

MIPAS entdeckt Salpetersäurewolken über der Antarktis

M. Höpfner, H. Fischer, IMK

Die Ozonschicht der Erde befindet sich in einer Höhe von 20–30 km in der Stratosphäre und absorbiert die für Lebewesen schädliche UV-Strahlung. Mit der Entdeckung des Ozonlochs über der Antarktis und dessen wissenschaftlicher Erklärung vor 20 Jahren [1, 2, 3] ist deutlich geworden, dass diese Schutzschicht ernsthaft gefährdet ist: in der Stratosphäre reicherte sich Chlor durch vom Menschen hergestellte Fluorchlorkohlenwasserstoffe an. Unter normalen Bedingungen ist Chlor in Form von Salzsäure (HCl) und Chlornitrat (ClONO_2) gebunden und kann kein Ozon zerstören. In der Polarnacht werden jedoch in der arktischen und insbesondere der antarktischen Stratosphäre in Höhen von 15 bis nahezu 30 km Temperaturen von unter -78 °C erreicht, die die Bildung polarer stratosphäri-

scher Wolken ermöglichen. Auf den Oberflächen dieser Wolken bilden sich aus Salzsäure und Chlornitrat molekulares Chlor (Cl_2) und Salpetersäure (HNO_3). Das molekulare Chlor wird im Frühjahr bei Sonnenaufgang über dem Pol durch das Licht aufgespalten und kann in dieser „aktiven“ Form sehr effektiv Ozon abbauen. In bestimmten Höhenbereichen kommt es dadurch zu einer beinahe vollständigen Zerstörung von Ozon. Ein solcher Prozess kann allerdings nur ablaufen, wenn das aktive Chlor nicht zuvor wieder durch Stickoxide in Chlornitrat überführt und somit passiviert wird. Hier kommen polare stratosphärische Wolken ein weiteres Mal ins Spiel: durch Aufnahme von Salpetersäure werden Stickoxide aus der Stratosphäre entfernt (Denitrifizierung)

und stehen am Ende des Winters nicht mehr für eine Passivierung des Chlors zur Verfügung.

Aufgrund ihrer herausragenden Rolle bei der Zerstörung der Ozonschicht wurden die polaren stratosphärischen Wolken zu einem wichtigen Untersuchungsobjekt. Mittlerweile ist bekannt, dass sie sowohl aus Wassereis, aus unterkühlten flüssigen Tröpfchen von Wasser/Schwefelsäure/Salpetersäure ($\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$) und aus festen salpetersäurehaltigen Teilchen bestehen können.

Gerade die Wolken des letztgenannten Typs sind es, die für die Denitrifizierung der Stratosphäre verantwortlich sind, aber noch die meisten Rätsel hinsichtlich ihrer genauen Zusammensetzung und Entstehung aufgeben [4].



Abb. 1: Polare stratosphärische Wolken über McMurdo, Antarktis (Quelle: Cherie Ude).

Mit dem Start des vom IMK konzipierten und wissenschaftlich betreuten Michelson Interferometers für Passive Atmosphärische Sondierung (MIPAS) auf dem europäischen Umweltsatelliten Envisat (Abb. 2) [5] ist es erstmals überhaupt möglich, die Entwicklung und Zusammensetzung von polaren stratosphärischen Wolken zeitlich und räumlich kontinuierlich – sogar in der Polarnacht – zu untersuchen.

Auf seiner polaren Umlaufbahn misst MIPAS die von der Erdatmosphäre emittierte infrarote Strahlung mit hoher spektraler Auflösung. Durch Vergleiche zwischen MIPAS-Messungen und umfangreichen Simulationen mit einem am IMK entwickelten Strahlungstransportprogramm gelang es, neben den anderen Typen auch po-

lare stratosphärische Wolken aus Salpetersäuretrihydrat-Kristallen in weiten Bereichen der winterlichen Stratosphäre eindeutig nachzuweisen [6].

Die hier entwickelten Methoden zur Unterscheidung der jeweiligen Zusammensetzung ermöglichten es, die Entwicklung dieser hohen Wolken über der Antarktis ab ihrem ersten Auftreten Ende Mai 2003 zu verfolgen [7]. Dabei ergab sich ein überraschendes Bild (Abb. 3): obwohl die Temperaturen in der Stratosphäre schon derart tief waren, dass sich Salpetersäuretrihydrat-Kristalle hätten bilden können, maß MIPAS drei Wochen lang nur flüssige Teilchen. Dann traten plötzlich am 10./11. Juni erste Wolken aus Salpetersäuretrihydrat im Bereich der antarktischen Halbinsel auf und breiteten

sich in den darauf folgenden Tagen wie ein Gürtel um den antarktischen Kontinent aus. In den folgenden Monaten bis zum Ende des antarktischen Winters waren Salpetersäuretrihydrat-Partikel immer vorhanden und bildeten häufig den am weitesten verbreiteten Wolkentyp.

Die Erklärung dieses abrupten Erscheinens von Salpetersäuretrihydrat-Wolken lieferten Simulationsrechnungen der Wolkenbildung in Kombination mit einem räumlich hoch aufgelösten Modell der Ausbreitung von Schwerewellen über der Antarktis: durch starke Winde in Bodennähe werden beim Überströmen der Gebirgsrücken auf der antarktischen Halbinsel Wellen ausgelöst, die sich in der Atmosphäre nach oben ausbreiten. Um den 11. Juni 2003 führ-



Abb. 2: MIPAS auf dem Umweltforschungssatelliten Envisat (Quelle: ESA).

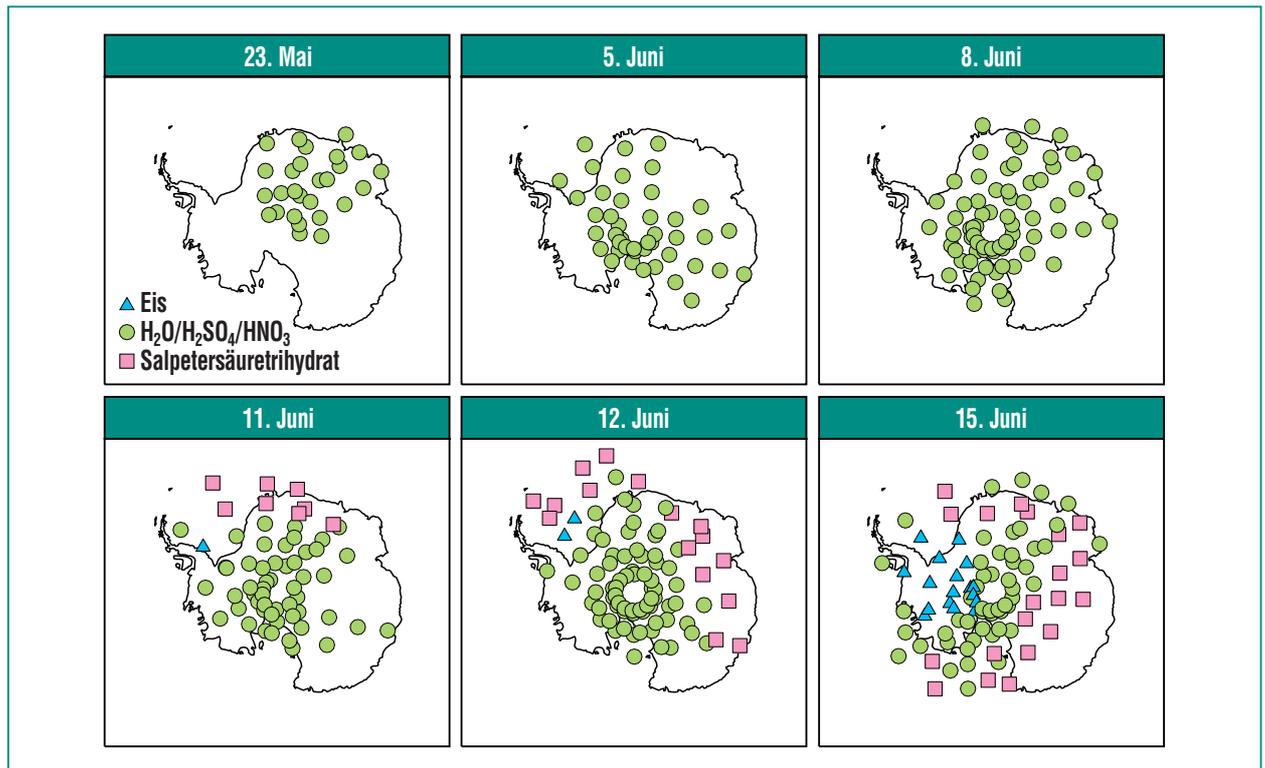


Abb. 3: MIPAS-Messungen der Zusammensetzung polarer stratosphärischer Wolken über der Antarktis 2003.

te dies zu einer Temperaturerniedrigung in der unteren Stratosphäre um bis zu 15 °C. Bei solch tiefen Temperaturen entstanden polare stratosphärische Wolken aus Wassereis, auf deren Oberfläche sich Salpetersäuretrihydrat bilden konnte. Bei Verlassen des Gebiets der Wellenstörung verdampfte das Eis

und Salpetersäuretrihydrat-Kristalle blieben übrig.

Diese Entdeckungen weisen auf eine wesentlich größere Bedeutung von Schwerewellen für die Entwicklung polarer stratosphärischer Wolken über den Polarregionen hin als bisher allgemein angenommen wurde. Sie dienen dazu,

vorhandene atmosphären-chemische Modelle zu verbessern und somit genauere Vorhersagen über die Entwicklung der Ozonschicht im 21. Jahrhundert machen zu können.

Literatur

- [1] J.C. Farman, B.G. Gardiner, J.C. Shanklin, *Nature* 315 (1985) 207-210
- [2] S. Solomon, R.R. Garcia, F.S. Rowland, D.J. Wuebbles, *Nature* 321 (1986) 755-758
- [3] O.B. Toon, P. Hamill, R.P. Turco, J. Pinto, *Geophys. Res. Lett.* 13 (1986) 1284-1287
- [4] M.A. Tolbert, O.B. Toon, *Science* 292 (2001) 61-63
- [5] H. Fischer, H. Oelhaf, *Appl. Opt.* 35 (1996) 2787-2796
- [6] M. Höpfner, B.P. Luo, P. Massoli, F. Cairo, R. Spang, M. Snels, G. Di Donfrancesco, G.P. Stiller, T. von Clarmann, H. Fischer, U. Biermann, *Atmos. Chem. Phys.* 6 (2006) 1201-1219
- [7] M. Höpfner, N. Larsen, R. Spang, B. Luo, J. Ma, P. Massoli, U. Biermann, D. Broutman, F. Cairo, S.D. Eckerman, H. Fischer, B. Knudsen, G.P. Stiller, S. Svendsen, T. von Clarmann, *Atmos. Chem. Phys.* 6 (2006) 1221-1230