

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 74 (2016)  
**Heft:** 397

**Artikel:** Atmosphärenforschung : Fluorkohlenwasserstoffe würden die Atmosphäre bis Ende des Jahrhunderts bis 0.5 °C erwärmen : Kigali : ein Meilenstein für den weltweiten Klimaschutz  
**Autor:** Peter, Thomas / Baer, Thomas  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-897176>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Atmosphärenforschung: Fluorkohlenwasserstoffe würden die Atmosphäre bis Ende des Jahrhunderts bis 0.5 °C erwärmen

# Kigali: Ein Meilenstein für den weltweiten Klimaschutz

■ ORION sprach mit Thomas Peter

*Dass die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) seit den späten 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts verboten sind, ist hinlänglich bekannt. Die nach wie vor in die Atmosphäre gelangenden Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) hingegen sind Treibhausgase mit einem viel höheren Wirkungsgrad als Kohlendioxid. Hat man sie bislang unterschätzt? ORION sprach mit dem Atmosphärenchemiker THOMAS PETER von der ETH Zürich.*

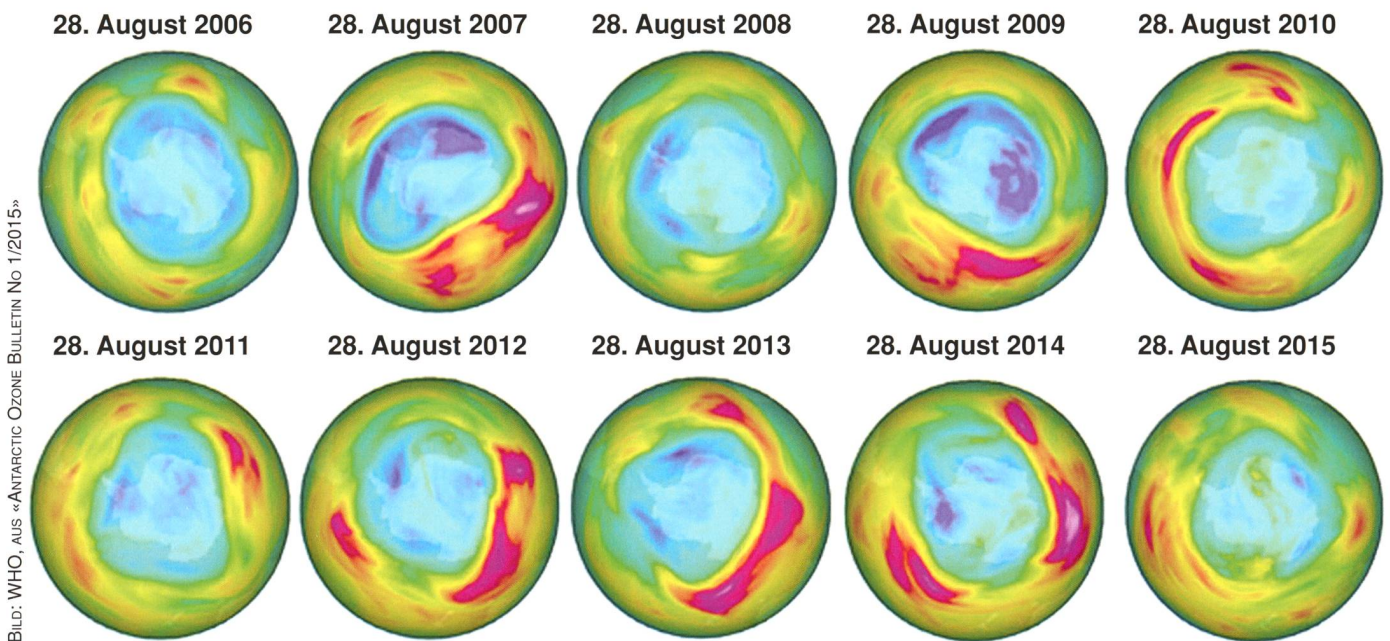
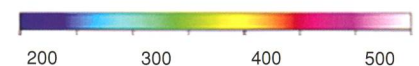


Abbildung 1: In dieser Bildsequenz ist sichtbar, dass sich die Ozonschicht in den vergangenen zehn Jahren zunehmend erholt hat. Die Dobson-Einheit (Dobson Unit, DU) ist definiert als eine 0.01 mm dicke Schicht von reinem Ozon, gemessen am Boden bei einer Temperatur von 0 °C und einem Luftdruck von 1 Atmosphäre. Wäre das gesamte Ozon in einer Luftsäule am Boden konzentriert, so entsprächen 330 DU einer 3.3 mm dicken Ozonschicht.

Total Ozon (Dobson Units)



Seit Anfang der 1980er-Jahre tritt die jährliche Ozonabnahme auf, besser unter dem Begriff «Ozonloch» bekannt. Das wiederkehrende Phänomen verschlimmerte sich von wenigen auf mehr als 50 Prozent. Bereits in den 70er-Jahren warnten Chemiker vor den schwer abbaubaren Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und einem damit verbundenen Abbau von Ozon in der Stratosphäre. Seitdem die FCKW verboten sind, erholt sich die Ozon-

schicht allmählich, dürfte sich aber erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wieder gänzlich schließen.

Die FCKW sind durch Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) ersetzt worden. Sie sind zwar nicht mehr «Ozonkiller», dafür handelt es sich um wirkungsvollere Treibhausgase als das bekannte CO<sub>2</sub>. In Kigali, Ruanda, haben sich die Vertreter aus 150 Staaten darauf geeinigt, die FKW schrittweise abzuschaffen.

Trotz gegenseitigen Schulterklopfens für den Erfolg dürfte es bei der Umsetzung viel zu langsam gehen. Neben dem Kampf gegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen wartet nun auf die Politik eine weitere gewichtige Aufgabe.

**ORION:** Seit 1987 sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe verboten. Die Ozonschicht hat sich seither «erholt». Können Sie diesen Trend bestätigen?



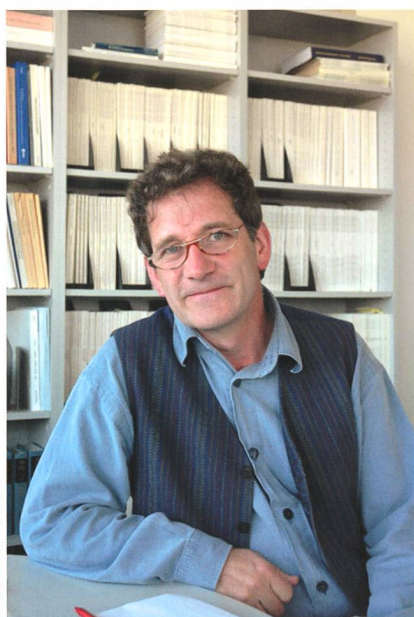


Abbildung 2: Professor THOMAS PETER arbeitet am Institut für Atmosphäre und Klima an der ETH Zürich.

**THOMAS PETER:** Grundsätzlich ja! Aber die FCKW sind sehr langlebig, d. h. der Rückgang dieser Stoffe in der Atmosphäre ist entsprechend langsam und dauert bei einigen viele Jahrzehnte. Dementsprechend ist auch die «Erholung» der Ozonschicht ein ähnlich langsamer Prozess. Was wir definitiv wissen, ist, dass der weitere globale Ozonverlust seit Mitte der 1990er-Jahre zum Stillstand gekommen ist, also kurz nach Beginn der internationalen Schutzmassnahmen. Aber bis wir die «Erholung» mit einer hohen statistischen Aussagekraft diagnostizieren können, müssen wir noch etwas geduldig sein.

**ORION:** Nun ist aber bekannt geworden (oder war schon immer bekannt), dass die FKW seit Jahrzehnten in die Atmosphäre gelangen und das Klima signifikant erwärmen? Was können Sie dazu sagen?

**PETER:** Die FKW sind technische Gase (wie die FCKW), welche für Kühl- und Isolierzwecke und als Treibgase in Sprayflaschen benutzt werden. Sie enthalten kein Chlor und sind daher nicht schädlich für das Ozon. Deshalb sind FKW als Ersatzstoffe für FCKW entwickelt und eingesetzt worden. Aber Sie haben mit Ihrer Frage völlig Recht: Beide Stoffklassen – FCKW und FKW – können starke Treibhausgase sein! Klimamodellierungen zeigen, dass eine ungezügeltere Produktion dieser

Gase bis zum Ende dieses Jahrhunderts eine globale Temperaturerhöhung von bis zu 0.5 °C zur Folge haben könnte. Diese würde den Erfolg der Klimaverhandlungen von Paris bereits jetzt, also weniger als ein Jahr nach ihrem Abschluss, ernsthaft in Frage stellen.

**ORION:** Wie genau wirken denn die FKW in der Atmosphäre und in welcher Höhe?

**PETER:** Da einige dieser Gase starke Infrarot-Absorber sind und lange in der Atmosphäre verbleiben – wiederum Jahrzehnte – ist ihr Treibhauseffekt bedeutsam. In welcher Höhe sie diesen Treibhauseffekt bewirken, ist dabei weniger wichtig. Die meisten Moleküle der Gasmoleküle befinden sich in den niedrigen Luftschichten und absorbieren dort die von der Erde ausgestrahlte Infrarotstrahlung. Ähnlich wie die FCKW müssen auch FKW zunächst in grosse Höhen transportiert werden – zum Beispiel über 20 km hinaus – bevor sie durch die dort vorherrschende UV-Strahlung gespalten und damit für das Klima unschädlich gemacht werden. Ein langsamer Prozess...

**ORION:** Sie gehen von einer Erwärmung von bis zu 0.5 °C in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts aus. Wenn man die FKW gänzlich verbieten würde, wie lange dauerte es, ehe sich die Aufwärmung der Atmosphäre «normalisierte»?

**PETER:** In Kigali, Ruanda, wurde am 14. Oktober während des alljährlichen Treffens der Unterzeichnerstaaten des Montrealer Protokolls von 1987 ja tatsächlich ein Verbot beschlossen. Somit wird es zu der von Ihnen angesprochenen Erwärmung durch FKW erst gar nicht kommen. Das ist ein grosser Erfolg. Allerdings wird das Zusatzprotokoll von Kigali nicht sofort – von heute auf morgen – für einen Bann der FKW sorgen.

Denn so schnell kann die technische Infrastruktur auf andere Gase, die umweltverträglicher sind, nicht umgestellt werden. Die Umsetzung wird auch nicht für jedes Land gleich schnell sein, denn Entwicklungsländern will man bewusst mehr Zeit einräumen. Aber auch mit diesen Randbedingungen wird die durch FKW zu erwartende Temperaturerhöhung kleiner als 0.1 °C bleiben.

**ORION:** Haben die Atmosphärenforscher die Wirkung der FKW unterschätzt? Wenn nicht, warum wurde die Erkenntnis nicht schon früher kommuniziert?

**PETER:** Gute Frage. Systematische Entwicklung und Einsatz der FKW begannen in den 1990er-Jahren. Die Sorge um das Ozon stand im Vordergrund. Wie bereits gesagt: das multilaterale Umweltabkommen und damit der völkerrechtlich verbindliche Vertrag des Umweltrechts ist das «Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen», gefolgt von einer Reihe späterer Zusatzprotokolle mit Konkretisierungen und Verschärfungen. Man beachte die genaue Formulierung: «...Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen».

Andere Stoffe, die das Ozon nicht abbauen, hingegen das Klima schädigen, waren für die Montrealer Unterzeichner also gar nicht «im Programm». Stoffe wie FKW sind Anlegenheit des Kyoto-Protokolls mit dem Ziel des Klimaschutzes. Wir wissen alle, dass das Kyoto-Protokoll auf Umsetzungsprobleme stiess. Daher ein weiterer Versuch, mit dem Pariser Klimaabkommen einen neuen Wirkungsmechanismus einzusetzen, der sich in erster Linie dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> widmet; und jetzt folgt auch der vor sieben Jahren eingeleitete Schritt, die FKW einzuschränken.

Hier hat sich das Verantwortungsbewusstsein der Montrealer Unterzeichner durchgesetzt, eine spezifische Stoffklasse weltweit verbindlich zu regulieren, die es nur als Auswirkung der Verbote ozonschädigender Gase in unserer Umwelt gibt. Wie gesagt: Ein grosser Erfolg, der Ende dieses Jahrhunderts 0.5° C wert sein kann!

**ORION:** Darf man aufgrund des viel grösseren Wirkungsgrades der FKW sagen, dass die Wirkung von CO<sub>2</sub> bislang massiv überschätzt wurde?

**PETER:** Nein, wieso sagen Sie das? Die Wichtigkeit des CO<sub>2</sub> kann derzeit leider kaum «überschätzt» werden. Umgekehrt sollte man die Wirkung anderer Treibhausgase – Methan, Lachgas, Ozon und eben der halogenierten Kohlenwasserstoffe, wie den FKW – nicht unterschätzen. Aber die Wichtigkeit des CO<sub>2</sub> wird dadurch leider nicht geringer.



**ORION:** Die Klimadebatte wird ja gerne am CO<sub>2</sub> aufgehängt, weil sich – das ist ja ein offenes Geheimnis – viel Geld damit verdienen lässt. Könnte die Erkenntnis, dass die FKW wesentlich schädlicher (wirkungsvoller) sind, die ganze Klimadiskussion nun in eine völlig neue Richtung lenken?

**PETER:** In der Tat sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen eng mit Energieproduktion, Wärmeproduktion und Mobilität verbunden, also dem Rückgrat der modernen Industriegesellschaften. Andererseits kann ein Kilogramm bestimmter FKW nach der Freisetzung in die Atmosphäre einen Treibhauseffekt nach sich ziehen, der um einige tausendmal effizienter ist, als der eines Kilogramms CO<sub>2</sub>. Daher ist die Regulierung ein ernstes Anliegen. Während wir jährlich etwa 30 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> emittieren, sind es nur etwa 0.6 Milliarden Tonnen FKW ausgedrückt als «CO<sub>2</sub>-Äquivalent», d. h. schon mit der höheren Treibhauseffizienz multipliziert. Aufgrund der viel geringeren Emissionsmengen haben FKW also gegenwärtig einen Nettoeffekt, der nur etwa 2% der CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt. Kein Zweifel also, dass wir bei dem momentanen Stand der Dinge dem CO<sub>2</sub> die höchste Aufmerksamkeit schenken müssen. Das Zusatzprotokoll von Kigali vermeidet aber, dass FKW-Emissionen unkontrolliert anwachsen und in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts für 0.5 °C oder etwa 20 % des Temperaturanstiegs verantwortlich sind. Die Unterscheidung von Gegenwart und Zukunft ist hier wichtig.

**ORION:** Bei der Klimadiskussion werden ja oft gerne Dinge vermischt. Durch die Medien gewinnt man den Eindruck, als werde das CO<sub>2</sub> als eine Art «Etikett» für unseren Ressourcen-Verschleiss vorgeschoben. Können Sie dieses Bild bestätigen oder berichtigen?

**PETER:** Natürlich gibt es viele ernste Probleme, denen wir diesen Planeten im Anthropozän aussetzen: Ressourcen-Übernutzung, bedrohliche Kontamination von Boden und Wasser, Reduktion der Artenvielfalt, Verluste von Ökosystemdienstleistungen, etc.. Und aus alle dem resultieren Risiken für die menschliche Gesellschaft. Spielt das «CO<sub>2</sub>-Problem» dabei die Rolle einer «Etikette» oder eines Platzhalters? Viel-

leicht. Aber das hat natürlich auch einen Grund. Sind wir tatsächlich im Begriff, durch unser eigenes Verhalten eine gefährliche und eine für viele Generationen irreversible Klimaveränderung einzuleiten? Eine Veränderung, deren Konsequenzen wir erst langsam zu erkennen beginnen? Falls ja, dann ist die Anreicherung des CO<sub>2</sub> mehr als nur eine «Etikette», sondern tatsächlich eine der grössten zurzeit bekannten Umweltherausforderungen. Es sei denn, die Einschätzung als gefährliche Klimaveränderung wäre völlig falsch. Nur leider scheint es wenig Spielraum für eine solche «Klima-skepsis» zu geben, ausser wir würden unsere wissenschaftliche Kenntnis und Einsicht leugnen. Sich dieser Herausforderung aktiv zu stellen, ist eine grosse Aufgabe. Kigali tut seinen Teil dafür.

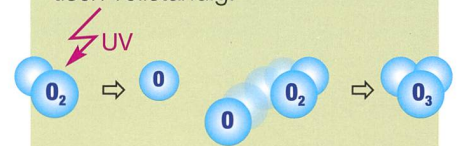
**ORION:** Was ist nun geplant, dass die FKW gedrosselt werden? Da kommt ja einiges Neues auf die Politik zu.

**PETER:** Ja, stimmt. Aber genau die Umsetzung ihrer Entscheidungen ist es, worin das Montrealer Protokoll und die Zusatzprotokolle exzellent sind. Die Entscheidung von Kigali erfordert neue Technologien, und die Klarheit der Entscheidung setzt wirtschaftliche Anreize zu deren Entwicklung. Die Entscheidung braucht Investitionen, die schwächeren Staaten für die Umrüstung zur Verfügung gestellt werden, wofür das Montrealer Protokoll einen erprobten Mechanismus besitzt. Und die Entscheidung ist bindend, also wird ihre Befolgung auch überprüft. Dies sind gut eingespielte Mechanismen. Ihnen setzt die Staatengemeinschaft mit dem Pariser Klimaabkommen einen neuen Mechanismus an die Seite, und wir hoffen, dass auch dieser sich bewähren wird. Mit dem Zusatzprotokoll von Kigali werden die Chancen zum Erreichen der Klimaziele von Paris jedenfalls gewahrt und die Umsetzung ein gut Stück nach vorne gebracht!

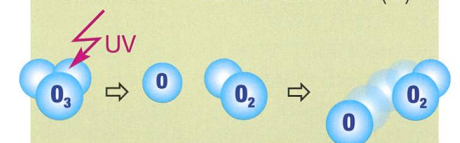
**Thomas Baer**  
Bankstrasse 22  
CH-8424 Embrach

## Die FCKW und das stratosphärische Ozon

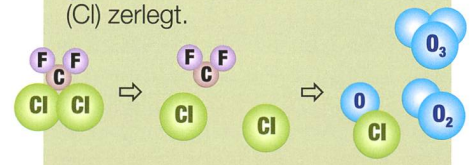
In der unteren Stratosphäre verzeichnen wir in 15 bis 25 km Höhe (über den gemässigten und hohen Breiten) und zwischen 20 und 30 km über dem Äquator eine erhöhte Konzentration des Spurengases Ozon (O<sub>3</sub>). Die Ozonschicht schützt uns natürlich vor der gefährlichen UV-Strahlung. UV-c wird in 35 km Höhe praktisch vollständig absorbiert, während UV-b in 15 km Höhe «geschwächt», aber nicht vollständig absorbiert wird. UV-a erreicht die Erdoberfläche praktisch vollständig.



Ozon (O<sub>3</sub>) entsteht, wenn ultraviolette Sonnenlicht (Wellenlänge kleiner als 240 nm) auf ein Sauerstoffmolekül (O<sub>2</sub>) trifft. Das freie Sauerstoffatom (O) reagiert schnell mit O<sub>2</sub> und bildet Ozon (O<sub>3</sub>). Das Ozon wiederum reagiert auch mit ultraviolett Licht und wird zu einem zweiatomigen molekularen Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und einem freien Sauerstoffatom (O).



Die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FKW) werden durch UV-Strahlung aus dem Sonnenspektrum gebrochen und in Chloratome (Cl) zerlegt.



Die Chloratome «brechen» die Ozon-Moleküle und machen diese dadurch wirkungslos. Die Ozonschicht dünnte so in den 1980er-Jahren zusehends aus. Zwar ist die Ozon-Situation allmählich auf dem Weg der Besserung, Chloratome können aber Hunderte von Jahren in der Stratosphäre «überleben». Das Verbot von FCKW zeigt Wirkung, doch die FKW sollen nicht unwesentlich schädlicher sein, nicht beim Ozonabbau, dafür in Sachen Erderwärmung. (Red)