

Studien und Untersuchungen

Emissionen und Minderungspotential von HFKW, FKW und SF₆ in Deutschland*

Winfried Schwarz, André Leisewitz

Korrespondenzautor: Dr. Winfried Schwarz, Öko-Recherche GmbH, Kaiserstr. 61, D-60329 Frankfurt/Main

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2000.04.007>

Zusammenfassung. Die fluorinierten Verbindungen Schwefelhexafluorid (SF₆), perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC) und wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) sind Treibhausgase, deren Reduktion im Rahmen der Klimarahmenkonvention beschlossen wurde. Die Studie prognostiziert für Deutschland deren Emissionsentwicklung 1995 - 2010 mit und ohne zusätzliche emissionsmindernde Maßnahmen. Nach dem Business-as-Usual-Szenario steigen die Emissionen 1995 - 2010 von 11,1 auf 27,4 Mio. t CO₂-Äquivalente. Der Anstieg wird zu 72% von HFKW getragen, die vor allem in der Kälte- und stationären Klimatechnik, mobilen Klimaanlage, zur Schäumung von extrudiertem Polystyrol (XPS) und bei PU-Montageschaum eingesetzt werden. Größter SF₆-Emittent sind Schallschutzscheiben, die meisten PFC-Emissionen stammen aus der Halbleiterindustrie und der Aluminiumherstellung. Auch nach dem Minderungsszenario wird eine Stabilisierung der Emissionen fluorierter Gase nicht erreicht. Lediglich ihr Anstieg verlangsamt sich. Er verläuft von 11,1 auf 14,9 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Verlangsamung des Emissionsanstiegs sind bei Kälte- und stationären Klimaanlage eine Wartungspflicht, bei mobilen Klimaanlage der Kältemittel-Ersatz von HFKW durch CO₂, bei der XPS-Schäumung die partielle HFKW-Substitution durch CO₂, bei PU-Montageschaum der 95%ige HFKW-Ersatz durch brennbare Kohlenwasserstoffe. Im Bereich der Schallschutzscheiben wird ein völliger SF₆-Verzicht für möglich gehalten. Auch die PFC-Emissionen der Halbleiterindustrie können durch neue Verfahren der Prozesskammer-Reinigung um 85% sinken.

Schlagwörter: Emissionen treibhauswirksamer Verbindungen; FCKW-Ersatz; Fluorierte Verbindungen; Halbleitergase; HFKW; Kältemittel; Klimawandel; perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC); Schwefelhexafluorid (SF₆); Treibmittel; wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW)

Abstract: Emissions and Reduction Potential of Hydrofluorocarbons, Perfluorocarbons and Sulphur Hexafluoride in Germany (Study)

The greenhouse gases subject to emission reduction commitments under the UN Climate Convention include the fluorinated compounds sulphur hexafluoride (SF₆), perfluorocarbons (PFCs) and hydrofluorocarbons (HFCs). The present study projects the emissions of these gases in Germany over the 1995 - 2010 period, with and without additional emission abatement efforts. In the business-as-usual scenario, total emissions of the three fluorinated gases rise over the 1995 - 2010 period from 11.1 to 27.4 million tonnes CO₂ equivalent. This rise is attributable to 72% to HFCs, used above all for refrigeration and stationary air-conditioning, for mobile air-conditioning, for blowing extruded polystyrene (XPS) foam and for one-component polyurethane (PU) foam. Soundproof glazing is the largest SF₆ emission sector. Most PFC emissions come from semiconductor manufacturing and aluminium smelting. The reduction scenario does not achieve a stabilisation of fluorinated gas emissions either. The rate of growth is only slowed, with 11.1 million tonnes CO₂ equivalent in 1995 growing to 14.9 million in 2010. The measures proposed to attenuate emissions growth are: mandatory equipment maintenance in refrigeration and stationary air-conditioning, refrigerant substitution of HFCs by CO₂ in mobile air-conditioning, partial HFC substitution by CO₂ in XPS foam blowing, 95% HFC substitution by flammable hydrocarbons in one-component PU foam. Complete SF₆ phase-out is considered to be feasible in soundproof glazing. The PFC emissions of the semiconductor industry can be cut by 85% by new chamber cleaning technologies.

Keywords: CFC replacement; emissions of fluorinated compounds in Germany; global warming impact; greenhouse gases; hexafluoroethane (C₂F₆); hydrofluorocarbons (HFC); perfluorocarbons (PFC); propellants; R134a; refrigerants; sulphur hexafluoride (SF₆); tetrafluoromethane (CF₄)

Einleitung

Das von der 3. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Kyoto am 10. Dezember 1997 angenommene Protokoll verpflichtet die Industriestaaten erstmals in rechtsverbindlicher Form zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Weltweit sollen diese bis 2008/2012 gegenüber dem 1990er Niveau um 5,2% gesenkt werden. Einige Industrieländer, darunter die EU, haben sich zu einem höheren Reduktionsbeitrag verpflichtet. Nach einem Beschluss

des EU-Ministerrats vom Juni 1998 ist die Bundesrepublik Deutschland an der EU-intern vereinbarten Lastenteilung überdurchschnittlich beteiligt. Deutschland verpflichtete sich, die Summe der Treibhausgas-Emissionen bis 2008/2012 um 21% vermindern.

Das Klimaprotokoll von Kyoto umfasst nicht nur die Treibhausgase CO₂, Methan und Distickstoffoxid, sondern zusätzlich auch die fluorinierten Gase HFKW (wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe), FKW (perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe bzw. PFC, wie sie nachfolgend in ihrer englischen Abkürzung bezeichnet werden) und SF₆ (Schwe-

* Forschungsbericht für das Umweltbundesamt, UFOPLAN-No. 298 41 256

felhexafluorid). Das Reduktionsziel um 5,2% (weltweit) oder um 21% (Deutschland) bezieht sich nicht auf jedes einzelne der sechs Gase, sondern auf ihre Summe oder ihren "Korb" (gas basket) in CO₂-Äquivalenten. Das allgemeine Bezugsjahr ist 1990; für die drei fluorierten Treibhausgase kann auch 1995 gewählt werden.

Die Klimawirksamkeit der fluorierten Verbindungen resultiert aus ihren langen, über mehrere Jahrzehnte (HFKW) bzw. Jahrhunderte (PFC, SF₆) reichenden atmosphärischen Verweilzeiten, verbunden mit hoher spezifischer Absorption im treibhausrelevanten infraroten Spektralbereich. Fluorierte Verbindungen stellen die mit Abstand treibhauswirksamsten Stoffe in der Atmosphäre dar. Das als Maßzahl zum Vergleich mit CO₂ als Referenzsubstanz herangezogene Global Warming Potential (GWP) liegt für HFKW und PFC im Bereich zwischen 1000 und 10.000, für SF₆ sogar bei 23.900.

Die Klimarelevanz fluorierter Verbindungen wurde erst in den letzten Jahren intensiver untersucht. Dabei wurde offenkundig, dass es über ihre Emissionsquellen auf der Erde zwar allgemeine Kenntnisse gibt, dass aber zu wenig konkretes Wissen über die quantitativen Beiträge der einzelnen Quellen vorliegt. In vielen Ländern wurden daher Untersuchungen angestellt mit dem Ziel, die Anwendungsgebiete fluorierter Treibhausgase zu identifizieren, ihre aktuellen und künftigen Verbrauchs- und Emissionsmengen zu kalkulieren und Möglichkeiten zur Emissionsdämpfung abzuschätzen.

In diesem Zusammenhang entstand die vorliegende Studie über Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland. Sie baut auf einer im Jahre 1996 im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellten ersten Untersuchung über HFKW, PFC und SF₆ auf.¹

Ausgehend von den aktuellen Verbräuchen und Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase HFKW, SF₆ und PFC in Deutschland zwischen 1995 und 1997 wird für jeden einzelnen ihrer Anwendungssektoren eine Emissionsprognose mit und ohne emissionsmindernde Maßnahmen bis zum Jahr 2010 erstellt.

Ein Business-as-Usual-Szenario (BaU-Szenario) nimmt an, dass gegenwärtige Nutzungstrends einschließlich heute bereits eingeleiteter Emissionsminderungen anhalten und schreibt diese bis 2010 fort. In einem Minderungsszenario werden aus heutiger Sicht realisierbare Potentiale zur Emissionsdämpfung oder Substitution in jedem einzelnen Sektor ausgeschöpft. Es werden nur solche Emissionsminderungen berücksichtigt, die nicht durch Nachteile an anderer Stelle in ihrer ökologischen Wirkung aufgehoben werden.

Eine Stabilisierung der Emissionen fluorierter Gase wird weder im BaU- noch im Minderungsszenario erreicht. Durch Minderungsmaßnahmen kann jedoch ihr Anstieg um 150% zwischen 1995 und 2010 auf einen Anstieg um etwa 34% begrenzt werden.

¹ SCHWARZ, W.; LEISEWITZ, A. (Öko-Recherche): Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dezember 1996. In: UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 10 (4) 230-235 (1998).

1 Emissionen 2010 von HFKW, FKW und SF₆ im BaU-Szenario

Im BaU-Szenario steigen die Emissionen von HFKW, SF₆ und PFC bis 2010 insgesamt von 11,1 auf 27,4 Mio. t CO₂-Äquivalente oder um 146% an (→ Tabelle 1).

Am stärksten nehmen erwartungsgemäß die HFKW-Emissionen zu, die erst seit 1990 gezielt als Nachfolgestoffe für FCKW und HFCKW hergestellt werden. Sie wachsen von 1995 bis 2010 von 3,1 Mio. t CO₂-Äquivalente auf 19,8 Mio. t oder etwa um den Faktor 6. Der Anstieg der Gesamtemissionen der fluorierten Treibhausgase wird im wesentlichen durch die HFKW getragen (→ Tabelle 1 und Abb. 1 und 2).

Tabelle 1: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 2010 nach BaU-Szenario in Mio. t CO₂-Äquivalente

	1995	2000	2005	2010	1995 - 2010
1. HFKW	3,13	8,35	14,98	19,84	+ 534%
2. SF ₆	6,22	3,69	4,01	5,01	- 19%
3. PFC	1,76	1,83	2,03	2,52	+ 43%
Gesamt	11,11	13,87	21,02	27,37	+ 146%

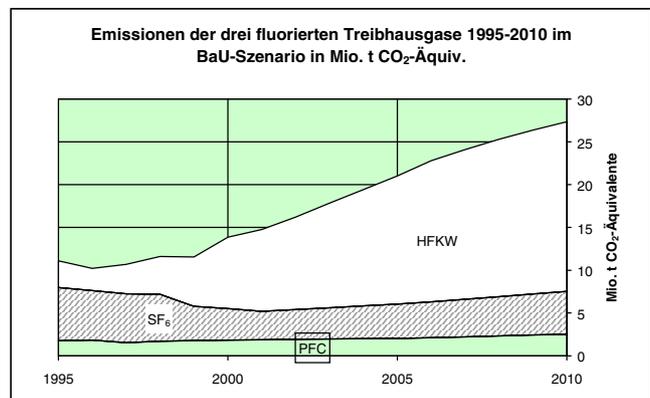


Abb. 1: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 2010 im BaU-Szenario in Mio. t CO₂-Äquivalente. Die starke Zunahme der Emissionen bis 2010 auf über 27 Mio. t CO₂-Äquivalente wird fast ausschließlich von den HFKW (weiße Fläche oben) getragen. SF₆- und PFC-Emissionen (Flächen darunter) zusammengenommen sinken bis 2001, steigen danach bis 2010 aber wieder an

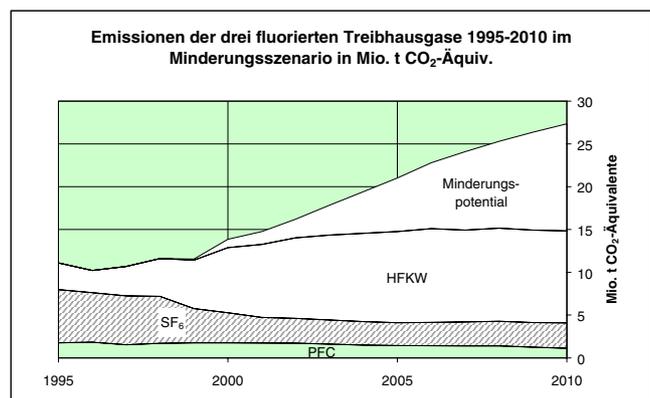


Abb. 2: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 2010 im Minderungsszenario in Mio. t CO₂-Äquivalente. Sowohl die SF₆- als auch PFC-Emissionen (untere Flächen) sinken zwischen 1995 und 2010. Entscheidend für das Minderungspotential (weiße Fläche oben) ab dem Jahr 2000 ist aber der im Vergleich zu Abb. 1 moderate Anstieg der HFKW

Die SF₆-Emissionen sinken im gleichen Zeitraum von 6,2 auf 5,0 Mio. t CO₂-Äquivalente. Das ist ein Rückgang um 19%. Die PFC nehmen dagegen bis 2010 um 43% zu: von 1,8 auf 2,5 Mio. t CO₂-Äquivalente.

1.1 Emissionsquellen verschiedener Größe im BaU-Szenario

Über 86% der Emissionen fluoriertener Treibhausgase oder 23,6 Mio. t CO₂-Äquivalente sind im Jahr 2010 aus den sieben größten der achtzehn Anwendungssektoren zu erwarten. Es sind vier Anwendungen von HFKW, eine Anwendung von SF₆ und zwei PFC-Emissionsquellen. Die nachfolgenden Kreisdiagramme stellen sie in ihren prozentualen Anteilen an den Emissionen der drei verschiedenen Treibhausgase dar (→ Abb. 3).

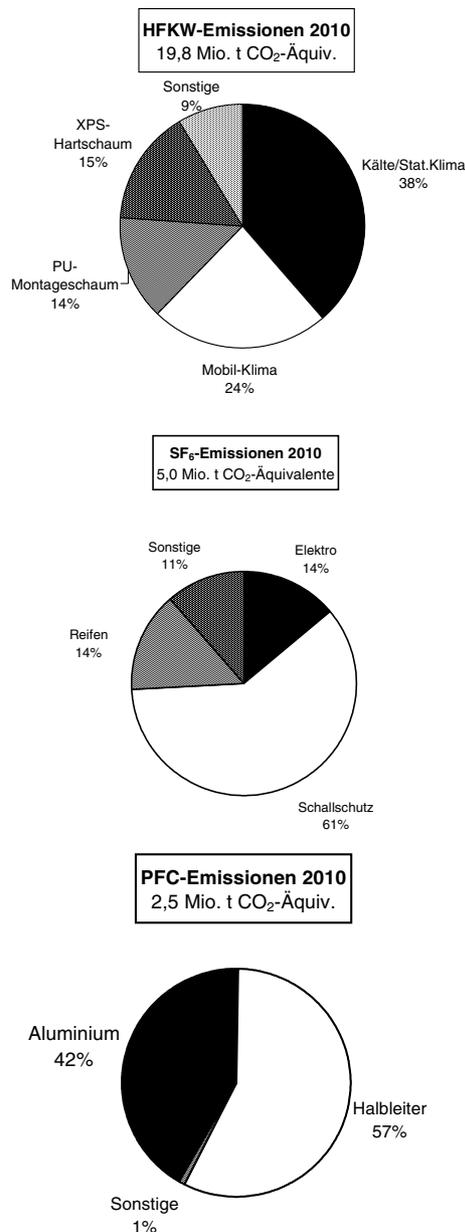


Abb. 3: Emissionen von HFKW, SF₆ und PFC im Jahr 2010 nach einzelnen Quellen ohne Minderungsmaßnahmen

In der Reihenfolge ihrer Emissionsgröße sind die wichtigsten Sektoren (→ Tabelle 3, S. 212), gemessen an der Summe der Emissionen aller drei Treibhausgase:

1. Kälte- und stationäre Klimaanlage (HFKW) 7,7 Mio. t CO₂-Äquiv
2. Mobile Klimaanlage (HFKW) 4,7 Mio. t CO₂-Äquiv
3. Schäumung von extrudiertem Polystyrol (XPS) (HFKW) 3,0 Mio. t CO₂-Äquiv
4. Schallschutzscheiben (SF₆) 3,0 Mio. t CO₂-Äquiv
5. Polyurethan-Montageschaum (HFKW) 2,7 Mio. t CO₂-Äquiv
6. Halbleiterfertigung (PFC) 1,4 Mio. t CO₂-Äquiv
7. Aluminiumherstellung (PFC) 1,1 Mio. t CO₂-Äquiv

2 Emissionen 2010 von HFKW, FKW und SF₆ im Minderungsszenario

Im Minderungsszenario sinken bis 2010 nicht nur die Emissionen von SF₆, sondern auch von PFC gegenüber dem Bezugsjahr 1995. Die SF₆-Emissionen halbieren sich, indem sie von 6,2 auf unter 3,0 Mio. t CO₂-Äquivalente zurückgehen (→ Tabelle 2). Die PFC-Emissionen sinken von 1,8 auf 1,1 Mio. t CO₂-Äquivalente oder um 35%, statt – wie im BaU-Szenario – um 43% zu steigen.

Die HFKW-Emissionen werden in ihrem Anstieg gedämpft. Dieser verläuft von 3,1 auf 10,8 Mio. t CO₂-Äquivalente (→ Tabelle 2). Das ist ein Zuwachs um 244% und nicht um 534% wie im BaU-Szenario. Er ist aber noch groß genug, um die Gesamtemissionen aller fluorierten Treibhausgase gegenüber 1995 absolut um 34% wachsen zu lassen, von 11,1 auf 14,9 Mio. t CO₂-Äquivalente (→ Tabelle 2).

Im Jahr 2010 beträgt das Minderungspotential der vorgeschlagenen Maßnahmen etwa 12,5 Mio. t CO₂-Äquivalente oder rd. 46%.

Tabelle 2: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 2010 nach Minderungsszenario in Mio. t CO₂-Äquivalente

	1995	2000	2005	2010	1995 - 2010
1. HFKW	3,13	7,59	10,67	10,77	+ 244%
2. SF ₆	6,22	3,53	2,66	2,95	- 53%
3. PFC	1,76	1,76	1,44	1,14	- 35%
Gesamt	11,11	12,88	14,77	14,86	+ 34%

2.1 Das Minderungspotential der einzelnen Emissionsquellen

Für die Umweltpolitik ist es nicht nur wichtig, die Größe der einzelnen Emissionsquellen zu kennen, sondern vor allem auch zu wissen, welche Sektoren die günstigsten Chancen bieten, treibhauswirksame Emissionen einzudämmen. In der Regel weisen die stärksten Emissionsquellen auch das größte absolute Minderungspotential auf (→ Tabelle 3).

Fünf der achtzehn Emissions-Sektoren haben in der Periode von 1995 bis 2010 ein Minderungspotential von mehr als 1 Mio. t CO₂-Äquivalente: die drei HFKW-Anwendungen Kälte- und stationäre Klimatechnik, PU-Montageschaum und

Tabelle 3: Anwendungssektoren fluorierter Treibhausgase nach Größe der 2010-Emissionen in Mio. t CO₂-Äquivalente nach beiden Szenarien

Anwendung	Emissionen in Mio. t CO ₂ -Äquivalente		Minderungspotential*
	nach BaU-Szenario	nach Minderungsszenario	
1. Kälte/stationäres Klima	7,66	4,11	3,55
2. Mobile Klimaanlage	4,69	3,86	0,83
3. XPS-Schaum	3,04	1,73	1,31
4. Schallschutzscheiben	3,02	2,01	1,01
5. PU-Montageschaum	2,74	0,19	2,55
6. Halbleiter (PFC)	1,45	0,19	1,26
7. Aluminiumverhüttung	1,05	0,92	0,13
8. Autoreifen	0,72	0,00	0,72
9. Dosieraerosole	0,68	0,17	0,51
10. PU-Schaumprodukte	0,68	0,45	0,23
11. Rest	1,70	1,29	0,40
Summe	27,4	14,9	12,5

* Differenz zwischen BaU-Szenario und Minderungsszenario in Mio. t CO₂-Äquivalente

XPS-Schäumung, die SF₆-Anwendung Schallschutzscheiben und die PFC-Anwendung Halbleiterfertigung (→ *Tabelle 3, rechte Spalte*).

- Das größte Minderungspotential hat die *Kälte- und stationäre Klimatechnik*, die zugleich größte Emissionsquelle im BaU-Szenario ist. Die Emissionen nach dem Minderungsszenario betragen 2010 statt 7,7 Mio. t CO₂-Äquivalente nur noch 4,1 Mio. t bis 3,6 Mio. t weniger als im BaU-Szenario. Die Minderung resultiert aus einer allgemeinen Wartungspflicht für Kälte- und Klimaanlage über 1 kg Kältemittel. Diese allein senkt die Emissionen von HFKW, PFC und SF₆ (27,4 Mio. t CO₂-Äquivalente) um 13%.
- Um 9% sinken die Emissionen durch teilweise HFKW-Substitution bei Treibmitteln für *PU-Montageschaum*, und zwar durch einen 95%igen Ersatz durch einfache Kohlenwasserstoffe. Dadurch können HFKW-Emissionen im Umfang von 2,7 Mio. t CO₂-Äquivalente auf 0,2 Mio. t zurückgeführt werden.
- Auch der drittgrößte Minderungseffekt gegenüber dem BaU-Szenario ergibt sich durch HFKW-Substitution. Wird bei rd. 40% der *XPS-Schaumplatten* auf HFKW zugunsten CO₂ als Treibmittel verzichtet, können die Emissionen aus dieser Anwendung von 3 Mio. t CO₂-Äquivalente auf 1,7 Mio. t sinken. Die Emissionen aller betrachteten fluorierten Gase im Jahr 2010 gingen mit dieser Maßnahme um 1,3 Mio. t CO₂-Äquivalente oder um 5% zurück.
- Die viertgrößte Minderung der BaU-Gesamtemissionen kann in der *Halbleiterindustrie* bewirkt werden, wenn ab dem Jahr 2000 die Reinigung der Prozesskammern konsequent auf ein neues Verfahren (Reinigung mit im Mikrowellenplasma vorgepaltenem NF₃) umgestellt wird. Von 1,4 Mio. t CO₂-Äquivalente sinken die PFC-Emissionen auf weniger als 0,2 Mio. t CO₂-Äquivalente. Die gesamten Emissionen der fluorierten

Gase HFKW, PFC und SF₆ würden dadurch um über 4% gesenkt.

- Ein Minderungspotential von 1 Mio. t CO₂-Äquivalente könnte erschlossen werden, wenn zur *Schalldämmung von Isolierglas* kein SF₆ mehr neu eingesetzt wird. Von den 3 Mio. t CO₂-Äquivalente, die in 2010 aus Schallschutzscheiben emittieren, bleiben zwar noch 2 Mio. t Emissionen aus der jährlichen Fensterreparatur. Es fallen aber die hohen Befüllungsverluste weg.

Zu den Sektoren mit Minderungspotential über 1 Mio. t CO₂-Äquivalente gehört im Grunde auch die zweitgrößte Emissionsquelle des BaU-Szenarios, die mobilen Klimaanlage. Zwar liegt ihr Minderungspotential 2010 erst bei 0,8 Mio. t CO₂-Äquivalente, aber nur, weil der emissions-senkende Faktor, die Kältemittel-Umstellung von HFKW auf CO₂, seine Wirkung erst einige Jahre später voll entfaltet².

Mit den genannten sechs Maßnahmen könnten bereits 84% des gesamten Minderungspotentials (12,5 Mio. t CO₂-Äquivalente) ausgeschöpft werden (→ *Tabelle 3, rechts*).

3 Folgerungen für eine Politik der Emissionsminderung

An dem Umstand, dass die Masse des Minderungspotentials der Emissionen fluorierter Treibhausgase in sechs Anwendungssektoren konzentriert ist, kann sich eine Politik der Emissionsminderung orientieren, wenn sie Schwerpunkte setzen muss. Sie sollte jedoch nicht übersehen, dass in den übrigen zwölf Sektoren immerhin ein Minderungspotential von zusammen 2 Mio. t CO₂-Äquivalente enthalten ist.

Die Erinnerung daran ist umso wichtiger, als sich zeigt, dass selbst die Implementierung aller vorgeschlagenen Maßnahmen die Emissionen bis zum Jahre 2010 keineswegs unter den Stand des Bezugsjahres 1995 senken wird. Deutschland hat sich verpflichtet, die Summe aller Treibhausgasemissionen (fluorierte und nichtfluorierte Verbindungen) gegenüber 1995 um 21% zu vermindern. Die Ausschöpfung des hier veranschlagten Minderungspotentials für die drei Gruppen der fluorierten Treibhausgase führt aber sogar zu einer Steigerung der treibhauswirksamen Emissionen um 34%. Dieser Emissionszuwachs muss an anderer Stelle (CO₂, CH₄, N₂O) kompensiert werden. Schon von daher verbietet es sich, irgendeinen möglichen Reduktionsbeitrag treibhauswirksamer Emissionen auszulassen. Vielmehr sind Anstrengungen notwendig, weitere Minderungspotentiale zu erschließen.

Die Bedeutung der Emissionen von HFKW, SF₆ und PFC erscheint, gemessen an den deutschen Gesamtemissionen direkter Treibhausgase, relativ gering. Ihr zusammengefasster Anteil an den Gesamtemissionen – ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten (nach GWP mit Zeithorizont von 100 Jahren) – betrug 1995 ca. 1%. Dennoch wäre es aus ökologischer Sicht unangebracht, die fluorierten Treibhausgase zu vernachlässigen. Denn ohne Minderungsmaßnahmen wird sich im Jahr 2010 ihr Anteil an den gesamten direkten Treibhausgasemissionen auf etwa 3% erhöht haben. Dazu kommt, dass eine Umkehr des Emissionstrends für die mengenmäßig wich-

² Nach dem Jahr 2020 könnten HFKW-Emissionen aus mobilen Klimaanlage ganz wegfallen, was eine Emissionsminderung um jährlich 4,7 Mio. t CO₂-Äquivalente bedeutet.

tigste Gruppe der fluorierten Gase, die HFKW, mittelfristig nicht in Sicht ist.

Im übrigen ist darauf zu verweisen, dass sich die treibhauswirksamen Gesamtemissionen aus einer Vielzahl von für sich genommen meist kleinen Einzelquellen speisen, die angesichts der notwendigen Reduktion der Treibhausgase alle auf Minderungsmöglichkeiten zu überprüfen sind.

Eingegangen und Akzeptiert: 17. März 2000
Online-First: 25. April 2000

Anhang

Tabellen 4 bis 7 dienen der Vervollständigung der umweltrelevanten Emissionsdaten der fluorierten Treibhausgase in Deutschland. Tabellen 6 und 5 enthalten die Emissionen für die Stichjahre 1995, 2000, 2005 und 2010 in Tonnen pro Jahr: **Tabelle 4** nach BaU-Szenario und **Tabelle 5** nach Minderungsszenario. Tabellen 6 und 7 enthalten die realen Emissionen der Jahre 1995 bis 1997: **Tabelle 6** in Tonnen pro Jahr und **Tabelle 7** in Mio. t CO₂-Äquivalente.

Tabelle 4: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 2010 nach BaU-Szenario in t pro Jahr

	1995	2000	2005	2010	1995 - 2010
1. HFKW	2135	9298	14361	18825	+ 782%
2. SF ₆	260	154	168	210	- 20%
3. PFC	258	259	181	340	+ 32%
Gesamt	2653	9711	14710	19375	+ 630%

Tabelle 5: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 2010 nach Minderungsszenario in t pro Jahr

	1995	2000	2005	2010	1995 - 2010
1. HFKW	2135	7294	9421	9984	+ 368%
2. SF ₆	260	148	111	124	- 52%
3. PFC	258	250	204	165	- 36%
Gesamt	2653	7692	9736	10273	+ 287%

Tabelle 6: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 1997 in t/a

	1995	1996	1997
1. HFKW	2135	2435	2884
2. SF ₆	260	243	238
3. PFC	258	265	221
Summe	2653	2943	3343

Tabelle 7: Emissionen der drei fluorierten Treibhausgase 1995 - 1997 in Mio. t CO₂-Äquivalente

	1995	1996	1997
1. HFKW	3,13	2,58	3,45
2. SF ₆	6,22	5,81	5,70
3. PFC	1,76	1,83	1,55
Summe	11,11	10,22	10,7

UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 10 (4) 230-235 (1998)

Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland

Winfried Schwarz, André Leisewitz

Die fluorierten Verbindungen Schwefelhexafluorid (SF₆), Perfluormethan (CF₄), Perfluorethan (C₂F₆) und wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) sind atmosphärische Spurengase mit einem extrem hohen Einfluß auf die globale Erwärmung (GWP). Diese Studie zeigt die für Deutschland tatsächlichen Emissionen von 1990 – 1995 und die Weiterentwicklung bis zum Jahre 2020. Diese Weiterentwicklung weist darauf hin, dass die jährliche Perfluormethanfreisetzung zwischen den Jahren 1990 und 2000 von 335 t/34 t auf 100 t/10 t sinkt, was auf Automatisierungsmaßnahmen der Hauptquelle (Aluminiumindustrie) zurückzuführen ist. Schwefelhexafluoridemissionen werden jedoch bis zum Jahr 2020 in der Höhe zwischen 200 und 300 t/jährlich liegen. Bei weitem die größten Verursacher sind Autoreifen, Schallschutz-Isolierglasschei-

ben und nicht-elektrische Schaltanlagen, wobei letztere relativ dicht sind und mit Entsorgungs- und Wiederverwertungskonzepten für gebrauchtes Gas verbunden sind. Betreffend wasserstoffhaltiger Fluorkohlenwasserstoffe, die seit 1990 mit der Absicht verwendet werden, die Chlorfluorcarbone (CFCs) zu ersetzen und mit zunehmenden Maße die CFCs in stationärer und mobiler Kühltechnik, in PU-Schaumdosen und in Asthma-sprays ersetzen, wird eine schrittweise ansteigende Emission auf Werte von 9.700 t/a ab dem Jahr 2007 erwartet, wenn nicht mehr halogenfreie Alternativen benutzt werden. Diesen Trend angenommen, wird eine zunehmende Emission der genannten fluorierten Verbindungen im Jahr 2020 dem Global Warming Impact von 25 mio t CO₂ (GWP Zeithorizont: 100 Jahre) entsprechen.