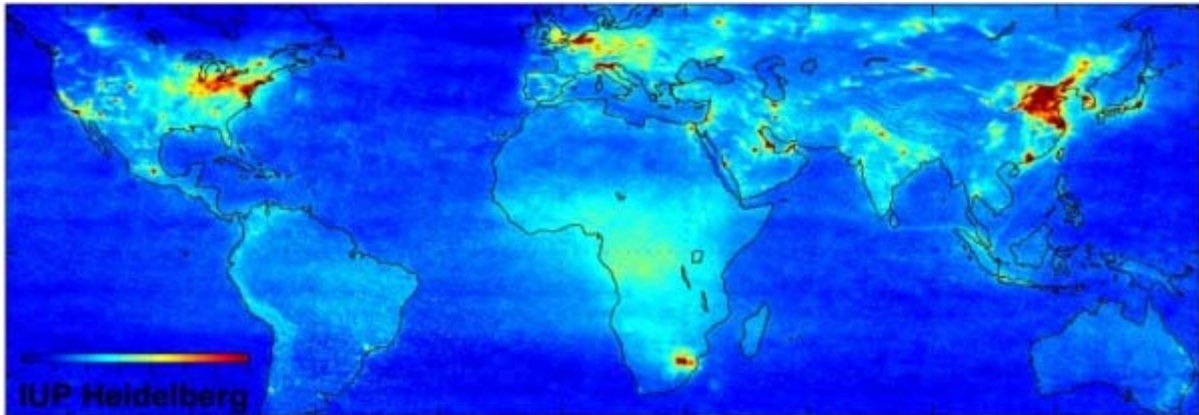


Forschung

Hintergrundozon und Ferntransport von Stickoxiden

Stickoxide sind trotz verstärkter Maßnahmen zur Luftreinhaltung in den letzten Jahrzehnten immer noch ein Problem in unserer Umgebungsluft. Mit ihnen einher geht das Ozonproblem in Bodennähe. Eine Ursache sind Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid in den Ballungsräumen. Unabhängig von Spitzenkonzentrationen gibt es aber auch „Hintergrundwerte“ für Ozon, die derzeit steigen.

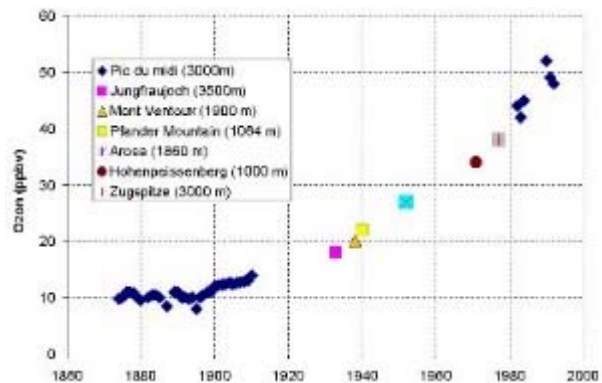


1. Karte der mittleren Stickstoffdioxidbelastung der Luft. (Quelle: IUP Heidelberg, ESA, 2004)
Der vom Menschen verursachte NO₂-Ausstoß geht hauptsächlich auf Kraftwerke, die Schwerindustrie und den Verkehr zurück. Außerdem entsteht das Gas beim Verbrennen von Biomasse. Doch auch auf natürliche Art und Weise entsteht Stickstoffdioxid - beispielsweise bei Blitzen oder durch Bodenbakterien.



Wie messen wir Hintergrund-Ozon?

Um die Konzentration an Hintergrund Ozon richtig zu messen, ist es wichtig Luftmassen auszuwählen, die von lokalen oder regionalen Einflüssen weitgehend unberührt geblieben. Dies kann z.B. erreicht werden, indem man erhöhte Konzentrationen von Indikatoren für Luftverschmutzung überwacht, wie z.B. Kohlenmonoxid oder indem man durch Computermodelle errechnet, aus welchen Regionen die Luftmassen stammen. Enthält die Luft jedoch Verschmutzungen oder nahm sie Ihren Weg über dicht besiedeltes Gebiet, so können die entsprechenden Ozonwerte nicht mehr als Hintergrund-Ozon eingestuft werden. Eine Messstation, an der Hintergrund-Ozonwerte gemessen werden, ist die von Mace Head an der Westküste Irlands (siehe ACCENT Magazin Nr. 2 – Forschung).

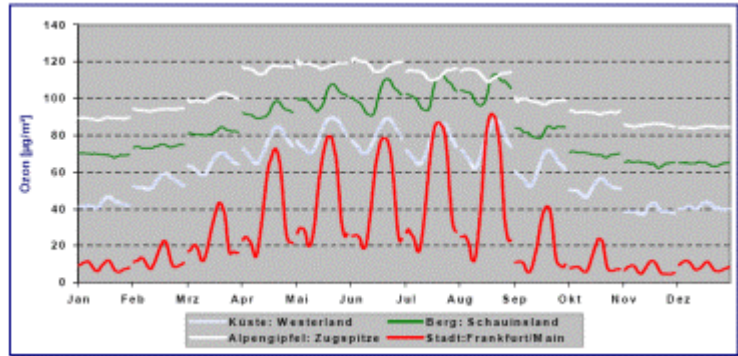


2. Die Konzentration troposphärischen Ozons ist seit den ersten Messungen um das Jahr 1870 beständig gestiegen. Das Diagramm zeigt die Ozonmenge in Teilen Ozon an einer Milliarde Teilen Luft Volumen (parts per billion volume = ppbv).
Zusammenstellung der Daten: Valérie Gros, nach Marengo et al. 1992, EGS Assembly Edinburgh 1992



Was ist Hintergrund-Ozon?

Die Ozonkonzentrationen in Stadtnähe zeigen insbesondere an heißen Tagen im Sommer ein ausgeprägtes auf und ab, das von den Spitzenwerten der Stickoxide im Straßenverkehr abhängt. Wir bezeichnen dies als einen Tagesgang.



4. Mittlere monatliche Tagesgänge von Ozon an den UBA-Stationen Zugspitze, Schauinsland, Westerland und Frankfurt/Main zwischen 1995 und 2001. Quelle: Umweltbundesamt Deutschland

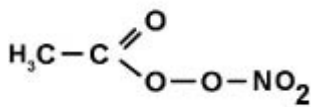


4. BAE146 Atmosphärenforschungsflugzeug; für weitere Details besuche bitte die Webseite der Facility for Airborne Atmospheric Measurements, <http://www.faam.ac.uk/> Am Itop-Programm waren mehrere ACCENT Partner beteiligt.



Beobachtung von Ferntransport

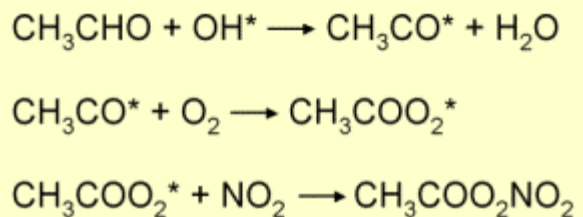
Es wurde zunehmend deutlicher, dass der Transport von Verschmutzungen rund um die Erde einen großen Einfluss auf die Hintergrundozon-Konzentration hat, sowohl in Europa als auch anderswo. Um den Transport von Ozon und der Substanzen zu untersuchen, aus denen Ozon gebildet wird, führte ein speziell ausgerüstetes britisches Forschungsflugzeug im Sommer 2004 einige Flüge über dem Atlantik aus.



5. Peroxyacetylnitrat PAN

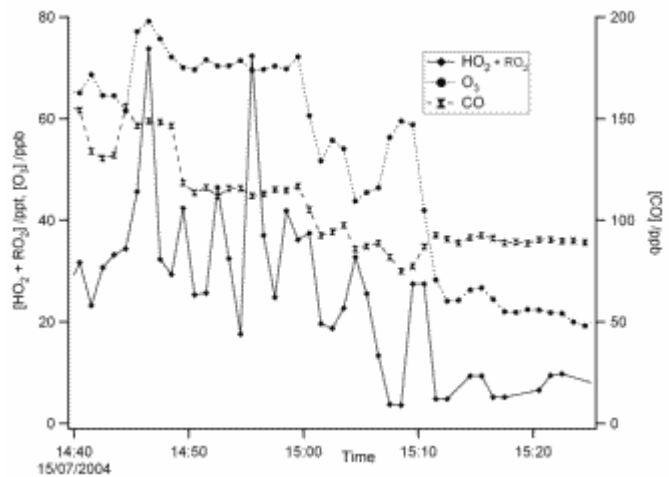
Beim Ferntransport spielt eine langlebige Klasse von Stickstoffverbindungen eine Rolle, die für kurzzeitigen Ozonsmog kaum von Bedeutung ist: organische Stickoxide. Organische Substanzen in der Luft reagieren in mehreren Schritten unter anderem mit einfachen Stickoxiden wie NO_2 zu organischen Stickoxiden wie Peroxyacetylnitrat (PAN), die bei den kalten Temperaturen in mittleren Höhen recht langlebig sind.

Peroxyacetylnitrat z.B. überlebt bei 25°C etwa 2 Tage, bei -23°C aber etwa 150 Tage. In dieser Zeit kann es in höheren Luftschichten mit dem Wind um die halbe Welt transportiert werden und irgendwann bei seinem Zerfall das gebundene NO_2 wieder abgeben. Abgase aus anderen Regionen der Welt wirken sich somit über den Ferntransport im Hintergrundozon aus.



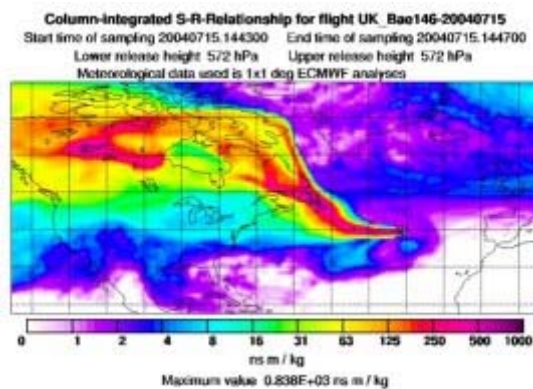
6. Bildung von Peroxyacetylnitrat aus Acetaldehyd

Während des ITOP Experimentes (Intercontinental Transport of Ozone and Precursors) wurden unter anderem CO, Ozon und Peroxiradikale gemessen. ($\text{HO}_2 + \text{RO}_2$). Ein Reihe an verschmutzten Luftmassen wurde durchflogen, in denen die Konzentrationen aller drei Substanzklassen höher war als außerhalb des verschmutzten Bereiches (siehe Abbildung unten). Die Messung von Peroxiradikalen sagt uns, dass die Luft photochemisch aktiv ist. Dies ist nur ein Beispiel für Transport über Kontinente hinweg, nicht nur von Ozon selbst sondern von Luftmassen, die Substanzen mit sich bringen, die das Hintergrundozon erhöhen.

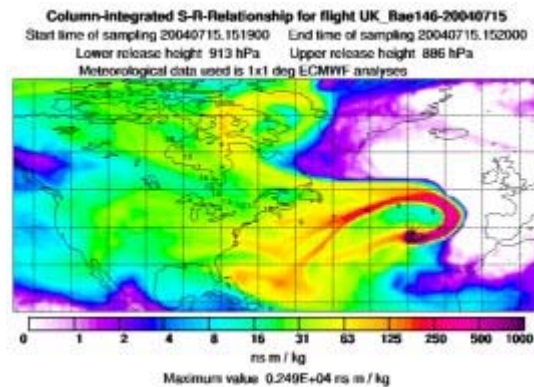


5. Daten aus der Flugzeugmessung: Vor 15:00 sind die Konzentrationen von Peroxiradikalen, Kohlenmonoxid und Ozon alle höher als nach 15:10. Während dieser Zeit durchkreuzte das Flugzeug einen verschmutzten Luftmassenbereich, die aus den Waldbrandgebieten Alaskas stammte.

Abbildung von Alex Parker, University of Leicester, ACCENT partner



6. Eine Modellsimulation zeigt, dass die Luft, die von der BAE146 in der Zeit 14:43 – 14:47 am 15. Juli 2004 gesammelt wurde, aus Alaska stammte, wo Waldbrände herrschten und Vorläufersubstanzen für Ozon produzierten. Abbildung: Alex Parker, University of Leicester, ACCENT Partner

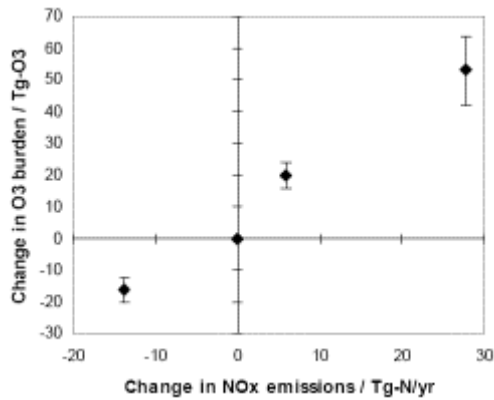


7. Die Modellsimulation zeigt, dass die Luft, die von der BAE146 in der Zeit 15:19 – 15:20 am 15. Juli 2004 gesammelt wurde, vom Atlantischen Ozean her stammte. Abbildung: Alex Parker



Schlußfolgerungen zum Ferntransport

Wenngleich die Maßnahmen zur Reduzierung der Ozon-Spitzenwerte erfolgreich waren, so sind die Hintergrundkonzentrationen des Ozons in Europa auch durch den Transport des Ozons selbst und seiner Vorläufersubstanzen bestimmt. Die Verschmutzungen, die auf der einen Seite der Welt freigesetzt werden, können die Luftqualität auf der anderen Seite der Welt beeinträchtigen.



8. Mittlere Änderung in der durchschnittlichen troposphärischen Ozonbelastung aufgetragen gegen die weltweiten Stickoxidemissionen (NOx) für drei verschiedene Modellszenarien.



Ausblick in die Zukunft

Ozonkonzentrationen hängen von Stickoxidemissionen ab, wie der Graph auf der linken Seite zeigt. Aber wie wir sahen, nicht nur von den Emissionen in unserer unmittelbaren Nähe. Daher ist es wichtig zu wissen, wie sich die weltweiten Emissionen und das Hintergrundozon entwickeln.

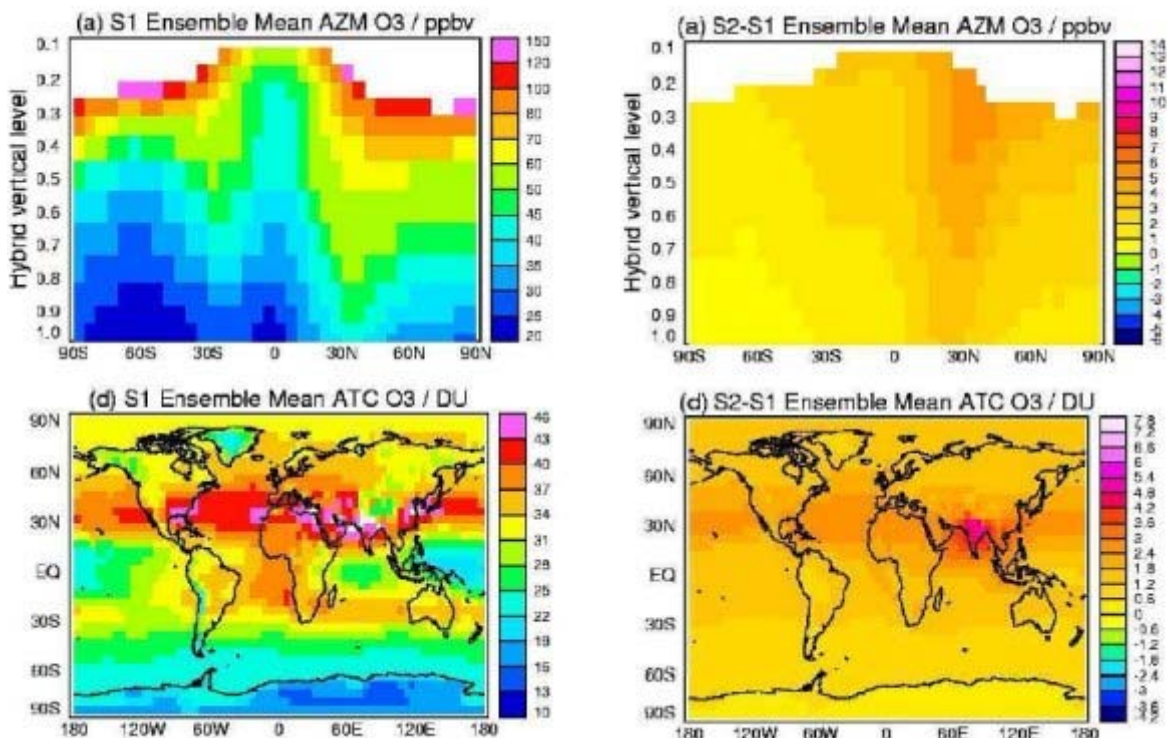
Um diese Frage zu beantworten koordinierte das ACCENT Forschungsnetzwerk eine gemeinsame Modellrechnungsstudie, in der 25 Computermodelle die Trends bis zum Jahr 2030 simulierten.

Die Ergebnisse reichen im weltweiten Mittel von einer Senkung um 5% bis zu einem Anstieg von 6% oder sogar 15%. Dies ist ein weiter Unsicherheitsbereich. Er wird jedoch verständlich, wenn wir bedenken, dass über die Unsicherheit der menschlichen Emissionen hinaus auch die Auswirkungen des Klimawandels für unsere Atmosphäre eine große Rolle spielen. Gehen wir davon aus, dass die mittlere Temperatur auf der Erde im Jahr 2030 um ca. 0,7°C höher liegen wird als 2000, so können sich Dynamik und Reaktionsgeschwindigkeiten in der Chemie der Atmosphäre ändern.

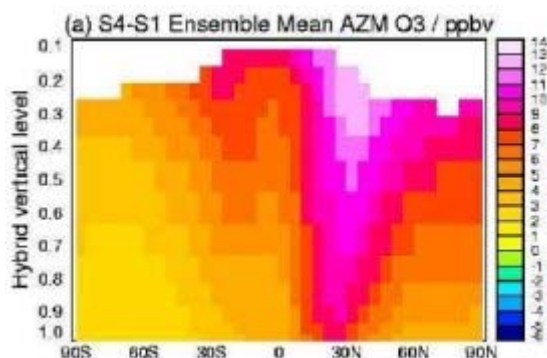
Zum Beispiel Stickoxid Emissionen aus Blitzentladungen (die wichtigste natürliche Quelle) während tropischer oder subtropischer Gewitter sind schwer abzuschätzen, da sich die Konvektion, d.h. der Auftrieb warmer Luft, ändert. Auch die Pflanzen können in einer warmen Welt aktiver werden und mehr organische Verbindungen wie Isopren freisetzen, die wiederum den Haushalt organischer Stickoxide verändern.

Die folgenden Karten zeigen Modellergebnisse.

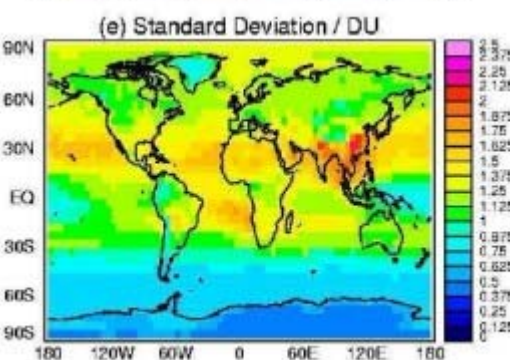
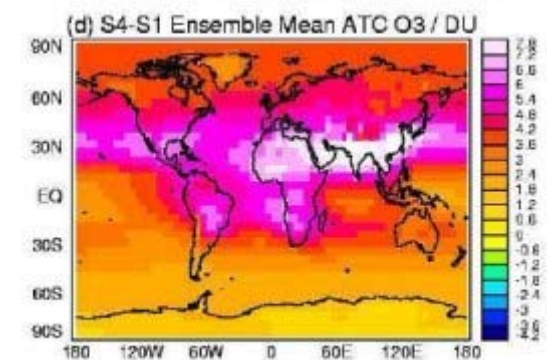
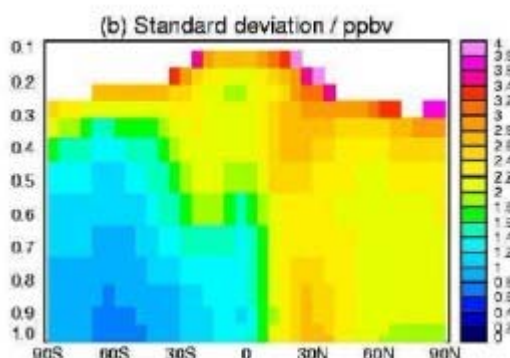
Jede Karte kann zum Vergrößern angeklickt werden! (60 – 80 K)



9. Die Grafik gibt die gegenwärtige Ozonverteilung für die Troposphäre wieder. Oben ist eine vertikale Verteilung vom Erdboden bis zur Tropopause gezeigt vom Südpol 90°S bis zum Nordpol 90°N. Wir sehen, dass die relative Menge an Ozon in der Nähe der Tropopause am höchsten ist, da hier die Ozonschicht beginnt. Wir sehen auch, dass am Erdboden größere Ozonmengen in Breiten zwischen 40 und 50° Nord auftreten als z.B. über den Ozeanen der südlichen Erdhalbkugel. In den Tropen und Subtropen ist die Ozonbildung grundsätzlich recht ausgeprägt. Hinzu kommen die menschlichen Emissionen in den industrialisierten Gebieten.



10. Die Karte zeigt für ein Zukunftsszenario den Unterschied der Ozonwerte zwischen 2030 und 2000. Insbesondere über Südasien (Indien) steigen die Ozonmengen stark. Durch den globalen Transport von Stickstoffverbindungen und eventuell stärkere Konvektion in den Tropen/Subtropen sind auch andere Regionen derselben Breite (20 – 30° Nord) betroffen.



11. Dieselbe Berechnung für den Unterschied zwischen 2000 und 2030 wurde durchgeführt für das IPCC Szenario A2 unter der Annahme dass es keine gesetzlichen Bestimmungen gibt, die die Stickoxid-Emissionen begrenzen. Hierdurch bekommen wir einen Eindruck, was geschehen würde, wenn es keinerlei Emissionsvorschriften gibt. Im Szenario von Abb. 10 ist dies in gewissem Maße für Indien angenommen.

12. Für das A2 Szenario sind die Unterschiede zwischen verschiedenen Modellen gezeigt (Standardabweichungen). Sie geben uns einen Eindruck davon, wo die größten Unterschiede zwischen den Modellen liegen: zum Beispiel in Höhe der Tropopause, wo verschiedene Modelle verschiedene Annahmen machen, wie weit das Ozon der Ozonschicht in die Troposphäre herunter kommt. Die Unterschiede sind jedoch auch groß im Bereich der Tropen und in Regionen mit starken menschlichen Emissionen.



Zusammenfassung:

Aufgrund eines Anstiegs in den Stickoxid-Emissionen in anderen Regionen der Welt, die durch menschlichen Einfluss und die globale Erwärmung verursacht sind, kann auch Europa von einem Anstieg der Hintergrundkonzentration des Ozons betroffen sein. Diese würde in der Größenordnung von einigen Milliardstel Anteilen (ppb) liegen. Verglichen mit den Werten an Tagen mit Ozonsmog, an denen oft um die 100 ppb in Bodennähe erreicht werden, ist dies nicht viel. Der Anstieg des Hintergrundwertes jedoch ruft einen zusätzlichen und durchaus relevanten Treibhauseffekt hervor, da Ozon ein stärkeres Treibhausgas ist, als Kohlendioxid.

Autoren:

Mark Jacob - TU Bergakademie Freiberg
Elmar Uherek - Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

Quellen:

Informationen im Teil Transport stammen aus:

Simmonds et al, Significant growth of background ozone at Mace Head, Ireland, 1987 – 2003, Atmospheric Environment 2004 (ACCENT associate, University of Bristol)

Parker et al, Peroxy Radicals and Ozone Photochemistry in Air Masses Undergoing Long-Range Transport, manuscript in preparation

Die Grafiken aus dem "Ausblick" Kapitel stammen aus:

Stevenson, D. S., et al. (2006), Multimodel ensemble simulations of present-day and near-future tropospheric ozone, J. Geophys. Res.

© ACCENT 2006 | www.accent-network.org
