

Hat die Erholung der Ozonschicht begonnen ?

Wolfgang Steinbrecht, Hans Claude, Ulf Köhler
Deutscher Wetterdienst, Hohenpeißenberg
E-mail: wolfgang.steinbrecht@dwd.de

1. Einleitung

Bereits in den 1980er Jahren wurden für den Höhenbereich um 40 km die deutlichsten Auswirkungen von Chlor aus anthropogenen Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen auf die Ozonschicht vorhergesagt (Brühl and Crutzen, 1988). Seit Ende der 1980er Jahre konnte die vorhergesagte starke Ozonabnahme auch nachgewiesen werden, z.B. mit dem Laser Radar (Lidar) am Hohenpeißenberg (Claude et al., 1994).

2. Ergebnisse

In Höhen um 40 km ist bereits genügend atomarer Sauerstoff vorhanden, um den katalytischen *ClO* Ozonabbauzyklus wirkungsvoll ablaufen zu lassen. Die photochemische Lebensdauer von Ozon ist dort kurz, im Bereich von einem Tag, die Ozonkonzentration ist eng an photochemische Reaktionen und damit auch an den Chlorgehalt gekoppelt. Dementsprechend folgen die Ozon-Residuen in Abbildung 1 auch recht gut dem (invertierten) langfristigen Verlauf des atmosphärischen Chlorgehalts (Steinbrecht et al., 2006). Dieser ist seit etwa 1996

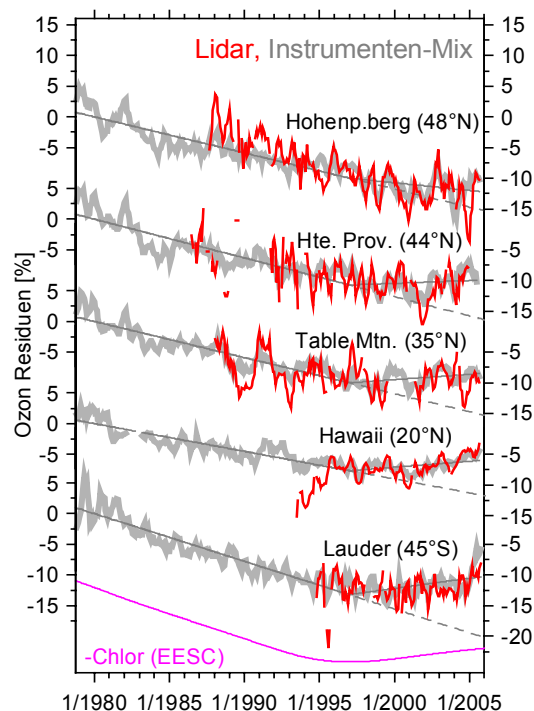


Abbildung 1: Ozonresiduen für 35 bis 45 km Höhe an 5 Stationen des Network for the Detection of Atmospheric and Climate Change (NDACC, vormals NDSC). Daten wurden zur besseren Darstellung über 5 Monate gleitend gemittelt. Die Residuen beruhen auf Monatmitteln, von denen mittlerer Jahresgang, sowie Schwankungen durch QBO und 11-jährigen Sonnenzyklus abgezogen wurden (Steinbrecht et al., 2006). Instrumenten-Mix: Mittel aus bodengebundenen Messungen mit Lidar und Mikrowellenradiometern, sowie aus SAGE, HALOE, und SBUV Satellitendaten, jeweils soweit vorhanden. Chlordaten beruhen auf Effective Equivalent Stratospheric Chlorine (Newman et al., 2006).

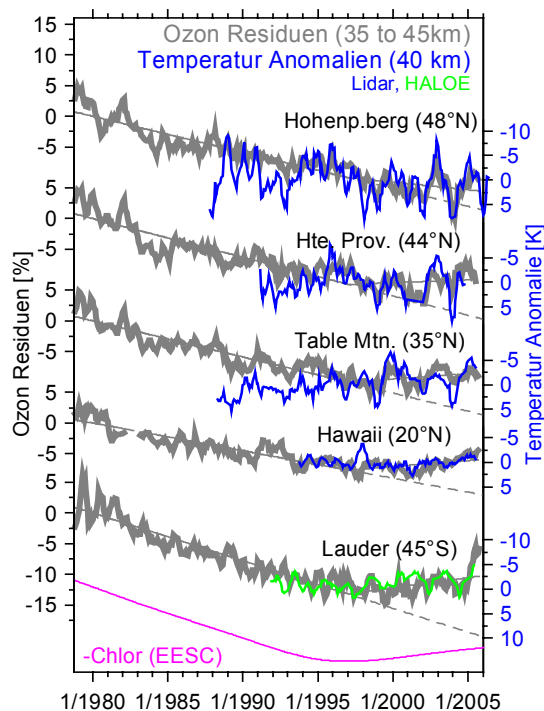


Abbildung 2: Wie Abb. 1, aber zusätzlich sind noch Temperaturanomalien in 40 km Höhe gezeigt, aus Lidarmessungen (blau) oder HALOE Satellitendaten (grün). Die Temperaturanomalien beruhen auf Monatsmitteln, von denen der mittlere Jahresgang abgezogen wurde.

kaum mehr angestiegen, und hat zwischen 1996 und 2002 sein Maximum überschritten (Rinsland et al., 2003). Dem Chlorverlauf folgend, nimmt vor allem bei den südlicheren Stationen auch das Ozon nicht mehr so stark ab, wie noch vor 1996. Bei fast allen Stationen liegen die Ozonresiduen in den letzten Jahren deutlich oberhalb der extrapolierten Trendgeraden von vor 1996. Dies deutet auf eine beginnende Erholung der Ozonschicht hin (Newchurch et al., 2003).

Allerdings zeigt Abbildung 1 auch deutliche Unterschiede zwischen den Stationen. Während Lauder auf der Südhalbkugel, oder Hawaii am Nordrand der Tropen, nur geringe Schwankungen und deutliche Erholungstendenzen zeigen, so treten über Hohenpeißenberg erheblich Schwankungen auf. Eine Erholungstendenz ist dort kaum zu erkennen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Temperaturabhängigkeit der Abbaureaktion von Ozon mit atomarem Sauerstoff ($O_3 + O \rightarrow 2 O_2$). Diese Reaktion läuft bei niedrigeren Temperaturen langsamer ab. Effektiv führt damit eine Abkühlung um 1 K zu etwa 1% höheren Ozonwerten, eine Erwärmung um 1 K zu 1% niedrigeren Ozonwerten. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 2 gut zu erkennen. Neben den Ozonresiduen sind dort auch die Temperaturschwankungen an den verschiedenen Stationen dargestellt, allerdings auf invertierter Skala. Ganz offensichtlich hängt ein erheblicher Teil der Ozonschwankungen eng mit den beobachteten Temperaturschwankungen zusammen.

Mit zunehmender nördlicher Breite, nimmt auch die Amplitude der Temperaturschwankungen zu. Zum Beispiel über Hohenpeißenberg werden Temperaturschwankungen in 40 km Höhe stark vom winterlichen Polarwirbel geprägt. Ein kalter stabiler Polarwirbel, wie in den 1990er Jahre, oder in den Wintern 2002/2003 oder 2004/2005 geht mit niedrigen Temperaturen und damit auch mit hohen Ozonwerten in der oberen Stratosphäre über Mitteleuropa einher. Der Verlauf der Ozonwerte über Hohenpeißenberg, wird, photochemisch, deutlich von den herrschenden Temperaturen geprägt. Ein stärkerer Polarwirbel bedeutet aber auch weniger Meri-

dionaltransport. Damit ist auch denkbar, dass sich ozonreiche Luft aus den Tropen z.B. über Hohenpeißenberg „staut“. Eine genauere Quantifizierung dieser Effekte ist wünschenswert!

3. Zusammenfassung

Temperaturschwankungen spielen gerade in nördlichen Breiten eine wesentliche Rolle bei der beginnenden Erholung der Ozonschicht in der oberen Stratosphäre. Obwohl dies z.B. in den Messreihen des Networks for the Detection of Atmospheric and Climate Change (NDACC) deutlich zu erkennen ist, steht eine genaue Quantifizierung des Einflusses noch aus. Der Hauptmechanismus ist wohl die inverse Temperaturabhängigkeit der Ozonabbaureaktion mit atomarem Sauerstoff. Transporteffekte können aber auch eine Rolle spielen. Sowohl wegen der zu erwartenden weiteren Chlorabnahme, als auch wegen der erwarteten Abkühlung der Stratosphäre ist deswegen in der oberen Stratosphäre in Zukunft mit höheren Ozonwerten zu rechnen. Es gibt hier also einen weiteren Kopplungsvorgang zwischen Ozon- und Klimaänderung, dessen zukünftige Entwicklung man sicher im Auge behalten sollte.

Literatur

Claude H., F. Schönborn, W. Steinbrecht, und W. Vandersee, 1994: New evidence for ozone depletion in the upper stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 2409-2412, doi: 10.1029/94GL02590.

Newchurch M. J., E.-S. Yang, D. M. Cunnold, G. C. Reinsel, J. M. Zawodny, J. M. Russell III, 2003: Evidence for slowdown in stratospheric ozone loss: First stage of ozone recovery, *J. Geophys. Res.*, **108**, 4507, doi:10.1029/2003JD003471.

Rinsland C.P., et al., 2003: Long-term trends of inorganic chlorine from ground-based infrared solar spectra: Past increases and evidence for stabilization, *J. Geophys. Res.*, **108**, 4252, doi:10.1029/2002JD003001, 2003.

Steinbrecht W., et al., 2006: Long-term evolution of upper stratospheric ozone at selected stations of the Network for the Detection of Stratospheric Change (NDSC), *J. Geophys. Res.*, **111**, D10308, doi:10.1029/2005JD006454.