

## **Beschleunigter Anstieg der atmosphärischen Konzentrationen der Klimagase SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub>**

Die öffentliche Diskussion betrachtet den Klimawandel meist nur im Zusammenhang mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>): CO<sub>2</sub>-Emissionen, CO<sub>2</sub>-Bilanzen, CO<sub>2</sub>-Handel. Daneben finden noch Methan (CH<sub>4</sub>) oder Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) Beachtung. Zum Gehalt der Atmosphäre an weiteren klimawirksamen Gasen liegen nur wenige Informationen vor. Unter ihnen sind aber Stoffe, deren Treibhausgaspotential wesentlich größer ist als das von CO<sub>2</sub> und deren Konzentration in der Atmosphäre kontinuierlich anwächst. Zu diesen Stoffen zählen Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>).

### Was ist das „Treibhauspotential“ eines Klimagases ?

Die Bewertung der Klimawirksamkeit eines Stoffes erfolgt relativ zu der von CO<sub>2</sub> in Form des sogenannten GWP (global warming potential) [1]. Hat eine Substanz beispielsweise ein GWP von 5000, so hat sie eine 5000fach höhere Klimawirksamkeit als CO<sub>2</sub>, d.h. eine Tonne der Substanz hat die gleiche Klimawirksamkeit wie 5000 Tonnen CO<sub>2</sub>.

Die Substanzen mit den größten bekannten Klimawirksamkeiten sind Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) mit einem GWP von 22800 und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) mit einem GWP von 17200 [1]. SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub> werden darüber hinaus nur sehr langsam abgebaut, was zu langen Verweilzeiten in der Atmosphäre führt. Im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> oder Methan besitzen SF<sub>6</sub> und NF<sub>3</sub> keine natürlichen Quellen.

### Woher stammen Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid ?

SF<sub>6</sub> findet u.a. Verwendung in elektrischen Betriebsmitteln (Unterdrückung von Funkenbildung in Schalteinrichtungen), dient als Schutzgas bei der Magnesiumherstellung und wurde früher auch zur Wärmeisolation als Füllgas in Isolierglasscheiben eingesetzt. SF<sub>6</sub> ist im Kioto-Protokoll zur Begrenzung der klimawirksamen Gase von 1997 aufgeführt und dementsprechend auch in den EU-weiten und nationalen Regelungen [8].

NF<sub>3</sub> wurde bis vor wenigen Jahren nur in geringem Umfang verwendet. Seit Mitte der 1990er Jahre sind die produzierten Mengen jedoch erheblich gestiegen. NF<sub>3</sub> wird dabei vornehmlich in der Halbleiterindustrie, z.B. bei der Herstellung Flachbildschirmen und Solarzellen eingesetzt. Die vermehrte industrielle Nutzung ist auch darauf zurückzuführen, dass NF<sub>3</sub> als Ersatzstoff für Fluorkohlenstoffverbindungen dient, deren Verwendung aus Umweltschutzgründen eingestellt wurde. Trotz seines hohen GWP wurde NF<sub>3</sub> nicht in das Kiotoprotokoll aufgenommen, da 1997 die verwendeten Mengen zu gering erschienen. Wegen des starken Anstiegs der Nutzung wird NF<sub>3</sub> jedoch inzwischen als das „im Kiotoprotokoll fehlende Klimagas“ bezeichnet [2a, 2b].

### Wie haben sich die atmosphärischen Konzentrationen von Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid entwickelt ?

Trotz der im Kioto-Protokoll festgelegten Verwendungsbeschränkung wird weltweit ein Anstieg der SF<sub>6</sub>-Konzentration beobachtet, wobei sich dieser in den letzten Jahren sogar beschleunigt. Nahmen die Konzentrationen zu Anfang des Jahrzehnts noch um 0,21 ppt [6] pro Jahr zu, so beträgt der Anstieg heute bereits 0,26 ppt pro Jahr (siehe Abbildung 1). Das bedeutet, dass die weltweit pro Jahr freigesetzte Menge an SF<sub>6</sub> um 24% zugenommen hat.

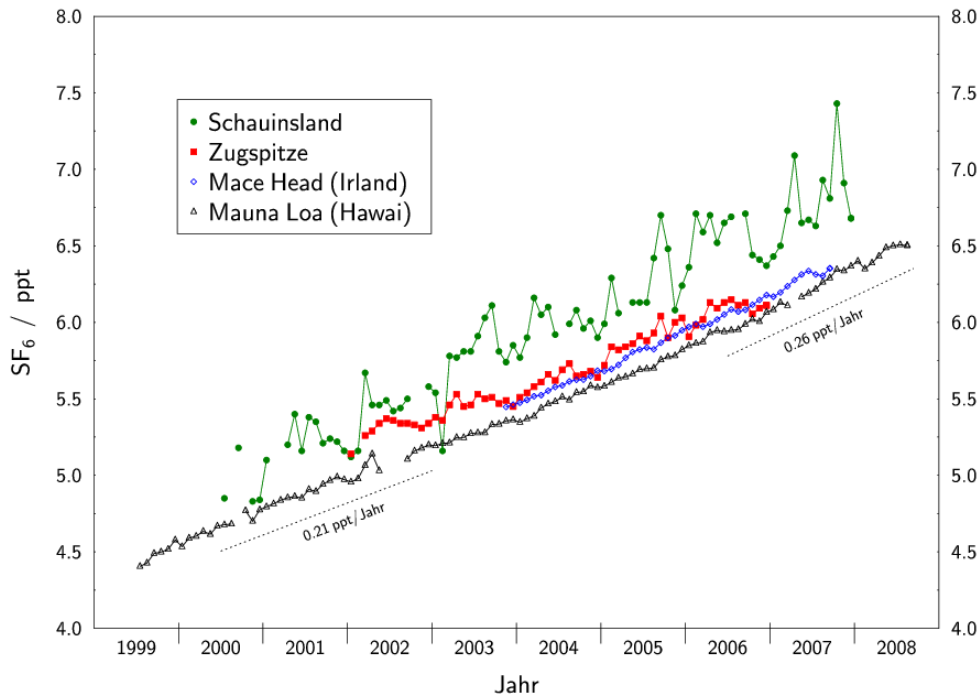


Abbildung 1: Zeitreihen der Monatsmittelwerte der atmosphärischen Schwefelhexafluorid-Konzentration (ausgedrückt als Volumenmischungsverhältnis in ppt) an den UBA-Messstellen Schauinsland und Zugspitze [4] sowie zum Vergleich die Werte der Stationen Mace Head (Irland) und Mauna Loa (Hawaii) [5].

Das UBA misst SF<sub>6</sub>-Messungen an den Stationen Schauinsland und Zugspitze. Abbildung 1 zeigt die erhobenen Daten im Vergleich zu Messungen der Stationen Mace Head (Irland) und Mauna Loa (Hawaii). Die Messwerte vom Schauinsland liegen etwa 0,5 ppt höher als die der übrigen Stationen und zeigen eine größere kurzzeitige Variabilität, was auf die vergleichsweise geringere Entfernung zu Quellgebieten zurückzuführen ist. Die Messreihen der Stationen Zugspitze, Mace Head und Mauna Loa liegen dicht zusammen, die geringen Unterschiede erklären sich auch hier im Wesentlichen aus der unterschiedlichen Entfernung zu Quellregionen.

Die gegenwärtige Konzentration in der Atmosphäre beträgt etwa 6,5 ppt. Hieraus ergibt sich, dass die gesamte Atmosphäre derzeit ungefähr 160 kt SF<sub>6</sub> enthält. Dies

entspricht der Klimawirksamkeit von 3500 Mt CO<sub>2</sub> bzw. dem etwa 3,5-fachen der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emission von Deutschland.

SF<sub>6</sub> hat eine atmosphärische Lebensdauer [7] von 3200 Jahren [1]. Das bedeutet, dass sich von einer zu einer bestimmten Zeit freigesetzten Menge SF<sub>6</sub> nach 100 Jahren immer noch 97% in der Atmosphäre befinden. Da SF<sub>6</sub> erst seit einigen Jahrzehnten verwendet wird, lässt sich folgern, dass sich nahezu die gesamte jemals freigesetzte Menge an SF<sub>6</sub> noch in der Atmosphäre befindet und sich auch während des in Klimaszenarien typischer Weise betrachteten Zeitraums von bis zu hundert Jahren nicht verringern wird. Vielmehr ist aufgrund des in Produkten befindlichen, aber noch nicht freigesetzten SF<sub>6</sub> eine weitere Zunahme zu erwarten.

Da bislang keine NF<sub>3</sub>-Messungen vorlagen, war unklar, wie hoch die Konzentrationen in der Atmosphäre tatsächlich sind. Für 2006 wurde die atmosphärische Gesamtlast auf 1200 t geschätzt, wobei von einer Freisetzungsrate von jährlich 2% der Produktion ausgegangen wurde.

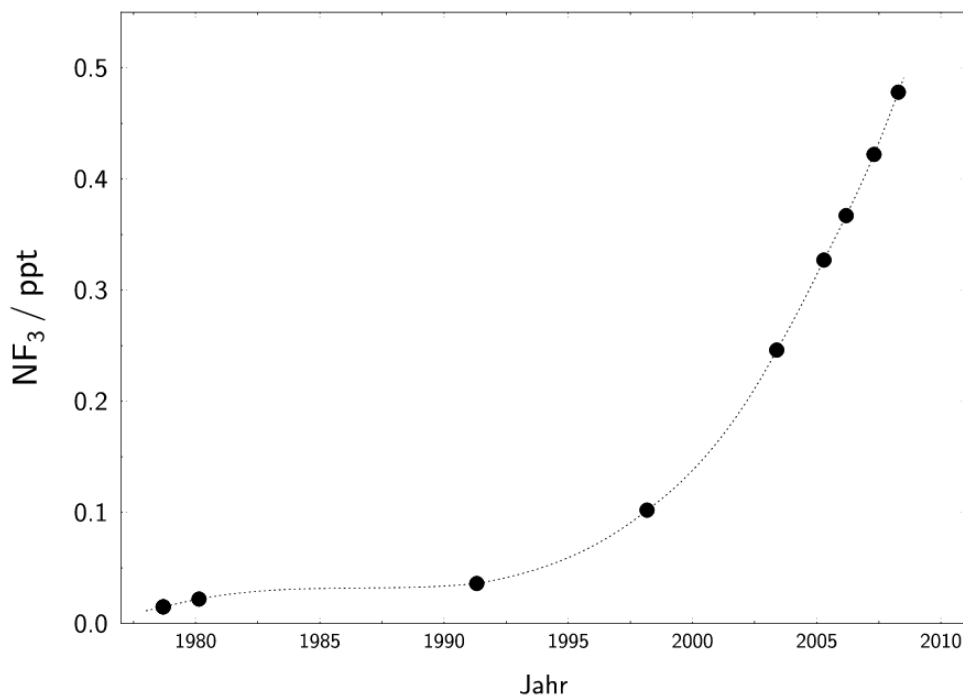


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der atmosphärischen Konzentration von Stickstofftrifluorid (ausgedrückt als Volumenmischungsverhältnis in ppt). Messwerte von R.Weiss und Mitarbeitern [3] an eingelagerten Luftproben von 2 Reinluftstationen an der kalifornischen Pazifikküste (USA).

Eine aktuelle Veröffentlichung stellt jetzt erstmalig Messungen der atmosphärischen Konzentration von NF<sub>3</sub> vor [3]. Da die Messungen auch an eingelagerten Luftproben durchgeführt wurden, war es sogar möglich, den Konzentrationsverlauf seit 1978 zu rekonstruieren (Abb. 2): Seit Mitte der 1990er Jahre erfolgte ein exponentieller

Anstieg der Konzentration auf einen heutigen Wert von 0,454 ppt. Der gegenwärtige Konzentrationsanstieg beträgt 11% pro Jahr. Das entspricht 16% der  $\text{NF}_3$ - Jahresproduktion und ist damit acht mal höher als vermutet. Die sich für das Jahr 2006 ergebende Gesamtlast ist mit 4200 t fast vier mal höher als vorher geschätzt und entspricht damit der Klimawirksamkeit von ungefähr 9% der jährlichen  $\text{CO}_2$ - Emission von Deutschland.

Mit einer Lebensdauer von 550 Jahren ist  $\text{NF}_3$  zwar kurzlebiger als  $\text{SF}_6$ , dennoch befinden sich nach 100 Jahren noch 83% der emittierten Menge in der Atmosphäre.

### Die Klimagasmessungen des UBA

Am Beispiel der Klimagase  $\text{SF}_6$  und  $\text{NF}_3$  wird deutlich, wie wichtig langfristig und dauerhaft angelegte Beobachtungs- und Messprogramme zum Erkennen und Verfolgen von Entwicklungen in der Umwelt sind.

Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes misst weiterhin  $\text{SF}_6$  und andere klimawirksame Gase (bspw.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) im Rahmen des GAW-Programms (global atmosphere watch [9]). Ausführliche Informationen zu den Messungen sind auf der Internetseite des UBA unter <http://www.umweltbundesamt.de/luft/umweltbeobachtung/gaw/index.htm> zu finden.

Das Umweltbundesamt verfolgt die Entwicklung beim  $\text{NF}_3$  und erwägt derzeit, ein Projekt zur Aufnahme von  $\text{NF}_3$  ins Luftmessprogramm einzuleiten.

Die langfristig angelegten Beobachtungs-Programme des UBA-Luftmessnetzes liefern belastbare Messreihen zur Politikberatung und fließen in die Weiterentwicklung internationaler Luftreinhalte- und Klimaschutzprotokolle ein.

### Literaturverweise, Erläuterungen und Links

[1] P.Forster et. al.: *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge und New York 2007, S. 212, ([PDF](#))

[2a] M.J.Prather und J. Hsu,  *$\text{NF}_3$ , the greenhouse gas missing from Kyoto*, Geophys. Res. Lett. **35** (2008), L12810, doi:10.1029/2008GL034542.  
<http://www.agu.org/pubs/crossref/2008/2008GL034542.shtml>

[2b] H.Hoag, *The missing greenhouse gas*, Nature Reports on Climate Change **2** (2008), 99 -100, doi:10.1038/climate.2008.72  
<http://www.nature.com/climate/2008/0808/full/climate.2008.72.html>

[3] R.F.Weiss, J.Mühle, P.K.Salameh und C.M.Harth, *Nitrogen trifluoride in the global atmosphere*, Geophysics Res. Lett. **35** (2008), L20821, doi:10.1029/2008GL035913  
<http://www.agu.org/pubs/crossref/2008/2008GL035913.shtml>

[4] Messwerte des Umweltbundesamtes. Messstation Schauinsland: im Schwarzwald Nähe Freiburg i.Br., Höhe 1250 m ü.N.N. Zugspitze: Meßstation im Schneesferner-

haus oberhalb des Zugspitzplatts, Höhe 2500 m ü.N.N. .

<http://www.umweltbundesamt.de/luft/umweltbeobachtung/gaw/index.htm>

[5] Daten aus der Datenbank des GAW-Weltdatenzentrums für klimawirksame Gase (Tokyo, Japan) <http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/>

[6] Volumenmischungsverhältnis: 1 ppt (parts per trillion) bedeutet 1 Volumenteil des betrachteten Gases auf  $10^{12}$  (=1 000 000 000 000 ) Volumenteile Luft. Analog zu Prozent: Volumenmischungsverhältniss von 1% bedeutet 1 Volumenteil Gas pro 100 Volumenteile Luft

[7] Der Begriff Lebensdauer ist zwar üblich, aber leider auch etwas irreführend: Er bedeutet nicht, dass nach Ablauf der Lebensdauer nichts mehr da ist. Der Begriff ist eher vergleichbar mit dem Begriff der Halbwertszeit, wie er z.B. beim radioaktiven Zerfall verwendet wird. Ebenso wie der radioaktive Zerfall kann auch der chemische Abbau durch eine Exponentialfunktion beschrieben werden:  $c(t) = c(t=0) \exp(- t / D)$ . mit:  $c$  = Konzentration,  $t$  = Zeit. Der Parameter  $D$  bestimmt den Funktionsverlauf und ist für den betrachteten Abbauvorgang spezifisch.  $D$  hat die physikalische Dimension einer Zeit und wird als Lebensdauer bezeichnet. Wenn  $t = D$ , dann sind noch 37% der ursprünglichen Menge vorhanden, bei  $t = 3 D$  sind noch 5% übrig. Ein annähernd vollständiger Abbau benötigt also einen Zeitraum von mehr als der dreifachen Lebensdauer.

[8] [http://www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/F-Gase-VO\\_842\\_2006.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/F-Gase-VO_842_2006.pdf)

[9] GAW: Global Atmosphere Watch

[http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_home\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html)