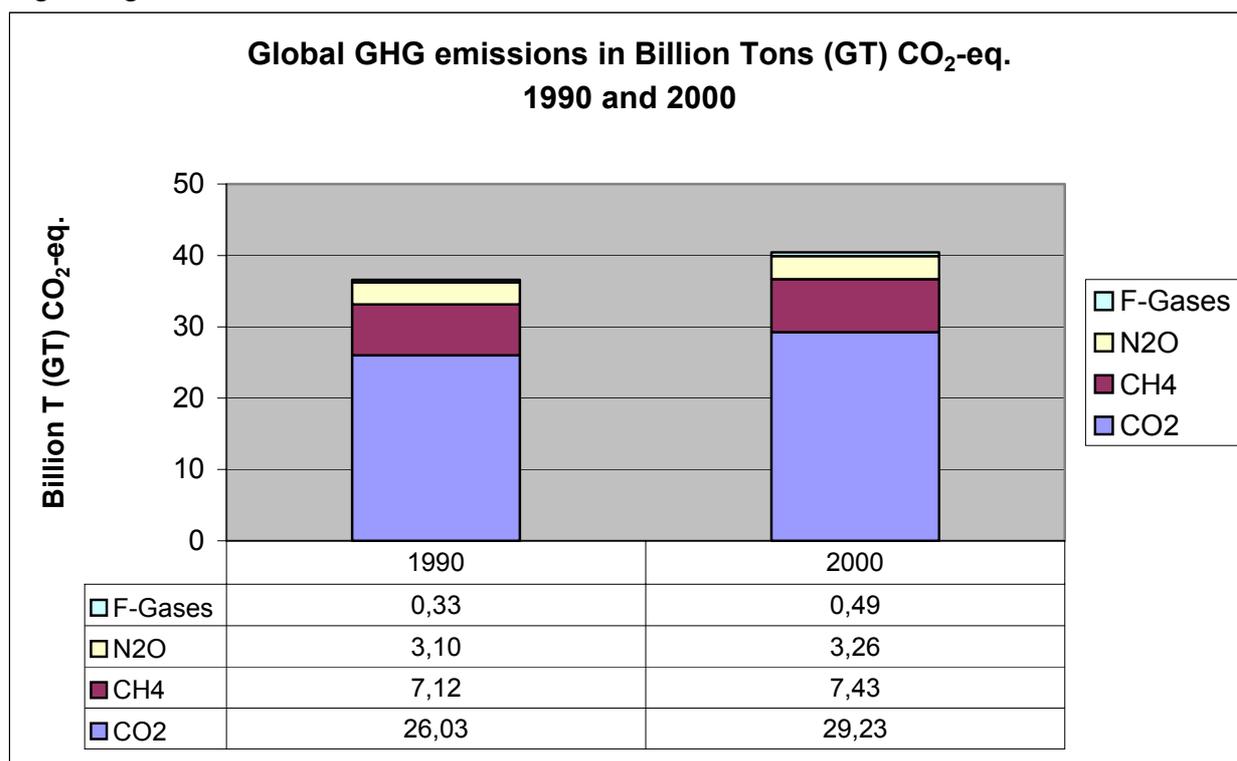
Frankfurt/Hamburg, Juni 2004

## Der hohe und wachsende Anteil fluorierter Treibhausgase (F-Gase) an den globalen treibhauswirksamen Gesamtemissionen

Das Kioto-Protokoll zur Reduzierung von Treibhausgasen (THG) vom Dezember 1997, das auf die UN Klimarahmenkonvention von Rio 1992 zurückgeht, umfasst außer CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O auch drei Gruppen fluorierter Gase, nämlich HFKW (HFC), FKW (PFC) und SF<sub>6</sub>. Diese oft auch als "F-Gase" zusammengefassten Substanzen weisen für sich genommen im allgemeinen sehr hohe Treibhauspotenziale (GWP) auf. Im Nachfolgenden soll ihre quantitative Bedeutung im Rahmen der gesamten Belastung durch direkte Treibhausgas-Emissionen abgeschätzt werden.

### 1. Effektiver Umfang und Anteil der F-Gas-Emissionen weltweit und nach Industrie- und Entwicklungsländern 1990 und 2000

Sieht man sich die globalen THG-Emissionen der Jahre 1990 und 2000 an, so fallen die F-Gase absolut und relativ gering ins Gewicht. Dies zeigt Diagramm 1 mit zugehöriger Datentabelle.

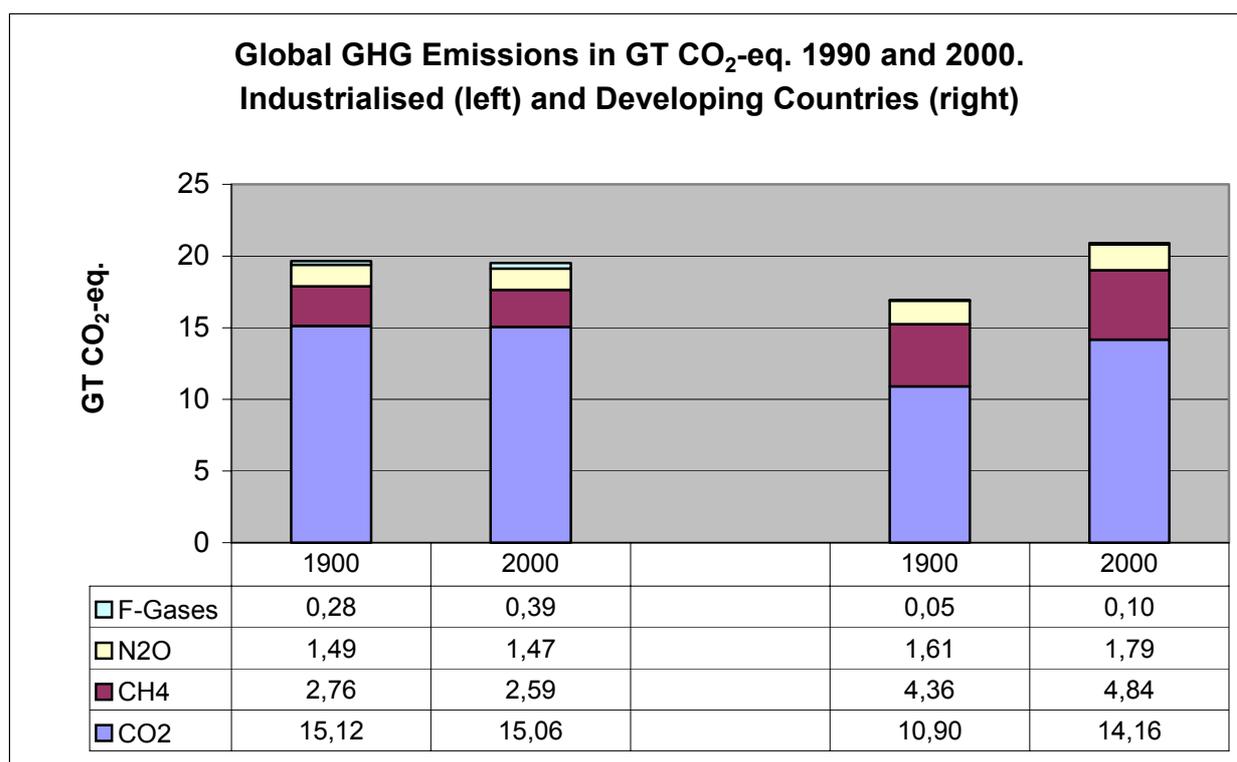


**Diagramm 1: Globale THG-Emissionen in Mrd. t (GT) CO<sub>2</sub>-Äquivalente 1990 und 2000 (Quelle: IPCC-SRES 2000).**

Im Jahre 1990 machten die drei F-Gas-Gruppen von den gesamten direkten THG-Emissionen von 36,58 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (Mrd. t wird nachfolgend mit GT, d.h. Giga-Tonnen, abgekürzt) gerade 0,33 Mrd. t (GT) oder 0,9% aus. Im Jahre 2000 waren sie um 160 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente auf 0,49 GT gestiegen und bildeten von den (infolge des starken Anstiegs von CO<sub>2</sub>) mittlerweile 40,41 GT umfassenden Gesamtemissionen 1,2%. Das ist gerade so viel, dass sie grafisch als oberste Lage überhaupt erkennbar werden (Diagramm 1).

*Zur Methode: Wo nicht anders vermerkt, werden die CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase auf einem Zeithorizont von 100 Jahren berechnet, wofür die GWP-Werte aus dem Dritten Assessment Report des IPCC (TAR) vom Jahre 2001 herangezogen werden, nicht die für das Kioto-Protokoll gültigen (älteren) Werte von 1995 (SAR). Wenn für die F-Gas-Emissionen des Jahres 2002 der GWP 20yr angewendet wird, dann steigt die Klimawirksamkeit der insgesamt 177 kT Emissionen des Jahres 2002 von 0,605 Mio. t auf 0,788 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Der Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen des gleichen Jahres bleibt aber 1,5%, sowohl mit dem GWP100yr als auch dem GWP20yr.<sup>1</sup>*

Die Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und das Kioto-Protokoll unterteilen die weltweiten Emissionen nach ihrer Herkunft aus Industrie- oder Entwicklungsländern, an die in Bezug auf die THG-Emissionen unterschiedliche Anforderungen gestellt werden. Die Unterteilung heißt häufig "Annex I" und "Non Annex I-Länder" (weil die Industrieländer im Anhang I über Reduktionsverpflichtungen angeführt sind). Ohne auf die Details einzugehen, decken sich die Industrieländer im wesentlichen mit den ca. 40 OECD-Ländern (USA, EU, Japan usw.) plus Osteuropa und Russland einerseits und den restlichen Ländern in Asien, Afrika, Lateinamerika (China, Indien, Brasilien usw.) andererseits. Diese Unterscheidung wird hier zugrundegelegt.



**Diagramm 2: Globale THG-Emissionen 1990 und 2000 nach Industrie- und Entwicklungsländern, nach den vier THG-Gruppen, in GT CO<sub>2</sub>-Äquivalente. (Quelle: IPCC-SRES 2000).**

<sup>1</sup> Diese Übereinstimmung hängt damit zusammen, dass bei einem 20-Jahre-Zeithorizont erstens im Nenner der Beitrag des Methans deutlich stärker ansteigt als der der F-Gase. Und zweitens ist die Erhöhung des F-Gas-Beitrags durch GWP20yr statt GWP100yr im Zähler noch gering, weil die "alten" F-Gase wie SF<sub>6</sub>, HFC-23 und PFC im GWP20yr niedriger sind als im GWP100yr.

Diagramm 2 (mit Datentabelle) zeigt ein sehr unterschiedliches Bild für die beiden Ländergruppen. Die THG-Emissionen blieben in den Industrieländern stabil, d.h. sie gingen von 1990 bis 2000 sogar leicht von 19,65 auf 19,51 GTCO<sub>2</sub> (GWP100yr) zurück. Alle Gase außer den F-Gasen waren am Rückgang beteiligt. Der Anteil der F-Gase stieg von 1,4% auf 2,0%.

In den Entwicklungsländern stiegen die Emissionen aller vier Gasegruppen an, so dass die Gesamtemissionen mit 20,9 GT CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in 2000 erstmals höher als in den Industrieländern waren. Absolut am stärksten nahm CO<sub>2</sub> zu, die F-Gase verdoppelten sich sogar - von sehr niedrigem Niveau aus -, und zwar von 0,05 GTCO<sub>2</sub> auf 0,10 GTCO<sub>2</sub>, was in 1990 erst 0,3% und in 2000 knapp 0,5% waren.

In den Entwicklungsländern machen die F-Gas-Emissionen sowohl absolut als auch relativ nur etwa ein Viertel der F-Gas-Emissionen der Industrieländer aus. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass dort Nachholbedarf bei F-Gasen besteht und die F-Gas-Emissionen mit der in den nächsten 50 Jahren erwarteten Industrialisierung ansteigen werden. In den Entwicklungsländern wird bis 2050 mit einer Vervierfachung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gerechnet (jährliche Wachstumsrate über 2%), während in den Industrieländern die CO<sub>2</sub>-Emissionen langfristig sinken sollen. Für F-Gas-Emissionen der Entwicklungsländer wird oft sogar eine Wachstumsrate von über 4% jährlich angenommen, d.h. die gleiche Wachstumsrate, die in den 90er Jahren schon bestand. Dazu weiter unten mehr.

Gemessen an der (welt-)regionalen Unterschiedlichkeit des Wachstumspotenzials der F-Gas-Emissionen ist für ihre quantitative Bewertung ihre heutige Zusammensetzung nach qualitativ verschiedenen Typen von noch größerer Bedeutung. Gemeint sind die chlorfreien und die chlorhaltigen Typen.

## **2. Das weltweite F-Gas-Emissionspotenzial des Jahres 2002 - unter Einbeziehung ozonschichtzerstörender Substanzen**

Das Kioto-Protokoll zum Klimaschutz umfasste im Jahre 2002 nur einen kleinen Teil der globalen klimawirksamen Emissionen fluorierter THG des gleichen Jahres, da es chlor- und bromhaltige F-Gase definitionsgemäß ausschließt. Es geht um FCKW und HFCKW (sowie Halone), die nicht nur die Ozonschicht schädigen, sondern auch sehr potente Treibhausgase sind. Im Jahre 1990 machten ihre Emissionen noch 15% der weltweiten direkten THG-Emissionen aus (IPCC 2001).

Die chlor- und bromhaltigen F-Gase wurden von der Rio-Klimarahmenkonvention (1992) und dem Kioto-Klimaschutzprotokoll (1997) bewusst ausgenommen, um das erfolgsversprechende Montrealer Protokoll zum weltweiten Ausstieg aus ozonschichtschädigenden Substanzen (ODS) nicht zu stören. Das wäre der Fall gewesen, wenn die grundsätzlich auf Reduzierungen angelegten Maßnahmen des Klimaschutzes auf chlorhaltige F-Gase angewendet worden wären, deren Totalausstieg aus der Anwendung (nicht Emission!) stufenweise bis 2040 bereits beschlossen war. So zielt das Kioto-Protokoll nur auf chlorfreie F-Gase ab. Allerdings wird der Rückgang der Emissionen chlorhaltiger F-Gase (im Rahmen des Montrealer Protokolls) mittelfristig zu einem beachtlichen Teil durch Emissionen chlorfreier Gase ausgeglichen, nämlich durch HFKW. Diese wurden von der Chemischen Industrie seit 1991 als ODS-Alternativen auf den Markt gebracht. Auf diese Weise, nämlich über ihre chlorfreien fluorierten Nachfolgestoffe, werden FCKW doch noch statistisch und ev. auch von Klimaschutzregelungen erfasst.

Die Entwicklungsdynamik der - chlorfreien - F-Gas-Emissionen wird seit 1991 tatsächlich von der ODS-Substitution durch die "neuen" F-Gase aus der Gruppe der HFKW getragen. Das heißt nicht, dass alle im Jahre 1990 bestehenden Anwendungen von FCKW und HFCKW letztlich zu HFKW-Anwendungen werden (1:1-Ersatz) oder dass nach der völligen Umsetzung des Montrealer Protokolls jener 15%-Anteil der FCKW-Emissionen von 1990 an den gesamten THG-Emissionen gar wieder erreicht würde. Dies ist in erster Linie deshalb nicht der Fall, weil der Bann der ODS mit einem Aufschwung von Verfahren und Stoffen verbunden war und ist, die direkt weder Ozonschicht noch Klima schädigen, so dass nur ein Teil (weit weniger als die Hälfte!) der früheren FCKW in chlorfreie HFKW umgewandelt wird. Ein weiterer Grund ist das deutlich niedrigere GWP der HFKW gegenüber den FCKW.

### **Alte und neue chlorfreie F-Gase**

Was im Jahre 1990 bereits an (chlorfreien) F-Gasen emittierte, waren noch nicht diese bewusst erzeugten HFKW gewesen, sondern "alte" Anwendungen, die bis vor 1970 zurückreichen. Zu etwa je einem Drittel an der F-Gas-Gesamtemission von 1990 beteiligt waren (1) Nebenprodukt-Emissionen von HFKW-23 aus der Herstellung des HFCKW-22, (2) Emissionen von SF<sub>6</sub> (Schaltanlagen, Magnesiumguss, Schallschutzscheiben) und (3) Emissionen von FKW, die hauptsächlich aus der Aluminiumverhüttung und der Halbleiterindustrie stammen. Diese drei Alt-Substanzen (HFC-23, SF<sub>6</sub>, PFC) bildeten zusammen Emissionen von ca. 30.000 metrischen Tonnen, die wegen der spezifisch sehr hohen GPWs (12000 für HFC-23, 22200 für SF<sub>6</sub>, 5700 für den PFC CF<sub>4</sub> und 11700 für den PFC C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>) allein immerhin etwa 340 Mio. t (0,34 GT) CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausmachten.

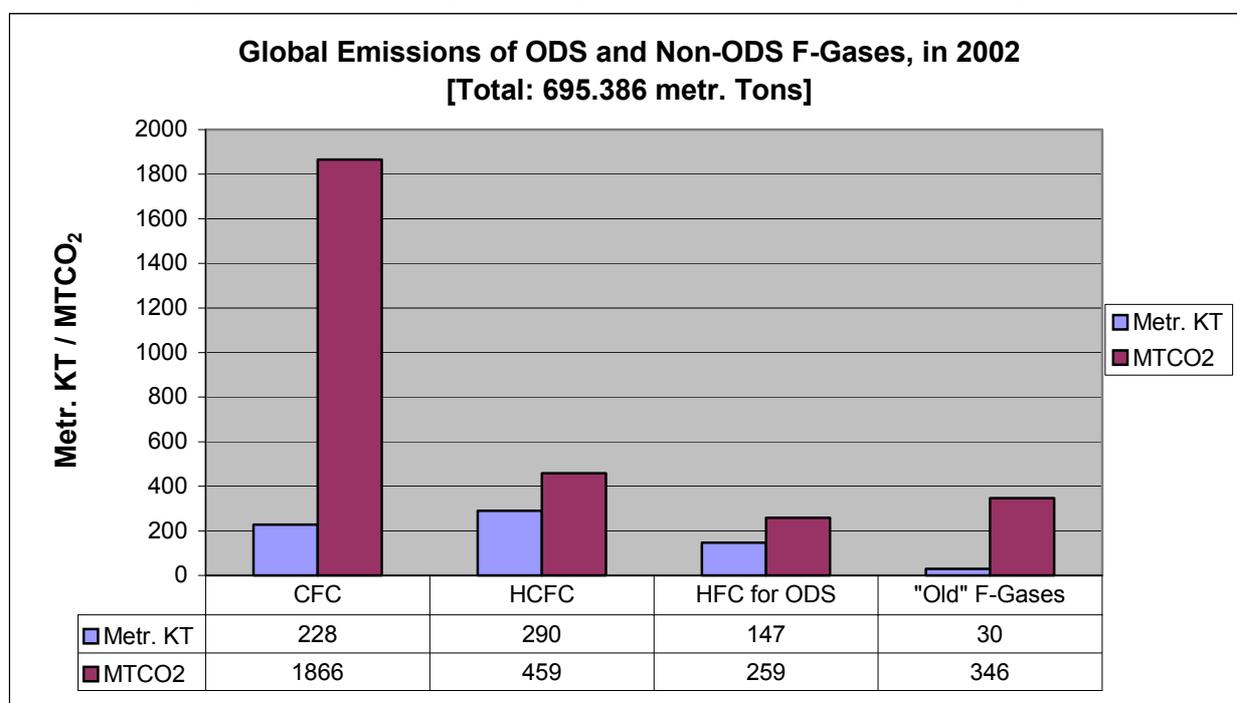
Damit wird auch klar, was sich im Diagramm 1 hinter den globalen 0,33 GTCO<sub>2</sub> F-Gas-Emissionen von 1990 verbirgt. Es sind durchweg diese "alten" Anwendungen. Sie haben ihre Größenordnung auch 2000 beibehalten. Das Wachstum bei F-Gasen um 0,16 GTCO<sub>2</sub> zwischen 1990 und 2000 (Diagramm 1) geht ganz auf "neue" Anwendungen zurück, d.h. auf Emissionen von ODS-ersetzenden HFKW.

### Klärung bis 2002: Wo HFKW die FCKW ersetzen und wo nicht

Im Laufe der 90er Jahre wurde im Wesentlichen entschieden, wo HFKW die FCKW/HFCKW substituieren und wo nicht. In vielen alten Domänen chlorhaltiger F-Gase wurden diese abgelöst und durch klimaschonende Stoffe oder Verfahren, nicht aber - oder nur in geringem Umfang - durch HFKW weiterbetrieben. Solche Sektoren sind Aerosole, Lösemittel, Feuerlöschmittel (in Industrieländern), mit Vorbehalt auch Treibmittel für Schaum. Was den "Klärungsprozess" der 90er Jahre fast unbehellig überstanden hat, sind dagegen Kältemittel: Kälte- und Klima sind heute die Hauptanwendung und zugleich Hauptemissionsquelle chlorhaltiger und chlorfreier F-Gase.

In dieser Studie wird die These vertreten, dass im Prinzip alle Anwendungen von F-Gasen, die heute (seit 2002) immer noch mit FCKW oder HFCKW betrieben werden, früher oder später zu HFKW-Anwendungen und damit zu Emissionsquellen von HFKW werden<sup>2</sup>. Das gegenwärtige F-Gas-Emissionspotenzial (ab 2002) umfasst daher außer den oben genannten Altsubstanzen (HFC-23, SF<sub>6</sub>, PFC) und den bereits heute durch HFKW ersetzten ODS zusätzlich die heute noch nicht umgestellten Anwendungen chlorhaltiger F-Gase (FCKW, HFCKW).

Diagramm 3 zeigt, wie sich heute (2002) die Emissionen von F-Gasen (chlorfreier und chlorhaltiger) weltweit mengenmäßig zusammensetzen (Quellenangaben unten).



**Diagramm 3: Globale Emissionen von chlorhaltigen (ODS) und chlorfreien F-Gasen im Jahre 2002: FCKW, HFCKW, HFKW als ODS-Ersatz, alte F-Gase.**

<sup>2</sup> Dies gilt allerdings nicht für Halone. Statt wie in den Industrieländern weitgehend ersetzt zu werden, wurden vor allem in China ihre Produktion und damit auch ihre Emissionen stark erhöht.

Im Diagramm machen die vier blauen Säulen (Angaben in metr. Kilotonnen) deutlich, dass von den gesamten potenziellen F-Gas-Emissionen des Jahres 2002 nur der kleinere Teil (25%) statistisch als "gültige" (chlorfreie) F-Gas-Emissionen registriert wird. Das sind 30 KT "alte" und 147 KT "neue" F-Gase (HFC for ODS) – zusammen 177 KT. Dagegen werden 518 t chlorhaltige F-Gase, nämlich 290 KT HFCKW und 228 KT FCKW, noch nicht berücksichtigt, weil sie noch nicht substituiert sind.

Die schwarzen Säulen mit dem jeweiligen Treibhauspotenzial der Emissionen zeigen: Als klimawirksam registriert werden für das Jahr 2002 rund 605 MTCO<sub>2</sub> (0,605 GTCO<sub>2</sub>), die sich aus 0,346 und 0,259 GTCO<sub>2</sub> für alte und neue F-Gase zusammensetzen. Gegenüber dem Jahr 2000 ist dies ein Emissionszuwachs um 100 MTCO<sub>2</sub> (0,10 GTCO<sub>2</sub>). Es versteht sich, dass das Treibhauspotenzial der FCKW- und HFCKW-Emissionen (1866 bzw. 459 MTCO<sub>2</sub>) nicht direkt übernommen werden kann, sondern einer vorherigen Umrechnung bedarf (s. nächster Abschnitt). Die 2930 MTCO<sub>2</sub> für die Gesamtemissionen haben daher eher einen illustrativen Wert. Sie zeigen, dass der F-Gas-Anteil (chlorhaltige und chlorfreie zusammen) in 2002 bei 6,8% der gesamten globalen THG-Emissionen gelegen hätte (100-Jahre-GWP).

Es fällt auf, dass bei "CFC" und "old F-Gases" die schwarze Säule die blaue viel stärker übersteigt, als dies bei "HFC" und "HFC for ODS" der Fall ist: FCKW und alte F-Gase haben extrem hohe GWP-Werte, bei HFCKW und HFKW sind sie nicht nur viel niedriger, sondern auch untereinander relativ gleich hoch. Es handelt sich, wohlbemerkt, um GWPs mit 100 Jahre Zeitintegration.

Diagramm 3 und die zugehörige Datentabelle beruhen auf einem tiefgestaffelten Arbeitsblatt (Tabelle 1), das die Emissionen der F-Gase nach 26 verschiedenen Typen unterscheidet und sechs Hauptanwendungen zuordnet. Die Daten wurden durchweg der neueren internationalen Fachliteratur entnommen, auf die in der Erläuterung zur Tabelle 1 verwiesen wird.

Tabelle 1 zeigt: Gemessen an Spitzenjahren der FCKW-Emissionen spielten in 2002 chlorhaltige und chlorfreie F-Gase keine bedeutende bzw. eine nur untergeordnete Rolle als Aerosoltreibmittel, als Lösemittel, Feuerlöschmittel sowie, wenn auch noch mit durchaus beachtlichen Anteilen, als Schaumtreibmittel (PU, XPS). Hier machen sich klimaschonende Alternativstoffe deutlich bemerkbar. Zu beachten ist, dass generell nicht von verwendeten Mengen die Rede ist (Verbrauch oder Bestand), sondern von Emissionen. Die MDI (Dosieraerosole) waren und sind weitgehend von fluorierten Gasen bestimmt, denen Pulverinhalatoren noch wenig Marktanteile abgenommen haben. Sie stellen aber insgesamt keinen sehr großen Sektor dar.

Dagegen sind chlorhaltige und chlorfreie F-Gas-Kältemittel zur eindeutig bestimmenden Emissionsgröße geworden. In der Summe emittieren aus dem Sektor Refrigeration/Air Conditioning 481.000 t fluorierte Kältemittel (elfte Zeile von unten, zweite Spalte). Das sind fast 70% aller F-Gas-Emissionen des Jahres 2002 im Umfang von 696.000 metr. t (letzte Zeile, dritte Spalte von rechts). Aus dem zweitgrößten Emissionssektor, PU- und XPS-Schaum, kommen mit 104.000 t knapp 15% aller F-Gas-Emissionen (elfte Zeile von unten). Alle anderen Sektoren sind der metrischen Tonnage ihrer Emissionen nach von untergeordneter Bedeutung, wengleich von der Klimawirkung (MTCO<sub>2</sub>) die "alten" F-Gas-Emissionen (HFC-23, SF<sub>6</sub> und PFC) jeweils in der Größenordnung der Emissionen des Schaumsektors liegen (siehe unteres Drittel der Tabelle).

<b>Table 1: Emissions of CFC, HCFC and chlorine-free F-Gases in 2002 by Types and Application Sectors, in metr. tons and MTCO<sub>2</sub></b>									
	Refr./AC	Foams	MDI	Aerosols	Solvents	Firefight	Total tons	GWP 100	Mt CO <sub>2</sub> <sub>100</sub>
CFC-11	7106	60000	4500	400	300		72306	4600	332,6
CFC-12	126644	3000	4500	1000			135144	10600	1432,5
CFC-113				200	300		500	6000	3,0
CFC-115	10475						10475	7200	75,4
Halons (1211/1301)						9371	9500	2420	22,7
<b>CFC/Halons</b>							<b>227796</b>		<b>1866</b>
HCFC-22	229303	4000		1900			235203	1700	399,8
HCFC-123	4151						4151	120	0,5
HCFC-124	2864						2864	620	1,8
HCFC-141b		15000		100	10800		25900	700	18,1
HCFC-142b		15000					15000	2400	36,0
HCFC-other (e.g. 225)					7000		7000	370	2,6
<b>HCFC</b>							<b>290118</b>		<b>459</b>
HFC-23	200					120	320	12000	3,8
HFC-32	568						568	550	0,3
HFC-125	12553						12553	3400	42,7
HFC-134a	74343	4000	2250	24000	500		105093	1300	136,9
HFC-143a	12085						12085	4300	52,0
HFC-152a	995	1000		2400			4495	120	0,5
HFC-227ea			750			360	1010	3500	3,9
HFC-236fa						149	120	9400	1,4
HFC-245fa		1500					1500	950	1,4
HFC-365mfc		500					500	890	0,4
HFC-43-10					2100		2100	1500	3,2
HFC Manuf/Distr. Loss							7000	1754	12,3
<b>HFC (for ODS)</b>							<b>147372</b>	1754	<b>259</b>
<b>ODS+ODS-Substitutes</b>	481286	104000	12000	30000	21000	10000	<b>665286</b>		<b>2584</b>
<b>HFC-23 (by-product 22)</b>							<b>10000</b>	12000	<b>120</b>
<b>SF<sub>6</sub></b>							<b>6000</b>	22200	<b>133</b>
CF <sub>4</sub>							12000	5700	68,4
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>							2000	11900	23,8
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>							100	8600	0,9
<b>PFC Total</b>							<b>14100</b>		<b>93</b>
<b>Non-ODS-Substitutes</b>							<b>30100</b>		<b>346</b>
<b>Total F-Gases</b>							<b>695386</b>		<b>2930</b>

Erläuterung der Tabelle: Refrigeration/Air Conditioning: Die Gliederung in die einzelnen Kältemitteltypen erfolgte nach der Studie von Palandre, L.. et al., Washington 2004.

Foams (PU, XPS): Die Gliederung wurde grundsätzlich nach UNEP 2003a vorgenommen, wobei Ashford, P. and M. Jeffs, Washington 2004 mit herangezogen wurden.

MDI: Gesamtmenge nach UNEP 2002b. HFKW-Anteil: Schätzung Öko-Recherche.

Aerosols: Menge und Struktur nach Campbell, N., 1999, sowie Harnisch, J. et al., 2001.

Solvents: Grundsätzlich nach UNEP 2003b, modifiziert nach AFEAS 2003.

Firefighting: Mengen nach Midgley, P. and A. McCulloch, 1999, sowie UNEP 2003c.

HFC-23, PFC und SF<sub>6</sub> wurden u.a. nach Harnisch, J. and N. Höhne, 2002, bestimmt.

HFC-Manufacturing+Distribution Loss: Eigenschätzung Öko-Recherche

Die GWP sind aus IPCC 2001, Ch. 6, Radioactive Forcing of Climate Change, p. 388/389.

Zusatz: Die untypische Halon-Emissionssteigerung in Entwicklungsländern wurde für diese Studie nicht beachtet, d.h. real um exakt 10000 t (13973 → 3973) Halon 1211 gekürzt.

Die Stabilität der fluorierten Kältemittel ist bisher nur in Randbereichen und begrenzt auf einige Industrieländer infragegestellt worden.

Weitgehend "unbehelligt" von GWP-freien Alternativen ist bislang die stationäre Kälte- und Klimatechnik, die die größte HFKW-Einzelanwendung (nach Bestand und Emissionen) darstellt. Von ihren Untersektoren sind lediglich die kleineren, nämlich die Industrie- und die Haushaltskälte, ernsthaft der Konkurrenz durch natürliche Kältemittel (CO<sub>2</sub>, Ammoniak, Kohlenwasserstoffe) ausgesetzt. Ob – vorerst in Europa – HFKW-Kältemittel in Autoklimaanlagen als FCKW-Nachfolger wieder eliminiert werden, ist noch nicht entschieden, allerdings von eminenter Wichtigkeit für die Zukunft der F-Gase. Kommerzielle Kälte und stationäre Klimaanlagen sind ebenso wie die Transportkälte klare Domänen von HFCKW und zunehmend von HFKW. (Näheres zu den einzelnen Sektoren nachfolgend).

### 3. Umrechnung der Emissionen chlorhaltiger und chlorfreier F-Gase von 2002 in ausschließlich chlorfreie (nach Treibhauspotenzial)

Die 695.386 metrischen Tonnen an F-Gas-Emissionen im Jahr 2002 bestanden zu 33% aus FCKW, zu 42% aus HFCKW und nur zu 25% aus chlorfreien F-Gasen. Da angenommen wird, dass die gesamte Menge der chlorhaltigen F-Gase (FCKW, HFCKW) durch HFKW ersetzt wird, soll hier ermittelt werden, welches Treibhauspotenzial die - mengenmäßig unveränderten - F-Gas-Emissionen von 2002 nach ihrer **Substitution** aufweisen.

Dazu muss für jeden Anwendungssektor eine Annahme über seine Zusammensetzung nach HFKW-Typen (nach vollständiger Substitution!) gemacht werden, um aus den unterschiedlichen GWPs sektorspezifische GWPs zu ermitteln. Solche Einschätzungen haben etwas Willkürliches. Wir bemühen uns jedoch, die gegenwärtig erkennbaren Trends festzustellen und fortzuschreiben. Die Annahmen und die sektoralen GWPs (100yr und 20yr) sind in Tabelle 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Treibhausgas-Emissionen (nur HFKW) im Ausdruck durch GWP 20yr im Durchschnitt fast doppelt so hoch sind wie berechnet nach dem Zeithorizont 100 Jahre: 3935 zu 2027.

Von großem Nutzen ist der Umstand, dass die Kältemittel-Studie von Palandre et al. (2004) den großen Kälte-Klima-Bereich in sechs Untersektoren aufteilt. Diese Untergliederung wird auch hier benutzt. Die GWPs der einzelnen HFKW-Typen und – Blends stammen aus dem Dritten IPCC-Bericht von 2001 und sind im **Anhang 1** dieser Studie wiedergegeben.

Sectors	HFC-Types by shares	GWP 100yr	GWP 20 yr
Foam (PU, XPS)	134a (19%)/245fa (61%)/365mfc (20%)	1005	2977
MDI	134a (75%)/227ea (25%)	1850	3875
Aerosols	134a (92%)/152a (8%)	1202	3059
Solvents	43-10 (100%)	1500	3700
Fire Extinguishers	23 (30%)/227ea (40%)/236fa (30%)	7820	7310
Domestic Ref	134a (100%)	1300	3300
Commercial Ref	134a (24%)/404A/507 (75%)/407C (1%)	3225	5112
Industrial Ref	134a (62%)/404A/507 (37%)/23 (1%)	2325	4240
Transport Ref	134a (48%)/404A/507 (50%)/410A (2%)	2586	4509
Stationary AC	134a (32%)/407C (35%)/410A (33%)	1649	3591
Mobile AC	134a (99%)/152a (1%)	1291	3279
Average		2027	3935

Anmerkung: Für den Sektor "Manufacturing/Distribution Loss" (1% der weltweiten HFKW-Produktion) wird als GWP der gewichtete Durchschnitt aller Sektor-GWP genommen.

Werden nun im nächsten Schritt die sektoralen Emissionsmengen (metr. Tonnage) mit ihren sektoralen HFKW-GWPs multipliziert (für Kälte-Klima wurde das sektorale Mengengerüst von Palandre et al. übernommen), dann ergibt sich das Treibhauspotenzial der gesamten F-Gas-Emissionen von 2002 nach Umrechnung

aller ODS- in reine HFKW-Emissionen. Der Zeithorizont für GWPs ist hier 100 Jahre. Dazu siehe Tabelle 3.

<b>Table 3: 2002 Total F-Gas emissions of actual and potential chlorine-free F-Gases (chlorine-containing F-Gas emissions are recalculated into HFC)</b>			
<b>Sector</b>	<b>Metr KT</b>	<b>GWP 100 yr</b>	<b>MTCO<sub>2</sub></b>
<b>HFC for ODS</b>			
Refrigeration/Air Cond.	481	2207	1062
- <i>Domestic</i>	9	1300	12
- <i>Commercial</i>	185	3225	597
- <i>Transport</i>	6	2586	16
- <i>Industry</i>	32	2325	75
- <i>Stationary AC</i>	115	1649	190
- <i>Mobile AC</i>	134	1291	173
Foam (PU, XPS)	104	1005	105
MDI	12	1850	22
Other Aerosols	30	1202	36
Solvents	21	1500	32
Firefighting	10	7820	78
Manuf./Distrib. Loss	7	2027	15
<b>Subtotal HFC for ODS</b>	<b>665</b>	<b>2027</b>	<b>1348</b>
<b>"Old" F-Gases</b>			
HFC-23 byproduct (22)	10	12000	<b>120</b>
SF <sub>6</sub>	6	22200	<b>133</b>
CF <sub>4</sub>	12	5700	68
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	2	11900	24
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	0,1	8600	0,9
PFC Total	14,1	6600	<b>93</b>
<b>Subtotal "old" F-Gases</b>	<b>30,1</b>		<b>346</b>
<b>F-Gases all</b>	<b>695</b>	<b>2437</b>	<b>1695</b>

Nach Umrechnung chlorhaltiger F-Gas-Emissionen in HFKW-Emissionen und ihrer Addition zu den im Jahr 2002 bereits wirklich chlorfreien F-Gas-Emissionen ergibt sich ein neues Bild der klimawirksamen Gesamtemissionen, ausgedrückt in MTCO<sub>2</sub>.

Während die ohnehin chlorfreien "alten" F-Gase bei GWP 100 yr mit 346 MTCO<sub>2</sub> (voraussetzungsgemäß) gleichgeblieben sind, steigen die "HFC for ODS" in ihrem Treibhauspotenzial von 259 MTCO<sub>2</sub> auf 1348 MTCO<sub>2</sub>, mithin um 1089 MTCO<sub>2</sub> oder um 420%. Insgesamt findet ein Anstieg der F-Gas-Emissionen von 605 auf 1695 MTCO<sub>2</sub> statt.<sup>3</sup> Diese Steigerung ist durch reine Umrechnung entstanden, wobei die Emissionsmasse (in metrischen Einheiten) unverändert bei 695 KT geblieben ist.

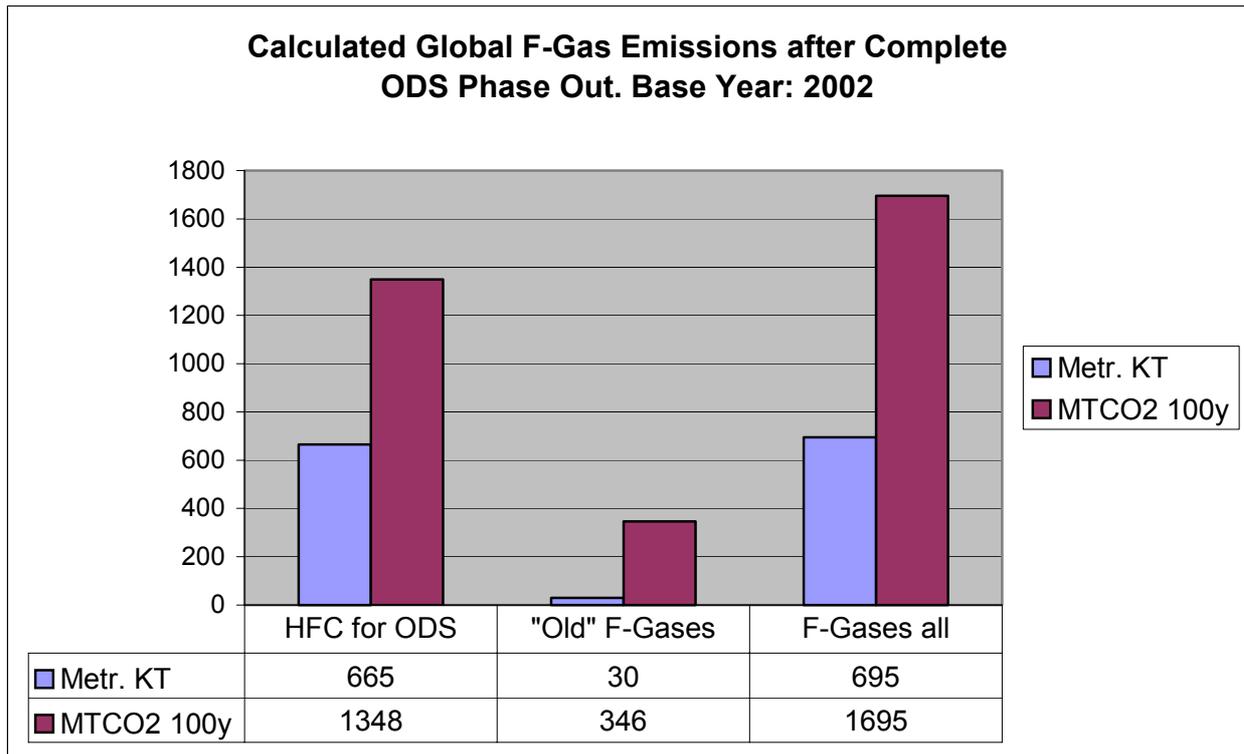
Tabelle 3 zeigt, dass in der Tat der Bereich Kälte-Klima mit 1062 MTCO<sub>2</sub> (von insgesamt 1695 MTCO<sub>2</sub>) bei weitem der bedeutendste für die Emissionen ist. Auch nach seiner Gliederung in Subsektoren bleiben seine drei größten Unterbereiche, nämlich Gewerbekälte, Stationäre Klimaanlage und Mobile Klimaanlage, die größten F-Gas-Emissionskategorien mit 597, 190 und 173 MTCO<sub>2</sub>, gefolgt von zwei der drei "alten" F-Gas-Emissionen, nämlich SF<sub>6</sub> und HFC-23 als Beiprodukt von

<sup>3</sup> Mit dem GWP20yr bewertet wären die F-Gas-Emissionen von 788 auf 2866 MtCO<sub>2</sub> gestiegen.

HFCKW-22 mit 133 und 120 MTCO<sub>2</sub>. Danach erst kommt der größte HFC-for-ODS-Sektor außerhalb von Kälte-Klima: Hartschaum XPS und PU (105 MTCO<sub>2</sub>).

Dies verweist auf die eminente Bedeutung der Kälte-Klimatechnik, und insbesondere der Gewerbekälte, im Rahmen der Klimaschutzpolitik.

Diagramm 4 zeigt grafisch, wie sich durch die Umrechnung die Rolle der ODS-substituierenden HFCKW gegenüber den alten F-Gasen erhöht hat. (Dies wird vor allem durch Vergleich mit Diagramm 3 deutlich.)



**Diagramm 4: Umgerechnete globale F-Gas-Emissionen für 2002, nach unterstelltem vollendetem Ausstieg aus ozonabbauenden Substanzen (GWP 100yr)**

Es lässt sich vorerst folgendes Zwischenergebnis festhalten: Hätten in 2002 bereits alle F-Gas-Emissionen aus chlorfreien fluorierten Substanzen bestanden, hätte ihre Klimawirkung, ausgedrückt in GWP mit 100-Jahre Zeithorizont, 1695 MTCO<sub>2</sub> betragen. Die gesamten THG-Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten des Jahres 2000 (neuere Schätzungen liegen uns nicht vor) betragen für alle Nicht-F-Gase global 39,92 GTCO<sub>2</sub> (nach Diagramm 1). Um die umgerechneten F-Gas-Emissionen von 2002 vermehrt (1,69 GtCO<sub>2</sub>), wären es 41,61 GTCO<sub>2</sub> gewesen.

Der Anteil der F-Gas-Emissionen hätte mithin über 4 % betragen, nicht nur 1,5%. Nur die Industrieländer betrachtet, wäre der Anteil dort deutlich höher gewesen (> 6%), da nicht nur chlorfreie F-Gase, sondern auch chlorhaltige, hauptsächlich aus Industrieländern, emittieren. Zu beachten ist auch, dass der Zeithorizont von 100 Jahren für die GWP-Berechnung zu Grunde gelegt worden ist, nicht der Zeithorizont von 20 Jahren, bei dem die F-Gas-Emissionen absolut und relativ deutlich höher bewertet werden. Darauf wird zurückgekommen.

## **4. Der Blick auf das Jahr 2050**

### **Globale F-Gas-Emissionen real erst 2050 chlorfrei**

Die Zusammenfassung der Emissionen chlorfreier und chlorhaltiger F-Gase erfolgte bislang rein rechnerisch. Es ist klar, dass sich in der Realität die Umwandlung in nur noch chlorfreie F-Gase über Jahrzehnte hinziehen wird. In Entwicklungsländern lässt das Montrealer Protokoll (Peking Amendment) den Einsatz chlorhaltiger F-Gase (HFCKW) noch bis 2040 zu. Daraus resultierende Emissionen aus Kälte-Klimaanlagen und Isolierschäumen dürften dann noch mehrere Jahre andauern.

Somit kann erst 2050 als Zeitpunkt gelten, wenn praktisch nur noch chlorfreie F-Gase emittieren. So sehen es auch die meisten IPCC-Emissions-Szenarien (IPCC-SRES).

### **Mindestens zwei Szenarien für THG Emissionen in 2050 erforderlich**

Bis 2050 werden allerdings nicht nur die in 2002 vorkommenden gesamten F-Gas-Emissionen "umgewandelt" sein. Vielmehr bleiben bis dahin weder die Emissionen der anderen THG (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) auf dem Stand von 2002, noch kann dies von den F-Gas-Emissionen selber angenommen werden. Es ist daher nötig, für 2050 mindestens zwei Szenarien zu haben:

Erstens eines für die Emissionen der F-Gase, und zwar ausgehend vom in 2002 erreichten Stand der zusammengefassten Emissionen chlorfreier und chlorhaltiger Substanzen.

Zweitens für die Emissionen der drei THG CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>. (Solche Szenarien wurden 2001 im Rahmen des IPCC-TAR präsentiert und können übernommen werden.)

### **Regional verschiedene Wachstumsraten für F-Gas-Emissionen**

F-Gas-Emissionen sind ein Indikator für den Grad der Industrialisierung. Bereits im ersten Abschnitt dieser Studie wurde offenbar, dass gegenwärtig die Bedeutung der F-Gase in den Entwicklungs- und Schwellenländern noch viel geringer ist als in den Industrieländern. Wenn daher den Entwicklungsländern für die drei "klassischen" THG eine - verglichen mit den Industrieländern - signifikant höhere Wachstumsrate der Emissionen bis 2050 vorausgesagt wird, so gilt dies erst recht für die F-Gase.

Daraus folgt: Um die globalen F-Gas-Emissionen des Jahres 2050 abschätzen zu können, müssen sie zunächst für Industrie- und Entwicklungsländer auf dem Stand von 2002 getrennt ermittelt werden. Denn sowohl die Ausgangslage (2002) als auch künftige Emissionsentwicklung (bis 2050) ist in beiden Ländergruppen verschieden.

Ausgangslage der mit unterschiedlicher Dynamik wachsenden F-Gas-Emissionen sind die F-Gas-Emissionen mit und ohne Chlor des Jahres 2002, und zwar getrennt nach Industrie- und Entwicklungsländern.

## 5. Aufteilung der globalen F-Gas-Emissionen von 2002 nach Industrie- und Entwicklungsländern

### Regionale Aufteilung der globalen F-Gas-Emissionen von 2002, nach Masse

In Tabelle 4 wird Sektor für Sektor die regionale Gliederung der gesamten F-Gas-Emissionen (mit und ohne Chlor) in Industrie- und Entwicklungsländern abgeschätzt.

<b>Table 4: Percentage of developing and industrialised countries in F-gas emissions (with and without chlorine) in metric kilo-tonnes, in 2002</b>			
Sector	Metric KT	Developing Countries	Industrialised Countries
<b>HFC for ODS</b>			
Refrigeration/Air Conditioning	481	22%	78%
- Domestic	9	25%	75%
- Commercial	185	37%	63%
- Transport	6	15%	85%
- Industry	32	7%	93%
- Stationary AC	115	15%	85%
- Mobile AC	134	10%	90%
Foam (PU, XPS)	104	20%	80%
MDI	12	8%	92%
Other Aerosols	30	12%	88%
Solvents	21	27%	73%
Firefighting	10	46%	54%
Manuf./Distrib. Loss	7	25%	75%
<b>Subtotal</b>	<b>665</b>	<b>21%</b>	<b>79%</b>
<b>"Old" F-Gases</b>			
HFC-23 byproduct (22)	10	27%	73%
SF <sub>6</sub>	6	20%	80%
CF <sub>4</sub>	12	25%	75%
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	2	25%	75%
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	0,1	7%	93%
PFC Total	14,1	25%	75%
<b>Subtotal</b>	<b>30,1</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
<b>F-Gases all</b>	<b>695</b>	<b>21%</b>	<b>79%</b>

Quellenangabe der Tabellendaten:

Refrigeration/Air Conditioning: Die regionale Aufteilung (Bank) stützt sich auf UNEP 2003d und Palandre et. al. 2003. Foam: Die regionale Gliederung (Bank) folgt UNEP 2003a und UNEP 2003b. MDI und Other Aerosols: Die regionale Gliederung (Verbrauch) folgt UNEP 2002b. Solvents: Regionale Aufteilung (Verbrauch) nach UNEP 2003b. Firefighting: Regionale Gliederung der Emissionen nach UNEP 2003c (China-Emissionen durch Öko-Recherche um 10.000 t gekürzt). HFC-23: Folgt regionaler Aufteilung der Produktion von HCFC-22 in UNEP 2003b. SF<sub>6</sub>: Nach Harnisch et. al. (2001) – anhand Schaltanlagen und Magnesiumanwendung umgerechnet auf 2002. PFC: Nach Harnisch et. al. (2001) – für Aluminium und Halbleiterindustrie umgerechnet auf 2002.

In Masse-Einheiten (KT) stammen die Gesamtemissionen in Höhe von 695 KT zu 79% aus Industrie- und zu 21% aus Entwicklungsländern.

Die Spannweite reicht von 93% Anteil der Industrieländer an den Emissionen aus der Industriekälte bis zu lediglich 63% Industrieländeranteil an den Emissionen aus der Gewerbekälte<sup>4</sup>. Für den hohen Anteil der Entwicklungsländer an den Emissionen (genauer: am Kältemittel-Bestand) der Gewerbekälte machen die Experten den enormen Boom in der Lebensmittel-Verkaufskühlung in China verantwortlich.

Der Anteil der Entwicklungsländer an den ODS-ersetzenden HFKW entspricht mit 21% ihrem durchschnittlichen Anteil an den gesamten F-Gas-Emissionen. Bei den alten F-Gas-Emissionen ist er mit 25% etwas höher. Zu beachten ist, dass es hier um Anteile an der Masse, nicht an der Klimawirkung der F-Gas-Emissionen geht.

### **Regionale Aufteilung der F-Gas-Emissionen von 2002, in MTCO<sub>2</sub>**

Im nächsten Schritt werden die Masse-Einheiten der F-Gas-Emissionen sowohl für Industrie- als auch für Entwicklungsländer in klimawirksame Einheiten umgerechnet, indem die Masse in KT mit den sektoralen GWPs (aus Tabelle 2) multipliziert wird, ein Mal mit GWP 100yr und ein Mal mit GWP 20yr.

Das Doppel-Diagramm 5 und die zugehörigen Datentabellen zeigen die ungleiche Verteilung der globalen F-Gas-Emissionen des Jahres 2002 nach Industrie- und Entwicklungsländern. Jeweils links wird die Masse der Emissionen in KT dargestellt, rechts wird die Emissionsmasse mit ihrem Treibhauspotenzial gezeigt, und zwar oben mit dem GWP 100yr und unten mit dem GWP 20yr.

Aus den Industrieländern (weitgehend identisch mit non-Article 5 (1) countries) emittieren 546 KT, aus den Entwicklungsländern (weitgehend Article 5 (1) countries) emittieren 149 KT.

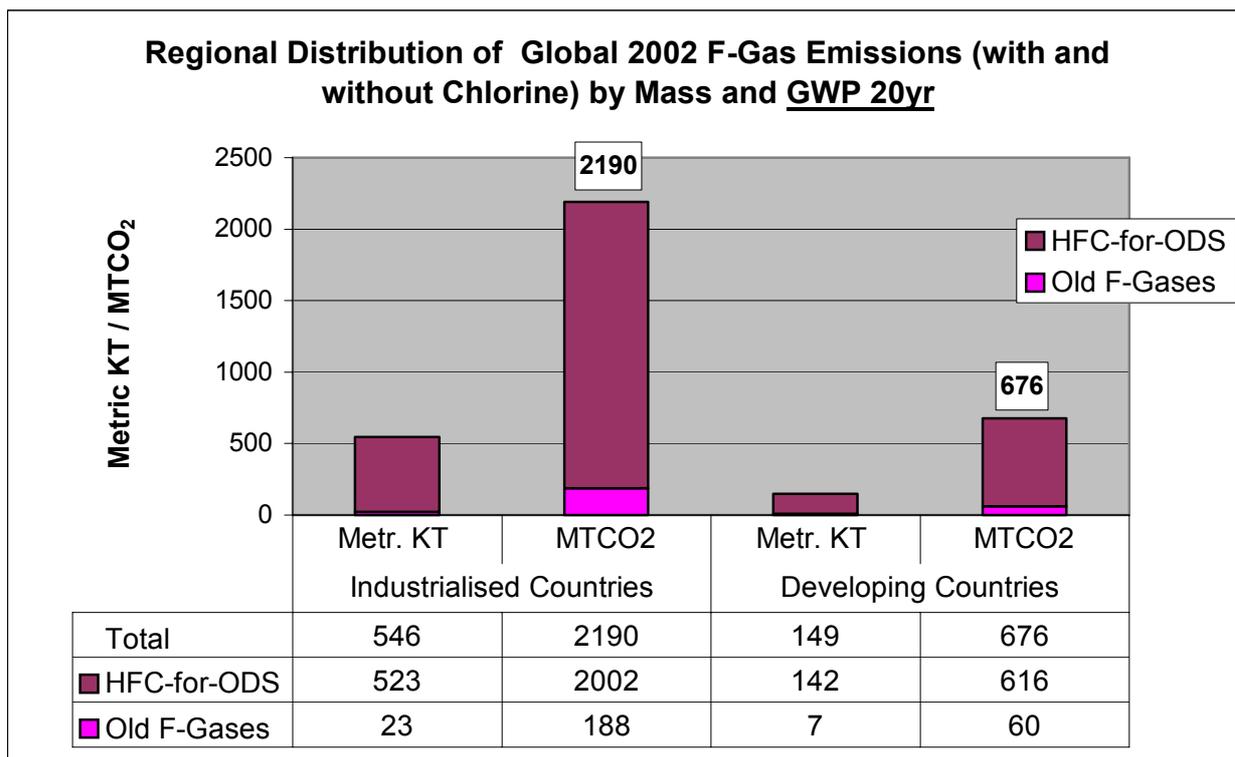
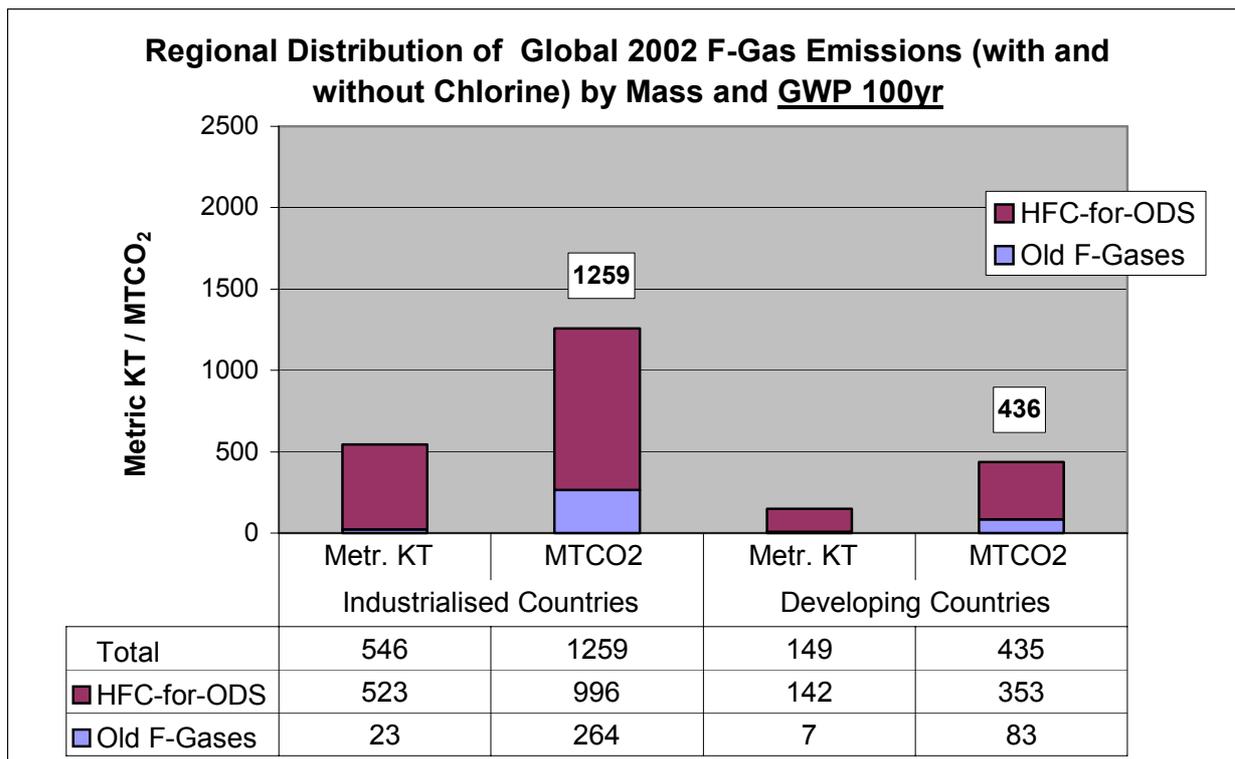
Das Treibhauspotenzial dieser Emissionen nach dem GWP 100yr verteilt sich mit 1259 MTCO<sub>2</sub>-Äquivalente auf Industrie- und mit 436 MTCO<sub>2</sub>-Äquivalente auf Entwicklungsländer.

Das Treibhauspotential der Emissionen nach dem GWP 20yr ist generell höher. Es beträgt 2190 MTCO<sub>2</sub> in Industrieländern und 676 MTCO<sub>2</sub>-Äquivalente in Entwicklungsländern.

Aus den Industrieländern kamen in 2002 fast drei Mal so viel treibhauswirksame F-Gas-Emissionen wie aus den Entwicklungsländern.

---

<sup>4</sup> Noch höher liegt der Entwicklungsländer-Anteil bei Firefighting (46%). Dies geht auf die nach Ansicht von Öko-Recherche nur vorübergehend extrem hohen Halon-1211-Emissionen aus China zurück, die nicht in vollem Umfang in HFKW-Emissionen umgewandelt werden dürften. Bei ihrer vollen Berücksichtigung müssten statt 46% sogar 73% veranschlagt werden. Dieser Punkt bedürfte näherer Betrachtung, die hier nicht geleistet werden kann.



**Diagramm 5: Regionale Verteilung der gesamten Emissionen chlorfreier und chlorhaltiger F-Gase von 2002 nach Masse (in KT) und MTCO<sub>2</sub>-Äquivalente nach GWP 100yr (oben) und GWP 20yr (unten).**

Als Vorgriff: Nur die Industrieländer für sich genommen, machen bei GWP 100yr die 1,259 GTCO<sub>2</sub> F-Gas-Emissionen (2002) von den gesamten THG-Emissionen (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, F-Gase) des Jahres 2000, nämlich 20,374 GTCO<sub>2</sub>, knapp 6,2% aus. Bei den Entwicklungsländern beträgt der auf diese Weise definierte F-Gas-Beitrag nur 2,1%. Den GWP 20yr auf alle THG angewandt, sind es mehr: 8,6% bzw. 2,3%.

## **6. Annahmen für die Entwicklung der F-Gas-Emissionen bis 2050**

Nachdem das absolute Ausgangsniveau für das weitere Wachstum der treibhauswirksamen F-Gas-Emissionen sowohl für die Industrie- als auch die Entwicklungsländer fixiert ist (546 bzw. 149 KT in 2002), stellt sich die Frage nach dem wahrscheinlichen Wachstum für die Zeit von 2003 bis 2050.

Dass es zu einem Wachstum bei den F-Gas-Emissionen kommt, ist unter den Experten unstrittig. Ebenso ist unstrittig, dass das globale Wachstumstempo höher liegen wird als das von CO<sub>2</sub> (und ohnehin höher als das von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O). Es ist auch allgemeiner Konsens, dass das Wachstum der F-Gas-Emissionen nach Entwicklungs- und Industrieländern gespalten verlaufen wird, d.h. dass es in den Entwicklungs- und Schwellenländern mit ihren heutigen Zentren China, Indien, Südamerika viel stärker sein wird als in den Industrieländern, die im Wesentlichen aus Nordamerika, der EU und Japan sowie Osteuropa und Australien bestehen.

Kein Experte kann jedoch mit Sicherheit voraussagen, ob das globale Wachstum 1, 2, 3 oder 4 % jährlich beträgt, ob es in den Entwicklungsländern eher im Bereich von 5% oder von 10% liegt, und ob es in den Industrieländern 0% oder plus oder minus 1% sein werden. Allerdings liegen viele Erwartungen in diesen Größenordnungen.

### **Langfristige jährliche Wachstumsraten der F-Gas-Emissionen bis 2050**

In dieser Studie wird folgender Weg beschritten:

#### **1. Die Emissionen der sogenannten alten F-Gase (HFC-23, SF<sub>6</sub> und PFC) werden langfristig als global konstant angenommen.**

Der globale Sockelbetrag von 30 KT bleibt gleich, wobei sich seine Quellen zugunsten der Entwicklungsländer auf Kosten der Industrieländer verschieben, so dass in 2050 jeweils die Hälfte der Emissionen aus beiden Weltregionen kommt.

- HFC-23-Emissionen, deren Umfang von der Produktion des HCFC-22 als Endprodukt und als Zwischenprodukt (für PTFE) abhängig ist, dürften bis 2050 nicht wachsen, sondern eine Verschiebung von Industrie- zu Entwicklungsländern erfahren.
- Bei SF<sub>6</sub>-Emissionen wird ebenfalls eine Verschiebung zugunsten der Entwicklungsländer angenommen. Aus der Anwendung elektrischer Betriebsmittel zur Energieübertragung wird langfristig mehr emittieren, aus offenen Anwendungen wie Erzeugen und Gießen von Magnesium weniger.
- PFC-Emissionen steigen auf absehbare Zeit aus der Halbleiterproduktion an, gehen aber aus der Aluminiumerzeugung zurück.

#### **2. Bei den sogenannten neuen F-Gasen, den HFKW, wird für Industrieländer ab 2003 eine Wachstumsrate der Emissionen zwischen minus und plus 0,5% jährlich erwartet.**

Sicher sind in den Industrieländern heute die Möglichkeiten zur Emissionsminderung noch nicht ausgeschöpft, und zwar weder im laufenden Betrieb noch am Lebensende von F-Gas-haltigen Produkten (Kälte-Klima-Anlagen, Isolierschäume, Löschanlagen). Die Emissionen werden daher nicht im Maße des zusätzlichen HFKW-Einsatzes steigen, sondern geringer. Es sollte jedoch nicht vergessen werden, dass zu den Industrieländern im Sinne des Kioto Protokolls (Annex-I parties) auch die Staaten Osteuropas, ganz Russland sowie die Türkei gehören, die durchaus noch extensiven Nachholbedarf bei Industrialisierung, Motorisierung usw. haben - und immerhin 20% der Bevölkerung der Industrieländer ausmachen.

Daher wird versucht, dem zweifellos wachsenden Einsatz von HFKW in Industrieländern (über die "umgerechneten" HFKW von 2002 hinaus) bei gleichzeitiger Verbesserung der Emissionsrückhaltung durch die Abschätzung eines möglichen Spielraums der F-Gas-Emissionen des Jahres 2050 Rechnung zu tragen. Dieser Spielraum liegt zwischen Emissionen, die sich aus einer Wachstumsrate von +0,5%/yr und aus einer Wachstumsrate von -0,5%/yr ergeben.

**3. Bei den HFKW-Emissionen wird für die Entwicklungsländer ab 2003 eine Wachstumsrate zwischen 3,5 und 4,5% jährlich zu Grunde gelegt.**

Während für die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Entwicklungsländer meistens (auch in dieser Studie) eine langfristige jährliche Wachstumsrate von ca. 2% angenommen wird, muss bei den F-Gasen eine höhere Zunahme für den Einsatz von HFKW angesetzt werden. Dies ist besonders wegen der steil steigenden Anforderungen an die Haltung verderblicher Lebensmittel (Kühlkette) und die Klimatisierung von Gebäuden und Fahrzeugen erforderlich.

Wie schon erwähnt, ist die Hauptanwendung der HFKW seit dem "Klärungsprozess" der 90er Jahre die Kälte- und Klimatechnik. Auch die zweitgrößte HFKW-Anwendung, die Herstellung von Isolierschäumen, steht in direktem Zusammenhang mit Kältetechnik (Kühlgeräte, Kühlmöbel, Kühlräume, Kühlhäuser), und zwar in Entwicklungsländern mehr als in Industrieländern, wo aus klimatischen Gründen die Gebäudedämmung gegen Heizverluste im Vordergrund steht.

Eine jährliche Zunahme um 4% beim HFKW-Einsatz markiert unserer Meinung einen wahrscheinlichen langfristigen Nutzungstrend, wobei 3% sicherlich wenig sind und 5% nicht zu viel. (Die Rate betrug in China in den letzten Jahren 10% jährlich).

Die Wachstumsrate für den HFKW-Einsatz gilt in den Entwicklungsländern im Prinzip als identisch mit einer jährlichen Zunahme der Emissionen um die gleiche Rate. Dies wäre anders, wenn neue wirksame Maßnahmen zur HFKW-Rückgewinnung am Lebensende HFKW-haltiger Produkte zu erwarten wären. Das wird in diesem Szenario nicht angenommen, zumal Rückgewinnung in breitem Maße bisher auch in hochentwickelten Industrieländern nicht Stand der Realität ist.

Bei einer geringeren Wachstumsrate, etwa 2%, wären alle Entwicklungsländer zusammen in 48 Jahren (ab 2002) gerade bei dem Emissionsniveau, das die Industrieländer im Jahre 2002 hatten. Da die heutige Bevölkerung der Entwicklungsländer (non-Annex-I countries) 5 Mrd. beträgt, die der Industrieländer (Annex-I parties) nur 1,2 Mrd., wären dann (gleichmäßiges Bevölkerungswachstum

unterstellt) die F-Gas-Emissionen pro Kopf in den Entwicklungsländern noch über vier Mal geringer als in den Industrieländern. Dies halten wir für unwahrscheinlich.

### **Keine Prognosen für die Jahre zwischen 2002 und 2050 sinnvoll**

Die Entwicklung des Treibhausbeitrags durch F-Gas-Emissionen zwischen 2002 und 2050 zerfällt in zwei Prozesse. Erstens in die Vollendung der Substitution von ODS durch HFKW auf der Massenbasis von 2002 und zweitens in ein von 2002 ausgehendes neues Wachstum durch – überwiegend - HFKW (auch HFCKW sind vorübergehend möglich). Anders als das neue Wachstum ab 2002, das den Treibhauseffekt grundsätzlich erhöht, geht die ODS-Substitution real mit abnehmendem Beitrag zum Treibhauseffekt einher, da extrem starke Treibhausgase (FCKW) durch nicht ganz so starke Treibhausgase (HFKW) ersetzt werden. Dieser letztere Effekt ist in dieser Studie dadurch ausgeschaltet, dass für 2002 bereits alle ODS in chlorfreie F-Gase umrechnet wurden, was als Realität erst für 2050 angenommen werden kann. Daraus ergibt sich aber, dass bis 2050 alle prognostizierten Werte reine Rechenwerte sind, die keine Deckung mit der Realität beanspruchen können, in der sich noch die ODS-Substitution vollzieht. Erst der Prognosewert für 2050 muss wirklich auf den Prüfstand der Realität.

Darum werden keine "Zwischenwerte" für die Zeit von 2002 bis 2050 präsentiert.

## 7. Prognose der weltweiten F-Gas-Emissionen für 2050

Werden die oben genannten unterschiedlichen Niveaus der Wachstumsraten der F-Gas-Emissionen für "alte" F-Gase, für HFKW in Industrieländern und für HFKW in Entwicklungsländern an die entsprechenden F-Gas-Emissionen des Jahres 2002 angelegt, ergeben sich die in Tabelle 5 eingetragenen Prognosewerte bzw. ihre Spielräume für 2050. Es gilt zu beachten, dass sich die Ausgangs-Emissionen von 2002 zusammensetzen aus erstens den effektiv emittierten chlorfreien F-Gase und zweitens den chlorhaltigen F-Gasen, die in ihre chlorfreien Ersatz-HFKW umgerechnet wurden. Die Wachstumsraten beziehen sich somit auf F-Gase, die im Jahr 2002 realiter sowohl chlorfrei als auch chlorhaltig waren.

Wichtig zu wissen ist auch, dass die Wachstumsraten im Rahmen dieser Studie nicht nach Sektoren differenziert werden können, sondern dass sie einheitlich für alle Sektoren gelten. Diese Vereinfachung muss in Kauf genommen werden.

### F-Gas-Emissionen und ihre Spielräume 2050 - in KT

Tabelle 5 zeigt in der zweiten Spalte die unterschiedlichen jährliche Wachstumsraten und in den folgenden Spalten die erzielten F-Gas-Emissionen in 2050.

	Growth Rate	2002*	2050
1. Old F-Gases Ind. C.	-0,9 % / yr	23	15
2. Old F-Gases Dev. C.	+1,6 % / yr	7	15
3. HFC Ind. Countries	+0,5 % / yr	523	665
4. HFC Ind. Countries	-0,5 % / yr	523	411
5. HFC Dev. Countries	+4,5 % / yr	142	1174
6. HFC Dev. Countries	+3,5 % / yr	142	740
7. F-Gases World low	+1,11 % / yr	695	1182
8. F-Gases World high	+2,08 % / yr	695	1869

\* 2002 ist der Ausgangspunkt: die Summe aller in 2002 effektiv emittierten F-Gase ohne Chlor plus der chlorhaltigen F-Gase, die in ihre chlorfreien Ersatz-HFKW umgerechnet wurden.

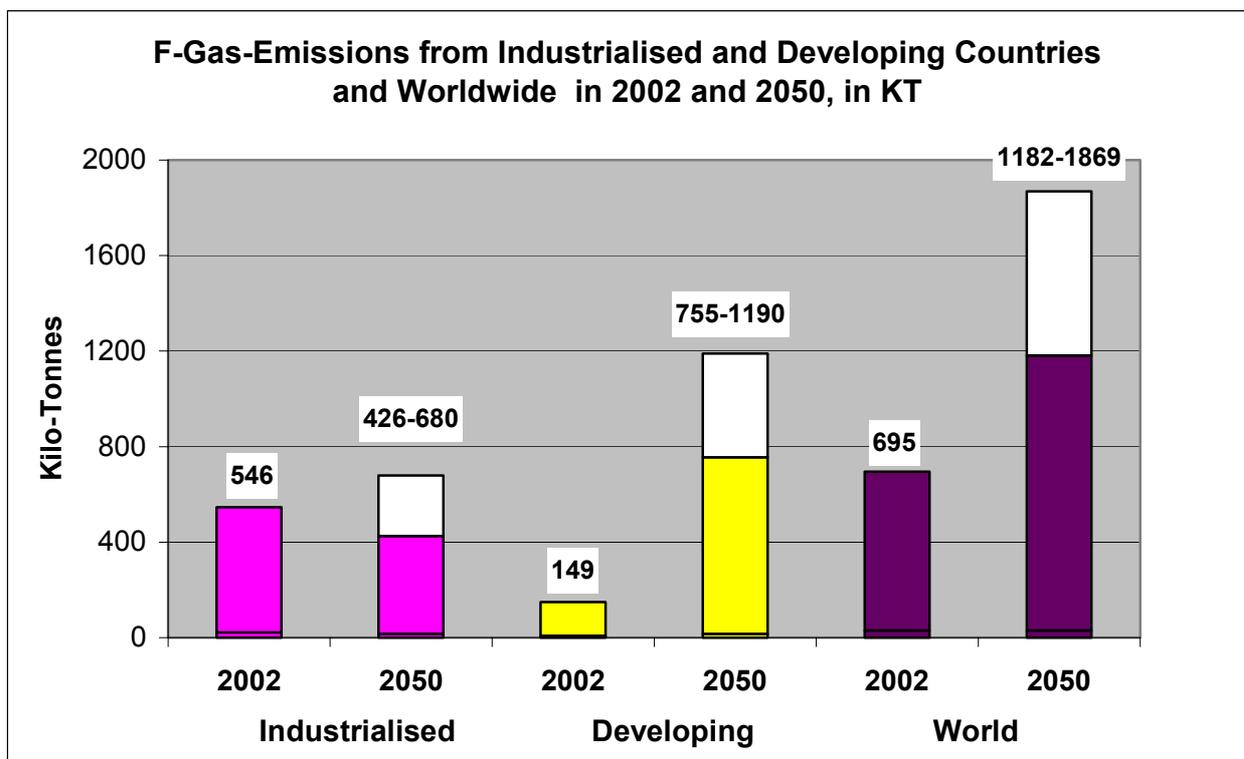
Es zeigen sich folgende Resultate:

1. Die Emissionen alter F-Gase bleiben aufgrund des globalen Nullwachstums mit 30 KT auf dem Ausgangsniveau von 2002 (Zeilen 1 und 2). Damit sich die Emissionen in 2050 zu je 15 KT auf Industrie- und Entwicklungsländer verteilen, ist für erstere eine mittlere negative Wachstumsrate (über 48 Jahre) von  $-0,9\%$  jährlich erforderlich. Bei den Entwicklungsländern muss die Wachstumsrate im Durchschnitt  $1,6\%$  jährlich betragen.
2. Laut Zeilen 3 und 4 steigen die HFKW-Emissionen der Industrieländer auf Basis einer Wachstumsrate von  $+0,5\%$  jährlich bis 2050 von 523 auf 665 KT oder um  $27\%$ . Bei einer negativen jährlichen Wachstumsrate von  $-0,5\%$  sinken sie dagegen auf 411 KT bzw. um  $21\%$ .

3. Die HFKW-Emissionen der Entwicklungsländer (Zeilen 5 und 6) steigen von einem niedrigeren Ausgangsniveau viel steiler an. Bei einer Wachstumsrate von 4,5% wachsen sie zwischen 2002 und 2050 von 142 auf 1174 KT oder um 725%. Bei einer um ein Prozent niedrigeren Rate von 3,5% jährlich steigen sie auf 740 KT an. Das ist immer noch ein Wachstum um 420%.
4. Die weltweiten F-Gas-Emissionen (einschl. alter F-Gase) steigen in den 48 Jahren zwischen 2002 und 2050 im Szenario "low" (HFKW-Wachstumsraten: -0,5% Industrieländer und +3,5% Entwicklungsländer) von 695 KT auf 1182 KT. Das ist ein Wachstum um insgesamt 70%, was einer mittleren jährlichen Wachstumsrate von 1,11% entspricht.  
Im Szenario "high", das die jeweils höheren HFKW-Wachstumsraten zugrundelegt, nämlich +0,5% für Industrieländer und +4,5% für Entwicklungsländer, steigen die Emissionen bis 2050 von 695 auf 1869 KT bzw. um 169%. Das entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 2,08%.

Diagramm 6 zeigt diese Ergebnisse grafisch:

Die beiden linken Säulen (blau) stellen die Emissionen der Industrieländer dar, die vom historischen (umgerechneten) Ausgangsniveau 546 KT bei einer Wachstumsrate von -0,5% auf 426 KT zurückgehen und bei einer Wachstumsrate von +0,5% auf 680 KT steigen. Der weiße Säulenausschnitt markiert den Spielraum der Emissionen, der sich aus den Unterschieden der Wachstumsraten ergibt.



**Diagramm 6: F-Gas-Emissionen der Industrie- und Entwicklungsländer sowie weltweit in den Jahren 2002 und 2050, in Kilo-Tonnen. Die globalen F-Gas-Emissionen steigen je nach angenommenen Wachstumsraten auf zwischen 1182 und 1869 KT in 2050. Die weißen Säulenausschnitte zeigen den Emissionsspielraum aufgrund der unterschiedlichen Annahmen für die HFKW-Wachstumsraten (+0,5 und +4,5 gegenüber -0,5 und +3,5).**

Die mittleren Säulen (gelb) zeigen die Emissionen der Entwicklungsländer. Sie steigen in jedem Falle vom niedrigen Ausgangsniveau (149 KT) aus an: bei der Wachstumsrate +3,5% auf 755 KT, bei der Wachstumsrate +4,5% auf 1190 KT. Der weiße Ausschnitt markiert wieder den Emissionsspielraum von 2050 auf Grund der verschiedenen Wachstumsraten. In beiden Fällen werden die Emissionen der Entwicklungsländer diejenigen der Industrieländer bis 2050 überholen.

Die rechten Säulen (rot) zeigen die addierten Emissionen der Industrie- und Entwicklungsländer für 2002 (historischer Umrechnungswert) und für 2050. Der Emissionsspielraum für die weltweiten Emissionen (weiß) bewegt sich zwischen 1187 und 1869 KT.

Im nächsten Schritt werden die Emissionen der F-Gase aus Masseinheiten in ihr Treibhauspotenzial umgerechnet, und zwar zunächst mittels des GWP 100yr und danach mit dem GWP 20yr.

## 8. Der Treibhausbeitrag der F-Gas-Emissionen im Jahr 2050

### Das Treibhauspotenzial der F-Gas-Emissionen 2050 I (GWP 100 Jahre)

Durch Multiplikation der sektoralen F-Gas-Emissionen mit ihren spezifischen GWPs mit Zeithorizont 100 Jahre (Tabelle 2), ergeben sich die Treibhauspotenziale der F-Gas-Emissionen und ihre durch die verschiedenen Wachstumsraten gegebenen Spielräume bis 2050, und zwar für Industrieländer, Entwicklungsländer und für die gesamte Welt (Siehe Tabelle 6). Wirklich bedeutsam sind die Werte des Jahres 2050, weshalb die Tabelle auf Werte zwischen 2002 und 2050 verzichtet.

	Growth Rate	2002*	2050
1. Old F-Gases Ind. C.	-0,9 % / yr	263	173
2. Old F-Gases Dev. C.	+1,6 % / yr	83	173
3. HFC Ind. Countries	+0,5 % / yr	996	1265
4. HFC Ind. Countries	-0,5 % / yr	996	783
5. HFC Dev. Countries	+4,5 % / yr	353	2918
6. HFC Dev. Countries	+3,5 % / yr	353	1840
7. F-Gases World low	+1,80 % / yr	1695	2969
8. F-Gases World high	+2,70 % / yr	1695	4530

\* 2002 ist der Ausgangspunkt: die Summe aller in 2002 effektiv emittierten F-Gase ohne Chlor plus der chlorhaltigen F-Gase, die in ihre chlorfreien Ersatz-HFKW umgerechnet wurden.

Im Jahre 2050 werden sich bei den in Tabelle 6 gegebenen Wachstumsraten die weltweiten F-Gas-Emissionen zwischen 2969 und 4530 MTCO<sub>2</sub>-Äquivalente bewegen. Davon sind zwischen 1840 und 2969 MTCO<sub>2</sub> HFKW-Emissionen der Entwicklungsländer und nur zwischen 783 und 1265 MTCO<sub>2</sub> HFKW-Emissionen der Industrieländer. 346 MTCO<sub>2</sub> Emissionen "alter" F-Gase stammen je zur Hälfte aus Industrie- und Entwicklungsländern. Die globale Wachstumsrate der in GWP 100yr ausgedrückten Emissionen beträgt im Szenario "low" 1,8% und im Szenario "high" 2,70% jährlich (im Mittel von 2002 bis 2050).

### Das Treibhauspotenzial der F-Gas-Emissionen 2050 II (GWP 20 Jahre)

Von Anfang an bis heute (erster, zweiter, dritter Assessment Report von 1990, 1995 und 2001) hat der IPCC pro Treibhausgas GWPs für kurzfristige, mittelfristige und langfristige Sicht berechnet. Die Zeithorizonte wurden relativ willkürlich mit 20, 100 und 500 Jahren festgelegt. Wissenschaftlich gesehen sind alle Zeithorizonte gleichberechtigt. Denn es gibt keinen einzelnen Integrationszeitraum, der für alle Zwecke ideal wäre. Das Kioto-Protokoll hat sich aus politischen Gründen für den mittelfristigen Zeithorizont von 100 Jahren als allgemeinen Standard entschieden, wodurch dieser eine gewisse bevorzugte Stellung erlangt hat. Es hängt jedoch grundsätzlich von der klimapolitischen Fragestellung ab, welcher Zeithorizont zweckadäquat ist. **Siehe dazu die Ausführungen im Anhang 2 dieser Studie.**

Ob das GWP eines Gases im Integrationszeitraum 20 Jahre größer oder kleiner ist als im Integrationszeitraum 100 Jahre (500 Jahre spielen politisch keine Rolle), hängt

von seiner Lebensdauer ab. Ist diese kürzer als 100 Jahre, ist sein GWP 100yr niedriger als sein GWP 20yr. Ist die Lebenszeit länger als 100 Jahre, ist sein GWP 100yr dagegen höher als sein GWP 20yr. (Auch dazu Näheres im Anhang 2). Da HFKW im allgemeinen eine Lebensdauer unter 100 Jahren haben (siehe Anhang 1), tragen sie auf kürzere Sicht mehr zur Klimaerwärmung bei als mittelfristig. Der GWP 20yr bringt diesen kurzfristig höheren Klima-Schadenseffekt zum Ausdruck.

Durch Multiplikation der sektoralen F-Gas-Emissionen mit ihren spezifischen GWPs mit Zeithorizont 20 Jahre (Tabelle 2), ergeben sich die Treibhauspotenziale der F-Gas-Emissionen und ihre durch die verschiedenen Wachstumsraten gegebenen Spielräume bis 2050, und zwar für Industrieländer, Entwicklungsländer und für die gesamte Welt (Siehe Tabelle 7).

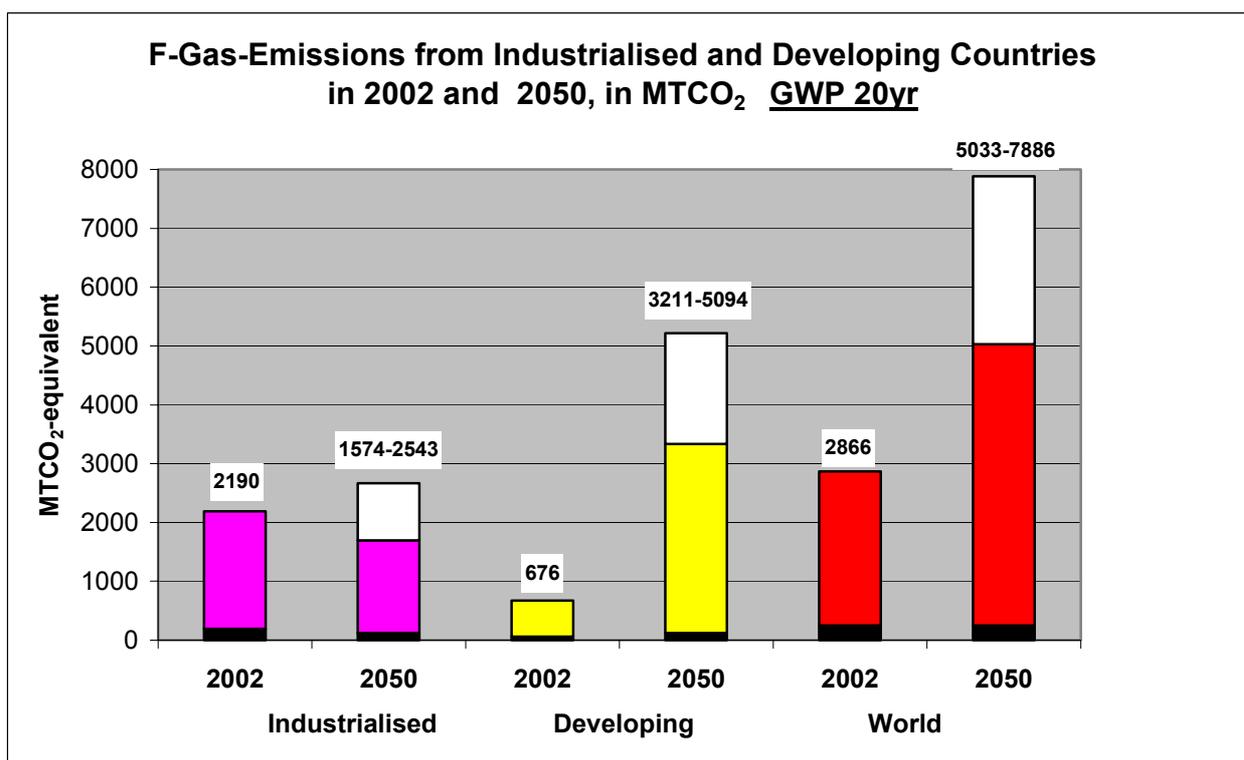
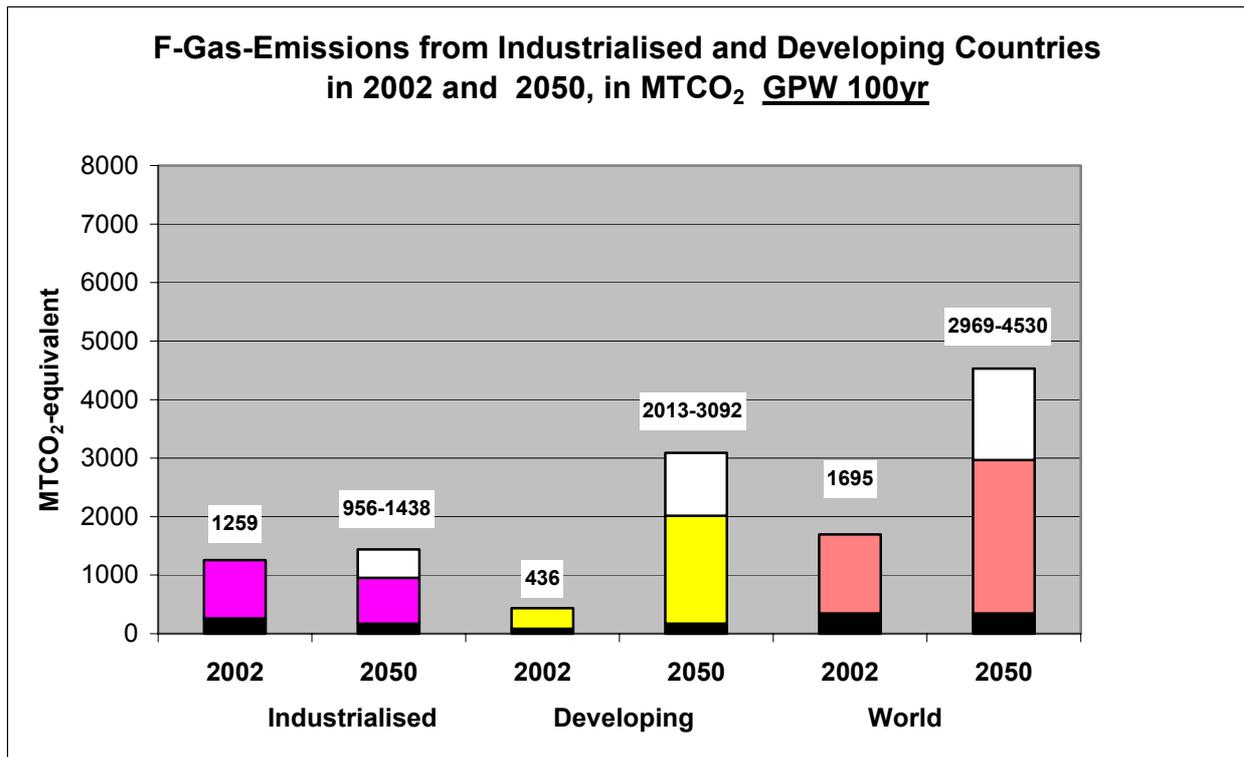
	Growth Rate	2002*	2050
1. Old F-Gases Ind. C.	-0,9 % / yr	188	124
2. Old F-Gases Dev. C.	+1,6 % / yr	60	124
3. HFC Ind. Countries	+0,5 % / yr	2002	2543
4. HFC Ind. Countries	-0,5 % / yr	2002	1574
5. HFC Dev. Countries	+4,5 % / yr	616	5094
6. HFC Dev. Countries	+3,5 % / yr	616	3211
7. F-Gases World low	+1,80 % / yr	2866	5033
8. F-Gases World high	+2,70 % / yr	2866	7886

\* 2002 ist der Ausgangspunkt: die Summe aller in 2002 effektiv emittierten F-Gase ohne Chlor plus der chlorhaltigen F-Gase, die in ihre chlorfreien Ersatz-HFKW umgerechnet wurden.

Die gleichen Gesamt-Emissionen, ausgedrückt durch ihre GWPs 20yr, sind deutlich, d.h. um etwa 75%, höher als gemessen in GWP 100 yr. Statt maximal 4530 MTCO<sub>2</sub> im Szenario "high" sind es 7886 MTCO<sub>2</sub>. Lediglich die Emissionen der alten F-Gase tragen wegen ihrer langen Lebensdauern auf kurze Sicht, durch GWP 20yr, weniger zum Treibhauseffekt bei (248 statt 346 MTCO<sub>2</sub>) als auf mittlere Sicht (GWP 100yr).

Bei den HFKW haben sich durch die veränderte Ausdrucksweise die maximalen Emissionen der Industrieländer (je +0,5%/yr) verdoppelt (2543 zu 1265 MTCO<sub>2</sub>), während sie sich bei den Entwicklungsländern (jeweils +4,5%/yr) nicht ganz so stark erhöht haben, nämlich um 75% (5094 zu 2918). Dieser Unterschied resultiert aus dem relativ stärkeren Gewicht solcher HFKW-Typen in den Entwicklungsländer-Emissionen, bei denen die Differenz zwischen GWP 20yr und GWP 100yr nicht so groß ist. Dies ist vor allem in der Gewerbekälte der Fall, welche den weitaus größte Einzelposten der Emissionen der Entwicklungsländer bildet<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Letztlich ergibt sich dieser Umstand aus der bereits in 2002 sehr Kältemittel-intensiven Gewerbekälte Chinas, die für fast ein Drittel der weltweiten Emissionen dieses Sektors verantwortlich ist.



**Diagramm 7: Im grafischen Vergleich der F-Gas-Emissionen nach GWP 100yr (oben) und GWP 20yr (unten) zeigt sich ein einheitlicher Trend: Anstieg zwischen 2002 und 2050 im Minimum auf das 1,75-fache, im Maximum auf das 2,75-fache. Haupttriebkraft sind die Entwicklungsländer. Absolut ist der Treibhausbeitrag in GWP 20yr über 75% höher als gemessen durch GWP 100yr.**

Im nächsten Kapitel wird zum Vergleich bzw. zur quantitativen Einordnung der F-Gas-Emissionen gezeigt, wie sich bis 2050 die weltweiten Emissionen der anderen drei Treibhausgase nach Expertenmeinung entwickeln könnten.

## 9. Die direkten Emissionen der anderen Treibhausgase bis 2050

Um die in den vorausgegangenen Kapiteln abgeschätzten F-Gas-Emissionen in ihrer Bedeutung beurteilen zu können, ist eine Voraussage der Entwicklung der Emissionen der drei Haupt-Treibhausgase CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> bis 2050 erforderlich. Diese Emissionsdaten entnehmen wir den jüngsten IPCC-Szenarien, nicht jedoch die dort ebenfalls präsentierten F-Gas-Emissionen. Die IPCC-Emissions-Szenarien sind nach eigener Aussage des IPCC gerade in Bezug auf "halocarbon emissions" weit weniger zuverlässig als hinsichtlich der Triebkräfte der Kohlendioxid-Emissionen (insbesondere der energiebedingten), aber auch der Triebkräfte der Emissionen von Methan und Distickstoffoxid.

### Die illustrativen Marker-Szenarien des IPCC für THG-Emissionen

Im Rahmen des IPCC (Working Group III) werden zahlreiche Emissionsszenarien erarbeitet, die alle direkten THG sowie die Ozonvorläufer umfassen. Als Bestandteil des Third Assessment Report (TAR 2001) wurden von sechs Teams vierzig verschiedene Emissionsszenarien für die Zeit bis 2100 präsentiert (meist in 10-Jahres-Abschnitten), die vor allem aufgrund ihrer unterschiedlichen sozio-ökonomischen Annahmen (Bevölkerungs- und Einkommensentwicklung, Wirtschaftswachstum, technischer Wandel usw.) in den Emissionsbildern variieren.

*Die vierzig Szenarien sind in vier "Familien" zusammengefasst, die in Bezug auf die nächsten hundert Jahre jeweils vergleichbare Grundzüge aufweise, genannt A1, A2, B1 und B2. Szenarien der A1-Familie gehen von starkem Wirtschafts- und Einkommenswachstum, schneller Einführung neuer Techniken, verstärkter Angleichung der Weltregionen untereinander und dem Ende des Bevölkerungswachstums in der Mitte des 21. Jahrhunderts aus. A2-Szenarien nehmen dagegen verstärkte Regionalisierung von Wirtschaft und Technik an mit der Folge länger anhaltenden Bevölkerungswachstums und niedrigerer Einkommen. B1-Szenarien unterstellen eine globale Tendenz zu einer auf Dienstleistung und Information basierenden Ökonomie. Schließlich beschreiben B2-Szenarien eine Welt der lokalen Lösungen in Richtung auf ökonomische, soziale und ökologische Nachhaltigkeit. Die vier "Familien" werden jeweils in ihren Hauptmerkmalen durch ein "illustratives Marker-Szenario" (A1, A2, B1, B2) pointiert zum Ausdruck gebracht<sup>6</sup>.*

Die Emissions-Szenarien wurden 2000 in einem Special Report on Emissions Szenarios (SRES) veröffentlicht.

Jede Prognose von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wird sich an den illustrativen Marker-Szenarien des IPCC orientieren müssen. Da es in diesem Rahmen unmöglich ist, alle vier Szenario-Familien gleichzeitig zu berücksichtigen, es aber im Interesse der Ausgewogenheit nicht angeht, sich nur auf ein einziges Szenario zu stützen, verfahren wir so: Wir bilden aus zwei Marker-Emissions-Szenarien, die zwei verschiedene "Familien" repräsentieren, nämlich A1B und B1, die Mittelwerte der für Entwicklungs- und Industrieländer vorausgesagten Emissionen der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O, und zwar für die Zeithorizonte 100 und 20 Jahre.

<sup>6</sup> Die A1-Familie wird durch drei Marker-Szenarien illustriert, die sich voneinander in der Energietechnik unterscheiden. A1FI ist "fossil-fuel intensive", A1T ist dagegen "non-fossil fuel" orientiert, und A1B ist "balanced", d.h. in der Mitte zwischen fossil und non-fossil angesiedelt.

## Die Treibhausgas-Emissionen von CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> nach GWP 100 und 20

In Tabelle 8 sind die Prognosen auf Basis des GWP 100yr dargestellt, getrennt nach Industrieländern (A-I) und Entwicklungsländern (Non-A-I).

<b>Table 8: Projected direct emissions of the three classical GHG from A-I and Non-A-I countries over the 2000 to 2050 period, in GTCO<sub>2</sub> (GWP 100yr)</b>						
	2000*	2010	2020	2030	2040	2050
<b>A-I</b>						
CO <sub>2</sub>	15,06	16,32	16,05	14,69	13,57	12,58
CH <sub>4</sub>	2,59	2,78	2,80	2,73	2,43	2,11
N <sub>2</sub> O	1,47	1,46	1,48	1,45	1,41	1,37
<b>Subtotal</b>	19,12	20,56	20,34	18,87	17,41	16,06
<b>Non-A I</b>						
CO <sub>2</sub>	14,16	20,63	26,60	32,22	36,05	38,15
CH <sub>4</sub>	4,84	5,53	6,37	7,06	7,22	7,22
N <sub>2</sub> O	1,79	1,92	2,07	2,17	2,24	2,29
<b>Subtotal</b>	20,80	28,09	35,05	41,45	45,51	47,66
<b>Total</b>	<b>39,92</b>	<b>48,64</b>	<b>55,38</b>	<b>60,32</b>	<b>62,92</b>	<b>63,72</b>

\* Historical data. Source: IPCC-SRES 2000.

Die Gesamtemissionen der drei THG steigen bis 2050 auf das 1,6-fache: von 39,92 auf 63,72 GTCO<sub>2</sub>. Dabei gehen in den Industrieländern die Emissionen aller drei GHG (auf 84%) zurück: CO<sub>2</sub> ab 2010, N<sub>2</sub>O ab 2020 und CH<sub>4</sub> ab 2030. Der Rückgang wird in den Entwicklungsländern aber weit überkompensiert. CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen auf das 2,5-fache (38,15 GTCO<sub>2</sub>), Methan-Emissionen auf das 1,5-fache (7,22 GTCO<sub>2</sub>), und auch die N<sub>2</sub>O-Emissionen nehmen auf das 1,3-fache zu.

Tabelle 9 (GWP 20 yr) gibt die identische Emissionsmasse, die durch die Daten der Tabelle 8 ausgedrückt wird, vor allem in Bezug auf Methan verändert wieder. Dessen Emissionen sind nun fast drei Mal so hoch, dem Unterschied zwischen dem GWP 20yr (62) und dem GWP 100yr (23) entsprechend. Die Emissionen von N<sub>2</sub>O sind nur geringfügig verändert - gemäß der Relation 296/275 (GWP 100yr/GWP 20yr).

<b>Table 9: Projected direct emissions of the three classical GHG from A-I and Non-A-I countries over the 2000 to 2050 period, in GTCO<sub>2</sub> (GWP 20yr)</b>						
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>A-I</b>						
CO <sub>2</sub>	15,06	16,32	16,05	14,69	13,57	12,58
CH <sub>4</sub>	6,97	7,48	7,55	7,35	6,55	5,68
N <sub>2</sub> O	1,36	1,36	1,38	1,35	1,31	1,28
<b>Subtotal</b>	23,39	25,16	24,98	23,39	21,43	19,54
<b>Non-A I</b>						
CO <sub>2</sub>	14,16	20,63	26,60	32,22	36,05	38,15
CH <sub>4</sub>	13,05	14,90	17,18	19,04	19,47	19,47
N <sub>2</sub> O	1,67	1,79	1,93	2,01	2,08	2,13
<b>Subtotal</b>	28,89	37,32	45,71	53,27	57,60	59,74
<b>Total</b>	<b>52,28</b>	<b>62,48</b>	<b>70,69</b>	<b>76,66</b>	<b>79,02</b>	<b>79,28</b>

\* Historical data. Source: IPCC-SRES 2000.

Nach dem GWP 20yr bemessen, liegen in 2050 die Gesamtemissionen bei 79,29 GTCO<sub>2</sub> statt bei 63,72 GTCO<sub>2</sub>. Genauso wie nach dem GWP 100yr steigen sie gegenüber 2000 auf das 1,5-fache an, allerdings auf einem durchweg um fast 25% höheren Niveau als nach dem GWP 100yr. Dies liegt ausschließlich am Methan, das auf kurzfristige Sicht sehr stark klimawirksam ist. Die Methan-Emissionen aus den Entwicklungsländern (19,47 GTCO<sub>2</sub>) tragen 2050 mehr zum Treibhauseffekt bei als die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrieländer, ja sie sind fast so hoch wie die Gesamtemissionen aller drei THG der Industrieländer (19,54 GTCO<sub>2</sub>).

Fazit: Wird der Maßstab des Treibhauspotenzials vom GWP 100yr auf den GWP 20yr geändert, steigen nicht nur die F-Gas-Emissionen in ihrer (kurzfristigen) Klimawirksamkeit deutlich an (um ca. 75%), sondern auch die anderen drei Treibhausgase bleiben nicht unberührt. Zwar bleiben CO<sub>2</sub>-Emissionen definitionsgemäß gleich und N<sub>2</sub>O-Emissionen sinken sogar geringfügig. Aber die Methan-Emissionen steigen im Ausdruck ihres Treibhausbeitrags um fast das Dreifache, so dass sich die Gesamtemissionen von CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub> immerhin um 25% erhöhen.

Im nächsten Kapitel (10.) wird ermittelt, welchen relativen Anteil die F-Gase im Jahr 2050 an der Gesamtheit aller direkten Treibhausgas-Emissionen haben könnten.

## 10. Anteil der F-Gase an den Treibhausgas-Emissionen von 2050

Um den prozentualen Anteil der F-Gas-Emissionen für 2002 und 2050 nicht nur weltweit, sondern auch getrennt für Industrie- und Entwicklungsländer zu bestimmen, und zwar jeweils gemäß GWP 100yr und GWP 20yr, sind jetzt alle Daten vorhanden.

### Der Anteil der F-Gas-Emissionen zwischen 4,5 und 9 Prozent

In Tabelle 10 sind aus den Tabellen 8 und 9 die Angaben für die drei Nicht-F-Gase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O eingetragen und aus den Tabellen 6 und 7 die entsprechenden Werte der drei F-Gase – jeweils für 2000/2002 und 2050 sowie weltweit und getrennt nach A-I Countries (Industrieländer) und Non-A-I Countries (Entwicklungsländer). Anders als für 2002 werden die F-Gas-Emissionen von 2050 als Spanne zwischen Minimum- und Maximum-Wert eingegeben. Die Summen aus F-Gas- und Nicht-F-Gas-Emissionen werden in den Zeilen "Subtotal" und "Total" gebildet, für 2050 wieder jeweils mit Spielräumen, die durch die Spannen der F-Gas-Emissionen entstehen.

Die gesuchten Prozentsätze ergeben sich durch Bezug der F-Gase auf die Zwischensummen bzw. Endsummen. So kommen insgesamt zwölf Prozentsätze zustande, genauer gesagt: sechs Prozentsätze für 2002 und sechs Spannen für Prozentsätze in 2050.

<b>Table 10: Percentage of F-Gas-emissions in overall GHG emissions, in 2002 and 2050</b>				
	<b>GWP 100yr</b>		<b>GWP 20yr</b>	
	<b>2000/2002*</b>	<b>2050</b>	<b>2000/2002*</b>	<b>2050</b>
<b>A-I-Countries</b>				
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	19,115	16,063	23,395	19,540
F-Gases	1,259	0,956-1,438	2,190	1,698-2,667
Subtotal	20,374	17,019-17,501	25,585	21,238-22,207
F-Gas-Percentage	6,2%	5,6% - 8,2%	8,6%	8,0% - 12,0%
<b>Non-A-I Countries</b>				
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	20,802	47,655	28,886	59,738
F-Gases	0,435	2,013-3,092	0,676	3,335-5,218
Subtotal	21,237	49,668-50,747	29,562	63,073-64,956
F-Gas-Percentage	2,0%	4,1% - 6,1%	2,3%	5,3% - 8,0%
<b>World</b>				
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	39,917	63,719	52,280	79,278
F-Gases	1,695	2,969-4,530	2,866	5,033-7,886
Total	41,612	66,688-68,249	55,146	84,311-87,164
<b>F-Gas-Percentage</b>	<b>4,1%</b>	<b>4,5% - 6,6%</b>	<b>5,2%</b>	<b>6,0% - 9,0%</b>

\* 2000 ist das Basisjahr für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, das Jahr 2002 das Basisjahr für F-Gase.

**Die globalen Prozentsätze für 2050 reichen bei GWP 100yr von 4,5% bis 6,6%, und bei GWP 20yr von 6,0% bis 9,0%.**

1. Die F-Gas-Prozentsätze sind – erwartungsgemäß – höher auf der rechten Seite der Tabelle, wo die Emissionen mit dem GWP 20yr dargestellt sind. Die gleichzeitige starke Höherbewertung der Methan-Emissionen schmälert zwar den Anstieg der F-Gas-Prozentsätze gegenüber dem Zeithorizont 100 Jahre, verhindert ihn aber nicht.
2. Die F-Gas-Prozentsätze in den Industrieländern (A-I) sind im Mittel jeweils 50% höher als in den Entwicklungsländern. Obwohl diese dank des starken Wachstums von jährlich 3,5 bzw. 4,5% bis 2050 absolut die Industrieländer bei weitem übertreffen, reicht es nicht, sie auch relativ einzuholen. Dies liegt vor allem daran, dass in den Industrieländern die Emissionen der Nicht-F-Gase bis 2050 als rückläufig angenommen werden, während sie in den Entwicklungsländern ungebrochen weiter wachsen. Dadurch ändert sich der Wert im Nenner.
3. Überraschend gering ist generell der Anstieg der Prozentsätze zwischen dem Basisjahr 2000/2002 (nur rechnerische Chlorfreiheit der F-Gas-Emissionen) und dem Jahr 2050 (reale Chlorfreiheit). Betrachtet man etwa die Welt-Werte im unteren Teil der Tabelle, so führt der fast 50 Jahre lange Anstieg der F-Gas-Emissionen um jährlich 2% (-0,5%/+0,5% in Industrie- und 3,5%/4,5% in Entwicklungsländern) lediglich zu einer Zunahme des Prozentsatzes von 4,1 auf 4,5 - 6,6% (GWP 100yr) bzw. von 5,2 auf 6,0 – 9,0% (GWP 20 yr). Dies ist offenbar die Kehrseite des Umstands, dass die Emissionen der Nicht-F-Gase global ebenfalls sehr kräftig steigen, getragen vom Wachstum in den Entwicklungsländern, das den leichten Rückgang in den Industrieländern weit überkompensiert.

### **Die wachsende Rolle der F-Gas-Emissionen ist kein Naturgesetz**

Die Rolle der F-Gase ist mit 4,1% bzw. 5,2% schon jetzt recht hoch, wenn der Blick nicht nur auf chlorfreie Substanzen, sondern auch auf chlorhaltige gerichtet wird.

Mit 4,5 bis 6,6% nach GWP 100yr und mit sogar 6,0% bis 9% nach GWP 20yr werden die F-Gas-Emissionen nach ihrer realen Umwandlung in nur noch chlorfreie Substanzen im Jahr 2050 eine noch größere Rolle innerhalb der globalen Treibhausgas-Emissionen spielen. Sowohl nach GWP 100yr als auch nach GWP 20yr werden sie das bisher drittstärkste direkte Treibhausgas N<sub>2</sub>O (Distickstoffoxid) an Bedeutung übertreffen.

Daraus ergibt sich politisch, schon jetzt noch stärker weltweit auf die Eindämmung von F-Gas-Emissionen zu achten, um vor allem die hohen Wachstumsraten von 3,5-4,5% in den Entwicklungsländern zu reduzieren, die selbst eine erfolgreiche Umsetzung des Kioto-Protokolls in den Industrieländern weitgehend unwirksam machen. Nichtsdestoweniger würde ein Erfolg des Kioto-Protokolls Rückwirkungen auf die Entwicklungsländer haben, derart, dass diese erst gar nicht den klimaschädlichen Umweg der Industrieländer mit den gegenwärtig sehr hohen Anteilen von F-Gas-Emissionen von 6,2 bzw. 8,6% (2002) gehen müssten.

Alle Initiativen zum Ersatz von F-Gasen durch klimaschonende Alternativen, insbesondere im Bereich der Kälte- und Klimatechnik durch natürliche Kältemittel, sind von daher zu begrüßen, und sei es aufgrund ihrer Signalwirkung. Dabei ist jedoch immer darauf zu achten, dass Reduktionen von F-Gas-Emissionen nicht durch energiebedingte Mehremissionen von CO<sub>2</sub> kompensiert werden.

## 11. Ein Szenario für 6,2 bzw. 8,6% Anteil der F-Gas-Emissionen

Für nachfolgendes Szenario werden zwei Grundannahmen gemacht.

**Erstens:** Der Anteil der F-Gas-Emissionen an allen THG-Emissionen in den Industrieländern bleibt bis 2050 konstant (bei 6,2 bzw. 8,6%).

**Zweitens:** Die Entwicklungsländer werden bis 2050 den selben Anteil von F-Gas-Emissionen an den Gesamt-THG-Emissionen wie die Industrieländer haben.

Das Szenario mit dem naheliegenden Namen "F-Gas-Anteil der Industrieländer weltweit verallgemeinert" drückt aus, dass die Entwicklungsländer bis zur Jahrhundertmitte das Wachstumsmodell der Industrieländer übernommen haben werden. Das heißt, dass der F-Gas-Emissionsanteil an den gesamten THG-Emissionen in den Entwicklungsländern nach GWP 100yr von 2,0 (2002) auf 6,2% (2050) bzw. nach GWP 20yr (2002) von 2,3% auf 8,6% (2050) steigen wird. Gleichzeitig wird in dem Szenario angenommen, dass die absoluten THG-Emissionen nur bei den Entwicklungsländern ansteigen, dass sie dagegen bei den Industrieländern bis 2050 auf 84% des Stands von 2000 zurückgehen werden.

Es gelten für die Ausgangslage in 2000/2002 und für die Prognosen der Nicht-F-Gas-Emissionen bis 2050 die in den vorigen Kapiteln verwendeten Rahmendaten.

In Tabelle 11 sind die Werte für 2000/2002 die gleichen wie in Tabelle 10. Außerdem wurden die Werte von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O auch für 2050 beibehalten. Lediglich die F-Gas-Emissionen sind andere – und damit auch die Subtotals der Industrie- und Entwicklungsländer und die Totals für die ganze Welt.

<b>Table 11: Percentage of F-Gas-emissions in overall GHG emissions under the scenario "Same Share in Industrialised and Developing Countries", in 2002 and 2050</b>				
	<b>GWP 100yr</b>		<b>GWP 20yr</b>	
	<b>2000/2002*</b>	<b>2050</b>	<b>2000/2002*</b>	<b>2050</b>
<b>A-I-Countries</b>				
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	19,115	16,063	23,395	19,540
F-Gases	1,259	1,058	2,190	1,829
Subtotal	20,374	17,121	25,585	21,369
F-Gas-Percentage	6,2%	<b>6,2%</b>	8,6%	<b>8,6%</b>
<b>Non-A-I Countries</b>				
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	20,802	47,655	28,886	59,738
F-Gases	0,435	3,139	0,676	5,593
Subtotal	21,237	50,794	29,562	65,331
F-Gas-Percentage	2,0%	<b>6,2%</b>	2,3%	<b>8,6%</b>
<b>World</b>				
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	39,917	63,719	52,280	79,278
F-Gases	1,695	4,196	2,866	7,422
Total	41,612	67,915	55,146	86,700
<b>F-Gas-Percentage</b>	<b>4,1%</b>	<b>6,2%</b>	<b>5,2%</b>	<b>8,6%</b>

\* 2000 ist das Basisjahr für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, das Jahr 2002 das Basisjahr für F-Gase.

Aus Tabelle 11 ist ablesbar, welche absoluten Werte die F-Gas-Emissionen in den Jahren 2050 in den Industrieländern, den Entwicklungsländern und weltweit annehmen müssten, um die Bedingung des Szenarios zu erfüllen. Diese lautet: Die Prozentsätze der F-Gas-Emissionen an den gesamten THG-Emissionen in den Industrieländern des Jahres 2002 sollen in 2050 sowohl in den Industrieländern selbst als auch in den Entwicklungsländern unverändert gelten – auf Basis des Emissionsszenarios für die drei Nicht-F-Gase nach IPCC-SRES 2001.

Um generell einen Prozentsatz der F-Gas-Emissionen von 6,2% nach GWP 100yr und von 8,6% nach GWP 20yr zu haben, ist folgende Entwicklung der absoluten Emissionen (unter den gegebenen Randbedingungen) die Voraussetzung:

Bei GWP 100yr:

Senkung der F-Gas-Emissionen in den Industrieländern von 1,259 auf 1,058 GtCO<sub>2</sub>. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von –0,036%.

Anstieg der F-Gas-Emissionen in den Entwicklungsländern von 0,435 auf 3,139 GtCO<sub>2</sub>. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von +4,2%.

Anstieg der globalen F-Gas-Emissionen von 1,695 auf 4,196 GtCO<sub>2</sub>. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von +1,91%.

Bei GWP 20yr:

Senkung der F-Gas-Emissionen in den Industrieländern von 2,190 auf 1,829 GtCO<sub>2</sub>. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von –0,037%.

Anstieg der F-Gas-Emissionen in den Entwicklungsländern von 0,676 auf 5,593 GtCO<sub>2</sub>. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von +4,5%.

Anstieg der globalen F-Gas-Emissionen von 2,866695 auf 7,422 GtCO<sub>2</sub>. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von +2,0%.

Damit bleibt dieses Szenario mit seinen absoluten Emissionswerte und seinen zu Grunde liegenden Wachstumsraten innerhalb des Rahmens der in Kapitel 7 präsentierten Minima-Maxima. Die Wachstumsrate der Emissionen in den Entwicklungsländern mit maximal 4,5% wird allerdings voll ausgeschöpft.

Dennoch lässt sich sagen, dass das Szenario "Bis 2050 weltweite Verallgemeinerung des F-Gas-Emissionsanteils der Industrieländer von 2002" mit den Prozentsätzen 6,2 (GWP 100yr) und 8,6 (GWP 20yr) im Rahmen der Voraussetzungen dieser Studie bleibt und die gleiche Plausibilität beanspruchen kann wie andere, für welche in Tabelle 10 die Spielräume angegeben wurden.

## Anhang 1

### List of Direct Global Warming Potentials relative to carbon dioxide

<b>Table 3: Direct Global Warming Potentials (mass basis) relative to carbon dioxide</b>				
Gas		Lifetime (years)	Global Warming Potential (Time Horizon in years)	
			20 yrs	100 yrs
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>		1	1
Methane	CH <sub>4</sub>	12.0	62	23
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	114	275	296
<b>Hydrofluorocarbons</b>				
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	260	9400	12000
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5.0	1800	550
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	29	5900	3400
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	13.8	3300	1300
HFC-143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	52	5500	4300
HFC-152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	1.4	410	120
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	33	5600	3500
HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	220	7500	9400
HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7.2	3000	950
HFC-365mfc	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	9.9	2600	890
HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CHFCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	15	3700	1500
<b>Fully fluorinated species</b>				
SF <sub>6</sub>		3200	15100	22200
CF <sub>4</sub>		50000	3900	5700
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>		10000	8000	11900
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>		2600	5900	8600
<b>HFC-Blends</b>				
404A/507	[125/143a]	[50/50]	5700	3850
407C	[32/125/134a]	[23/25/52]	3605	1652,5
410A	[32/125]	[50/50]	3850	1975
<b>Chlorofluorocarbons</b>				
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	45	6300	4600
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	10200	10600
CFC-113	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	85	6100	6000
CFC-115	CF <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	1700	4900	7200
<b>Hydrochlorofluorocarbons</b>				
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	11.9	4800	1700
HCFC-123	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	1.4	390	120
HCFC-124	CF <sub>3</sub> CHClF	6.1	2000	620
HCFC-141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	9.3	2100	700
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	19	5200	2400
HCFC-225ca	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CHCl <sub>2</sub>	2.1	590	180
HCFC-225cb	CClF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CHClF	6.2	2000	620
<b>Bromocarbons</b>				
Halon-1211	CBrClF <sub>2</sub>	11	3600	1300
Halon-1301	CBrF <sub>3</sub>	65	7900	6900

## Anhang 2

### Zur Berechtigung des GWP-Zeithorizonts 20 Jahre

Für die Bewertung aller Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase wurde aus politischen Gründen im Sinne der Vergleichbarkeit im Kioto-Protokoll einheitlich der Zeithorizont 100 Jahre festgesetzt. Das heißt, dass die Wahl des Zeithorizonts eine politische Entscheidung ist, nicht aber, dass es keine Berechtigung für die Wahl eines anderen gibt.

#### IPCC-Definition des GWP seit 1990

Das GWP ist der zeitintegrierte Beitrag zur klimarelevanten Strahlung, der von der Emission von 1 kg eines Spurengases ausgeht, ausgedrückt zum Strahlungsbeitrag der Emission von 1 kg CO<sub>2</sub>. Die GWP-Höhe eines Gases hängt daher absolut ab von seiner eigenen Absorptionsstärke (RF =Radioative Forcing) sowie seiner Lebensdauer (während der es Strahlung absorbiert). Und relativ hängt das GWP ab von Absorptionsstärke und Lebensdauer von CO<sub>2</sub>, zu dem das betreffende Gas in Bezug gesetzt wird. (Alle vier Größen werden immer wieder neu überprüft und ggfls. angepasst).

Schließlich hängt die Höhe des GWP von dem gewählten Zeithorizont ab. Die verschiedenen Höhen kommen zustande, weil die Lebensdauern der THG nicht gleich, sondern kürzer oder länger als diejenige von CO<sub>2</sub> (ca. 150 Jahre) sind.

*Ein Gas, das exakt 20 Jahre "lebt", hat für den Zeithorizont 20 Jahre ein GWP, das genau dem in 20 Jahren akkumulierten RF dieses Gases im Verhältnis zu dem im gleichen Zeitraum akkumulierten RF von CO<sub>2</sub> entspricht, bei jeweils 1 kg Emission als Ausgangsgröße. Legt man aber den Zeithorizont 100 Jahre an, sinkt das GWP rechnerisch ab. Denn das betreffende Gas absorbiert die restlichen 80 Jahre nicht mehr, während das CO<sub>2</sub> mit seiner Absorption fortfährt. Im Zähler steht darum beim 100-Jahres-GWP nur die akkumulierte Absorptionsleistung von 20 Jahren, während im Nenner die Absorptionsleistung von 100 Jahren steht.*

#### Drei Zeithorizonte für die THG-Emissionsbetrachtung.

Von Anfang an bis heute (erster, zweiter, dritter Assessment Report von 1990, 1995 und 2001) hat der IPCC pro THG GWPs für kurzfristige, mittelfristige und langfristige Sicht berechnet. Denn es gibt, so der IPCC, keinen einzelnen Integrationszeitraum, der für alle Zwecke ideal ("ideal over the range of uses of this concept") wäre. Die Zeithorizonte wurden relativ willkürlich mit 20, 100 und 500 Jahren festgelegt.

Die objektive Basis für drei verschiedene Zeithorizonte liegt darin, dass es im Klimasystem selber kurzfristige, mittelfristige und langfristige Rückwirkungen (climate responses) auf die Änderung des RF gibt. Das Klimasystem als ganzes (Luft, Boden, Ozeane usw.) reagiert eben nicht in einheitlichem Tempo, sondern je nach Sektor unterschiedlich auf die veränderte Strahlung (infolge veränderter THG-Konzentration) und die davon ausgelöste Temperatursteigerung: erst der Boden, dann die Luft (Zirkulation, Winde), schließlich der Ozean (Schönwiese, pers. Mitt. 21.07.2000).

Da der Ozean träge und in sehr langen Zeiträumen reagiert (z.B. mit einem Anstieg des Meeresspiegels), während der Boden sich viel kurzfristiger verändert, hatte der IPCC 1990 die Notwendigkeit verschiedener Zeithorizonte so begründet:

"For the evaluation of sea-level rise, the commitment to greenhouse warming over a 100 year or longer time horizon may be appropriate. For the evaluation of short-term effects, a time horizon of a few decades could be taken; for example, model studies show that continental areas are able to respond rapidly to radiative forcing so that the relative effects of emissions on such timescales are relevant to predictions of near-term climate change." (IPCC 1990, p. 58).

### **GWP 20 für kurzfristige Klimaeffekte und schnelle Politik.**

Der Zeithorizont 20 bietet sich dann an, wenn die THG-Emissionen daraufhin betrachtet werden sollen, ob und welche Klimaänderungen in Zeiträumen von 10 bis 40 Jahren entstehen bzw. auch wieder vergehen können. Die Fragestellungen können lauten: 1. Welche Klimaverschärfung löst eine gegebene Emission in etwa 20 Jahren aus? 2. Welche Klimaentspannung erreiche ich in etwa 20 Jahren, wenn ich ab sofort eine bestimmte THG-Emission reduziere oder unterlasse? Eine schnelle Wirkung ist am ehesten bei denjenigen THG möglich, deren GWP 20 sehr hoch ist, was für alle Halocarbons einschl. der HFKW gilt. Die Wahl des Zeithorizonts ist damit sowohl eine politische Frage (Eingriff in die Klimapolitik) als auch eine wissenschaftliche Frage, nämlich: Gibt es überhaupt Klimaänderungen von Bedeutung, die kurzfristiger Art sind?

### **Zeithorizont ist eine politische Entscheidung.**

Der IPCC hat immer wieder (z.B. 1994) betont, dass seine Sache zwar die GWP-Kalkulation für verschiedene Zeithorizonte ist, die Wahl des Zeithorizonts selber aber eine Entscheidung des Anwenders. "The indices reflect the cumulative radiative forcing over some chosen time period of interest. The choice of time horizon is a user choice that depends upon issues such as the time-scales of the climate system and the emphasis on long-term versus short-term potential climate changes." (IPCC 1994b). Oder unmissverständlich: "The choice of time horizon will depend on policy considerations" (IPCC 1994a, p. 26).

Für die Wahl eines Zeithorizontes von 20 oder von 100/500 Jahren wird angegeben:

"(i) If the policy emphasis is to help guard against the possible occurrence of potentially abrupt, nonlinear climate responses in the relatively near future, than a choice of a 20-year time horizon would yield an index that is relevant to making such decisions regarding appropriate greenhouse gas abatement strategies. In addition, if the speed of potential climate change is of greatest interest (rather than the eventual magnitude), then a focus on shorter time horizons can be used.

(ii) Similarly, if the policy emphasis is to help guard against long-term, quasi-irreversible climate or climate-related changes (e.g., the very slow build up and recovery from sea level changes that are controlled by slow processes such as warming of the ocean), then a choice of a 100-year or 500-year time horizon would yield an index that is relevant to making such decisions regarding appropriate greenhouse gas abatement strategies." (IPCC 1994b, p. 5-20).

Im Anschluss daran warnt der IPCC allerdings vor dem 500 Jahre Zeithorizont, weil da die Unsicherheiten viel größer seien als bei kürzeren Zeithorizonten.

### **Sind Klimaänderungen innerhalb von wenigen Jahrzehnten möglich?**

Diese Frage muss entschieden bejaht werden, speziell für den Klimabereich Boden. Die Änderungen sind nicht nur möglich, sondern sie sind bereits heute eingetreten.

Was den Boden betrifft, so stellt der dritte IPCC-Report (Working Group I) fest,

- dass sich auf der Nordhalbkugel wegen erhöhter Landtemperatur die kontinentalen Gebirgsgletscher (Alpen) dramatisch zurückentwickeln,
- dass die Schneedecke des Bodens und die Eisbedeckung von Flüssen und Binnenseen seit 1987 um 10% zurückgingen und
- dass die arktische Meereisdecke seit 1960 bis zu 40% abgeschmolzen ist.
- Die jährlichen Niederschläge haben in den Tropen und den nördlichen Subtropen seit 1970 um 10% abgenommen (mit Dürren-Zunahme).
- Dagegen steht eine 10%-ige Zunahme der Niederschläge in den mittleren bis hohen Breiten, die in vielen Fällen für extreme und schwere Wetterereignisse verantwortlich ist.

### **Fazit**

Der Zeithorizont 20 ist nicht nur (wegen der bereits eingetretenen kurzfristigen Klimaänderungen) wissenschaftlich legitim, sondern aus politischen Gründen des schnellen und durchgreifenden Klimaschutzes sogar angebracht, folgt man den Ausführungen des IPCC. Denn es ist zu bedenken, dass die heutzutage relevanten Emissionsszenarien sich auf die Jahre 2020 bis 2050 beziehen, deren GWP-20-Emissionen sich bis 2040/2070 auswirken. Bis dann wird sich das im vorigen Absatz gezeichnete Bild der eingetretenen Klimaänderungen, die im wesentlichen erst ab 1990 spürbar wurden, noch deutlich verschlechtert haben.

## Quellenverzeichnis

- AFEAS (Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study), Production, Sales and Calculated Emissions of Fluorocarbons through 2001, AFEAS, Arlington, U.S.A., 2003, available at [www.afeas.org](http://www.afeas.org).
- Ashford, P. (Caleb Management Services, Bristol, UK) and M. Jeffs (European Isocyanate producers Association (ISOPA), Brussels, Belgium), Development of Emission Functions for Foams and their Use in Emissions Forecasting, The Earth Technology Forum, Washington DC, 2004.
- Campbell, N.; Technical, Pesticide, Convenience, and Novelty Aerosol Products; Proceedings of the "Joint IPCC/TEAP expert meeting on options for the limitation of emissions of HFCs and PFCs"; Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Petten, 1999.
- Harnisch, J., O. Stobbe, D. de Jager (Ecofys), Abatement of Emissions of Other Greenhouse Gases: "Engineered Chemicals", by order of the IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Utrecht, Feb. 2001.
- Harnisch, J. and N. Höhne, Comparison of Emissions Estimates Derived from Atmospheric Measurements with National Estimates of HFCs, PFCs and SF<sub>6</sub>, ESPR – Environ Sci & Pollut Res 9 (5) 315 – 320 (2002).
- Harnisch, J., N. Höhne, M. Koch, S. Wartmann (Ecofys), W. Schwarz (Öko-Recherche), W. Jenseit und U. Rheinberger (Öko-Institut), P. Fabian, A. Jordan, Risiken und Nutzen von fluorierten Treibhausgasen in Techniken und Produkten unter besonderer Berücksichtigung der stoffintrinsic Eigenschaften, Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Berlin Fachgebiet III 1.4, Abschlußbericht, 14. November 2003.
- IPCC First Assessment Report. Scientific Assessment of Climate change – Report of Working Group I. JT Houghton, GJ Jenkins and JJ Ephraums (Eds). Cambridge University Press (pp 365) 1990.
- Radiative Forcing of Climate Change 1994b. Report to IPCC from the Scientific Assessment Working Group (WG I), Ch. 5 (Pre-publication version).
- IPCC 1994a: Radiative Forcing of Climate Change. The 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC. Summary for Policymakers, pp 28.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2001): Climate Change 2001. Third Assessment Report. Cambridge University Press.
- IPCC-SRES (IPCC Special Report on Emissions Scenarios) Illustrative/Marker Scenarios (version 1.1, July 2000), Six different scenarios for The World and four regions: OECD90 (OECD member states as at 1990), REF (Central and Eastern Europe and Newly Independent States of the former Soviet Union), ASIA (Asia excluding the Middle East), ALM (Africa, Latin America and Middle East): A1, A2, B1, B2, A1FI, A1T. [http://sres.ciesin.org/final\\_data.html](http://sres.ciesin.org/final_data.html) und <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/data/allscen.htm>.
- Midgley, P. and A. McCulloch; Production, sales and emissions of halocarbons from industrial sources; in 'Reactive halogen compounds in the atmosphere' edited by P. Fabian and O. Singh, Handbook of Environmental Chemistry, pp. 155-190, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- Palandre, Lionel, Assaad Zoughaib, Denis Clodic, L. Kuijpers; Estimation of the world-wide fleets of refrigerating and air-conditioning equipment in order to determine forecasts of refrigerant emissions, The Earth Technology Forum, Washington DC, April 2003.
- Palandre, L., D. Clodic, L. Kuijpers, Ecole des Mines de Paris, Centre for Energy Studies, Paris, France and Technical University, TDO, Eindhoven (NL), HCFCs and HFCs emissions from the refrigerating systems for the period 2004 – 2015, The Earth Technology Forum, Washington DC, April 2004.

- UNEP (United Nations Environment Programme), Production and Consumption of Ozone Depleting Substances under the Montreal Protocol, 1986-2000, Ozone Secretariat, UNEP, Nairobi, 2002a.
- UNEP (United Nations Environment Programme); 2002 Report of the Aerosols, Miscellaneous Uses and Carbon Tetrachloride Technical Options Committee (ATOC); Nairobi 2002b.
- UNEP (United Nations Environment Programme); 2002 Report of the flexible and rigid foams technical options committee; Foams Technical Options Committee, Nairobi, March 2003a.
- UNEP (United Nations Environment Programme); 2002 Report of the Technology and Economic Assessment Panel; HCFC Task Force Report, Nairobi, May 2003b.
- UNEP (United Nations Environment Programme); 2002 Report of the Halons Technical Options Committee (ATOC); Nairobi 2003c.
- UNEP (United Nations Environment Programme); 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC); Nairobi, January 2003d.
- UNFCCC; Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Vereinte Nationen, Genf, 1992. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>.