

Von Ulrich Schumann

Luftverkehr und Atmosphäre



Die Auswirkungen der Emissionen des Luftverkehrs auf die Ozonkonzentration und auf das Klima der Erdatmosphäre wurden vom DLR von 1992 bis 1998 im Rahmen des vom BMBF geförderten nationalen Verbundforschungsprogramms „Schadstoffe in der Luftfahrt“ und einiger verwandter Forschungsprogramme untersucht. Dabei haben Experten der Verkehrsforschung und Antriebstechnik ebenso mitgewirkt wie Atmosphärenforscher. Die Palette der Methoden umfaßte Ver-

kehrskataster, Messungen an Triebwerken auf Prüfständen, Insitu-Messungen in der Atmosphäre mit Forschungsflugzeugen, Fernmessungen vom Satelliten und vom Boden aus und Modelle der Physik und Chemie der Atmosphäre auf allen Skalen, vom Triebwerk bis zum Globus. Zudem wurden einige der Prozesse, wie z.B. das Gefrieren von Eispartikeln oder chemische Reaktionen von Stickoxiden an Aerosolen, im Labor untersucht.

Die Emissionen des Luftverkehrs sind global zu betrachten. Der Luftverkehr beeinflusst die Ozonkonzentration in der Atmosphäre durch photochemische Ozonbildung in der Troposphäre und unteren Stratosphäre in Höhen bis ca. 18 Kilometer. Grundsätzlich kann der Luftverkehr auch zu einem Ozonabbau in der Stratosphäre beitragen, jedoch ist das nach dem Stand des Wissens nur für eine große Flotte von Überschallflugzeugen in Höhen oberhalb ca. 18 Kilo-

meter relevant. Der Luftverkehr beeinflusst zudem das Klima der Erdatmosphäre durch die Emission von Gasen und Partikeln, die entweder direkt (z.B. Kohlendioxid und Wasserdampf) oder indirekt den Strahlungshaushalt der Atmosphäre verändern. Indirekte Effekte entstehen durch Kondensstreifen und durch emittierte oder im Nachlauf erzeugte Partikel, die dünne Eiswolken (Cirren) bilden. Indirekte Effekte entstehen auch durch Stickoxide und andere Emissionen, die zur Bildung von Ozon beitragen. Zudem tragen Stickoxide aus dem

Luftverkehr im Reiseflug zu einer globalen Verminderung des Treibhausgases Methan bei.

Kohlendioxid ist ein Treibhausgas mit sehr langer Verweildauer in der Atmosphäre – teilweise mehr als 100 Jahre. Das Kohlendioxid hat daher viel Zeit, sich gleichmäßig über die Atmosphäre zu verteilen; es entfaltet seinen Strahlungsantrieb (Treibhauseffekt) unabhängig davon, ob es am Boden oder im Reiseflug emittiert wird. Der Luftverkehr emittiert z.Zt. ca. 440

Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr, was zwei Prozent aller zusätzlichen, vom Menschen verursachten Kohlendioxide ausmacht. Der bisherige Luftverkehr hat die Konzentration des Kohlendioxids in der Atmosphäre bis 1990 um 1 bis 1,5 ppmv erhöht, was 1,2 bis 1,9 Prozent des seit 1800 beobachteten Anstiegs ausmacht. Der zugehörige Strahlungsantrieb macht ca. 0,02 W/m² aus. Dieser Anstieg hat die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche bis heute um ca. 0,004 Kelvin erhöht, ein nicht meßbarer Beitrag. Bis 2050 wird in aktuellen Verkehrs-Szenarien mit einem

Wachstum des Treibstoffverbrauchs gegenüber 1992 um den Faktor 4, einer Zunahme der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 6 ppm und einer Zunahme des Strahlungsantriebs von ca. 0,1 W/m² gerechnet, wodurch die globale Mitteltemperatur an der Erdoberfläche um 0,03 Grad ansteigen könnte.

Die Stickoxide aus den Triebwerken der Verkehrsflugzeuge (siehe Bild 1) bewirken, daß die Stickoxidkonzentration regional um bis zu 30 Prozent (Bild 2) und die Ozonkonzentration in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre in mittleren nördlichen Breiten, wo die meisten Flugzeuge fliegen, um einige Prozent zunehmen (Bild 3). Die Ozonsäule wächst dadurch um bis zu 0,5 Prozent. Entsprechend wird die am Boden ankommende ultraviolette Strahlung von der Sonne geringfügig vermindert. Der globale Luftverkehr ist weder verantwortlich für eine Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht noch führt er zu einer wesentlichen Ozonzunahme in Bodennähe.

Ozon an der Tropopause vermindert die Abstrahlung von terrestrischer Strahlung in den Weltraum und erhöht dadurch den Treibhauseffekt der Erdatmosphäre. Die Prozesse, die zur Ozonproduktion führen, forcieren gleichzeitig den Abbau des Treibhausgases Methan. Dadurch wird die globale Klimastörung durch die Stickoxide aus dem Luftverkehr um einen Faktor zwei bis vier vermindert. Ozon hat eine mittlere Verweildauer von einigen Wochen bis Monaten in der Troposphäre, die Verweildauer von Methan liegt in der Größenordnung acht bis zehn Jahre. Die Ozonkonzentration variiert aufgrund von starken Transpor-

ten aus der Stratosphäre im Frühjahr und starker photochemischer Ozonerzeugung im Sommer stark mit der Jahreszeit. Die photochemischen Änderungen sind in der Nordhemisphäre deutlich größer als in der Südhemisphäre. Aufgrund der unterschiedlichen Verweildauer und der unterschiedlichen räumlichen und saisonalen Verteilung der beiden Gase kann das verminderte Methan den Klimaeffekt des zusätzlichen Ozons global teilweise ausgleichen, nicht aber regional.

Der durch die Gesamtheit der Emissionen des Luftverkehrs bewirkte Anstieg des globalen Strahlungsantriebs ist klein; er beträgt etwa drei bis vier Prozent der Strahlungsantriebe aller durch menschliche Aktivitäten verursachten Emissionen seit Mitte des letzten Jahrhunderts. Der Strahlungsantrieb aller Emissionen des Luftverkehrs ist jedoch etwa dreimal größer (möglicherweise zwei- bis viermal größer) als der Strahlungsantrieb aufgrund der Emissionen an Kohlendioxid aus Triebwerken allein. Wichtige Beiträge stammen hierbei außer von den Stickoxiden insbesondere von den Kondensstreifen. Dabei ist der Effekt einer veränderten Cirrusbewölkung infolge der emittierten und gebildeten Partikel (Ruß, Schwefelverbindungen, Wasserdampf u.a.) noch nicht berücksichtigt. Tatsächlich sind die Wirkungen infolge der veränderten Cirruswolken noch weitgehend unerforscht. Wenig weiß man zudem über die regionalen Klimawirkungen, die vorwiegend in nördlichen mittleren Breiten zu erwarten sind. Dies sind einige der Forschungsthemen, denen sich das DLR in den kommenden Jahren verstärkt widmet.

Prof. Dr. Ulrich Schumann ist Direktor des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen. ◀

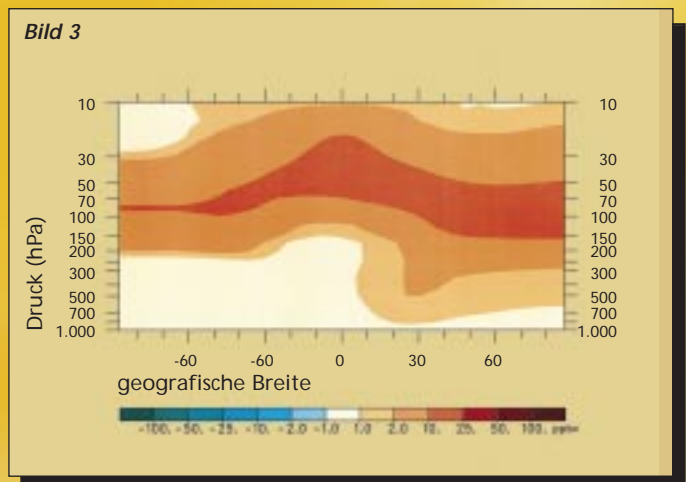
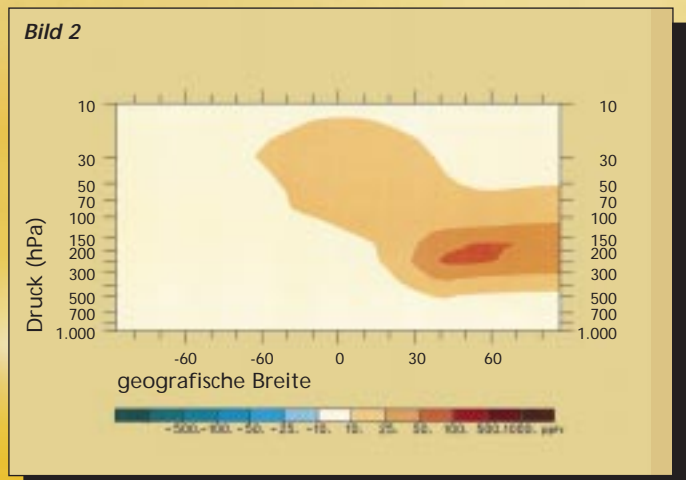
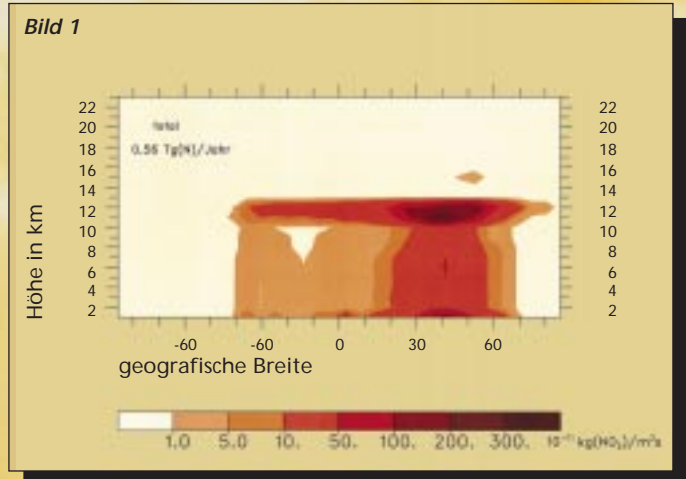


Abb. 1: Emissionsrate von Stickoxiden aus dem Luftverkehr.

Abb. 2: Zunahme der Konzentration von Stickoxiden.

Abb. 3: Zunahme der Ozonkonzentration.