

haben. Er versucht dann aber auch zu demonstrieren, wie man gerade im Durchgang durch skeptischen Argumente – nach Hegel: weg von einer "abstrakten Skepsis", hin zu einer "sich vollbringenden Skepsis" – dahin gelangen könne zu fragen, was es zu bedeuten hätte, allgemeine Einsichten moralischer Natur oder auch nur den einen oder anderen diesbezüglichen Gedanken ernst zu nehmen.

Alles in allem empfinde ich das Buch als recht lesenswert, vor allem für die Leserin oder den Leser, die sich ohne große Anstrengung und auf hohem Niveau mit der angesprochenen Thematik vertraut machen und von aporetischen Grundfragen der Nachhaltigkeitsproblematik anregen lassen wollen.

### Anmerkungen

- 1 Zahlen in runden Klammern beziehen sich im folgenden auf Seiten des Buches.
- 2 Es werden hier nur zwei dieser Vorträge näher diskutiert, der dritte, von H.-P. Schwintowski, Humboldt-Universität zu Berlin, problematisierte "*Die Versicherbarkeit von Langzeitrissen*" aus juristischer Sicht.
- 3 Podiumsteilnehmer waren: J. Isensee, Universität Bonn; D. Mieth, Universität München; K. Ott, Universität Greifswald; W. Krohn, Universität Bielefeld; G. Robbers, Universität Trier.

« »

**PENNER, J.E. et al. (Eds.): Aviation and the Global Atmosphere. A Special Report of IPCC Working Groups I and III. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. ISBN 0-521-66404-7**

### Rezension von Gerhard Sardemann, ITAS

Im Frühjahr diesen Jahres wurde der Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change über die Auswirkungen des Luftverkehrs auf die globale Atmosphäre fertiggestellt. Etwa zweieinhalb Jahre haben 107 Autoren unter Mitarbeit einer großen Anzahl von Experten aus Wissenschaft und Luftfahrtindustrie an diesem ersten, einem ganz bestimmten Sektor der Wirtschaft gewidmeten Sachstandsbericht gearbeitet. Er geht auf eine entsprechende Anfrage der International Civil Aviation Organization

(ICAO) zurück, woraufhin das IPCC auf seiner 12. Vollversammlung im September 1996 beschloss, zusammen mit dem Scientific Assessment Panel to the Montreal Protocol einen Special Report zu diesem Thema zu erarbeiten. Wie alle IPCC-Berichte wurde er einer intensiven Review-Prozedur unterworfen, Einwände und Ergänzungen von Experten- aber auch Regierungsseite wurden von sog. Review-Editoren (eine Einrichtung, die 1997 auf der 13. IPCC Vollversammlung insbesondere in Hinblick auf den dritten Assessmentreport des IPCC beschlossen worden war) in den Bericht eingearbeitet und letztendlich die Zusammenfassung für "Policymakers" Satz für Satz "approved" und der Gesamtreport als Ganzes "accepted".

Als Anmerkung sei eingefügt, dass schon seit Anfang der 70er Jahre die Untersuchung von Umweltauswirkungen des damals rasant zunehmenden Luftverkehrs dazu beigetragen hat, dass Themen wie der Ozonabbau in der Stratosphäre und der anthropogene Klimawandel das Interesse der Wissenschaftler nachhaltig erregten und sich zudem im Bewusstsein der Politiker festzusetzen begannen. Zwar ging es in der vor allem in den USA intensiv geführten Debatte über eine Flotte von 500 bis 800 Überschallflugzeugen zunächst um Themen wie Wirtschaftlichkeit, nationales Prestige und, besonders publikumswirksam, den Überschallknall. Erst später, nachdem darauf hingewiesen worden war, dass die Abgase der geplanten Überschallflugzeuge die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern und zu einem Ozonabbau in der Stratosphäre führen könnten, kamen auch Umweltfragen in die Diskussion. Im Herbst 1971 begann man in den USA das "Climatic Impact Assessment Program (CIAP)", das wichtige Erkenntnisse über die chemischen und dynamischen Verhältnisse in der Stratosphäre und seine Beeinflussung durch den Überschallflugverkehr brachte, sich aber auch mit den ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der erwarteten Ozonreduktion und von Klimaänderungen insbesondere durch die Bildung von Sulfataerosolen im Abgasstrahl der Flugzeuge beschäftigte. Man befürchtete damals vor allem eine Abkühlung des Klimas, mit anderen Worten: eine neue Eiszeit. Was nun letztendlich die Ursache war, die Angst der Menschen vor dem Überschallknall, die erwarteten Umweltprobleme oder einfach ökonomi-

sche Erwägungen (ein Blick in den hier besprochenen IPCC-Report zeigt schnell, dass die Zuwachsraten der transportierten Passagiere Ende der 60er Jahre mit jährlich 12% ihr Maximum hatten, danach aber stetig absanken), jedenfalls wurde das amerikanische Überschallprogramm auf Eis gelegt.

Anfang der 90er Jahre erlebte das kommerzielle Interesse am Bau einer Flotte von Überschallflugzeugen eine Renaissance, zudem begann man über wiederverwendbare Weltraumtransportsysteme, wie in Deutschland den "Sänger", nachzudenken. In den USA wurden daraufhin von der NASA Studien über Atmospheric Effects of Stratospheric Aircraft (AESA) initiiert. In Deutschland ist in diesem Zusammenhang die maßgeblich vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) mitgetragene Sängler-Studie zu nennen und, nachdem zunächst über ein eigenes Schwerpunktprogramm über die Grundlagen der Auswirkungen der Luft- und Raumfahrt auf die Atmosphäre nachgedacht worden war, die Einrichtung des Verbundprogramms Schadstoffe in der Luftfahrt. Ein Blick in die Autorenliste des IPCC-Berichtes zeigt, dass in ihn auch Ergebnisse dieses Verbundprojektes eingeflossen sind.

An der Erstellung des Special Reports "Aviation and the Global Atmosphere" waren zwei Arbeitsgruppen des IPCC beteiligt: Arbeitsgruppe I "Science" und Arbeitsgruppe III "Mitigation", vielleicht ein Grund für die diffizile, durch mehrere Symmetrieebenen gekennzeichnete Struktur des Berichts. (Übelwollende Kritiker könnten dies auch als Zeichen eines zwanghaft gewordenen Ordnungs- und Strukturierungsbestrebens deuten.) Es gibt zunächst eine Zweiteilung in einen naturwissenschaftlichen und einen auf technische und organisatorische Belange ausgerichteten Teil. Beide Teile bestehen zunächst aus zwei einleitenden Kapiteln zu Grundsatzfragen und jeweils einem Kapitel über Modell- bzw. Szenarienrechnungen. So werden in der ersten Hälfte des IPCC-Berichtes nach einer Beschreibung des Kenntnisstandes zum Eingriff von Flugzeugabgasen in die Ozonchemie und zur Entstehung von Aerosolen und Kondensstreifen Szenarienrechnungen vorgestellt, die mit Hilfe einer Vielzahl von Modellen den Einfluss des derzeitigen und zukünftigen (Referenzjahre: 1992, 2015 und

2050) Flugverkehrs auf die Zusammensetzung der Atmosphäre wiedergeben. In der zweiten Hälfte geht es vor allem um technische und regulatorische Fragen, wobei Betrachtungen über den Einfluss von Aerodynamik, Gewicht und Triebwerkstechnik, also Fragen des Flugzeugbaus, sowie Fragen der Flottenzusammensetzung, der Kontrolle des operationellen Betriebs und des Managements im Mittelpunkt stehen. Anschließend werden Inventare des derzeitigen Treibstoffverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen analysiert und Emissionsszenarien der zukünftigen Entwicklung für die Anwendung in Modellrechnungen ausgewählt. Als Abschluss der ersten Hälfte des IPCC-Berichtes und damit an zentraler Stelle findet sich eine zusammenfassende Darstellung der zu erwartenden Auswirkungen des Flugverkehrs auf das Klima und auf die UV-Strahlung am Boden, während in einem abschließenden, recht kurz geratenen Kapitel des zweiten Teils die Möglichkeiten regulatorischer sowie marktorientierter Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen abgeschätzt werden.

Zunächst ein paar Worte zur Einschätzung der Entwicklung des Flugverkehrs und der damit verbundenen Emissionen durch den IPCC. In zwei grundsätzlichen Kapiteln dazu wird in der zweiten Hälfte des IPCC-Berichts zum einen gezeigt, wie Aerodynamik, Gewicht und Triebwerkstechnik den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen beeinflussen und zum anderen, welchen Einfluss ein verbessertes Management des Luftverkehrs haben kann. Seit 1950 ist der auf die zur Verfügung stehende Sitzplatzkapazität bezogene Kraftstoffverbrauch um 70% gesenkt worden, woran Fortschritte in der Triebwerkstechnologie den größten Anteil hatten, allerdings auch Änderungen an der Konstruktion der Flugzeugzelle, insbesondere unter Vergrößerung der Sitzplatzkapazität, beteiligt waren. Verbesserungen an der Flugzeugzelle unter Verwendung neuer Materialien werden in Zukunft immer wichtiger bei möglichen Kraftstoffeinsparungen sein, für die Zeit bis 2015 wird mit Einsparungen um etwa 20% gerechnet.

Außer durch die Flugzeugkonstruktion hat man natürlich auch großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch, wenn man die Flugzeuge nicht länger als nötig in der Luft hält und ihr Ziel ohne unnötige Umwege erreichen lässt. Hier geht es um Verbesserungen des "Air Traf-

fic Management (ATM)" Systems, die zu einer Verbesserung der Kraftstoffeffizienz um bis zu 12% führen könnten. Weitere Verbesserungen bringen eine bessere Optimierung von Flughöhe und Geschwindigkeit, optimales Startgewicht, Reduzierung des Energieverbrauchs im Flugzeug, infrastrukturelle Maßnahmen, die den Zubringerverkehr betreffen etc., alles Maßnahmen, die schon jetzt im Interesse der Fluggesellschaften liegen, um ihre Kosten zu minimieren und die zu weiteren Kraftstoffeinsparungen um bis zu 6% führen könnten.

Die Zusammensetzung der Flugzeugabgase wird vor allem durch die Konstruktion der Triebwerke beeinflusst. Hier konkurrieren Maßnahmen, die eine Minimierung der Stickoxidemissionen zum Ziele haben mit denen, die allein auf Kraftstoffeinsparungen abzielen. Einfluss auf die Art der Emissionen hat darüber hinaus auch der Kraftstoff. Hier rechnet man im IPCC-Report aber nicht damit, dass beispielsweise Wasserstoff in den nächsten 50 Jahren die Kerosin-basierten Kraftstoffe ablöst, auch wenn dadurch CO<sub>2</sub>- und Stickoxidemissionen (allerdings unter Zunahme der Wasserdampfemissionen) wesentlich reduziert werden könnten.

In den vom IPCC für eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Flugverkehrsemissionen ausgewählten Szenarien werden die auf einem bottom-up Ansatz beruhenden Emissionsinventare (ursprünglich entwickelt von verschiedenen Institutionen wie der NASA, ANCAT oder DLR) mit dem Kanon der IPCC-Standardszenarien IS92a-e verknüpft. Diese enthalten im wesentlichen top-down Ansätze, mit denen aufgrund der zu erwartenden Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung die Entwicklung des Flugverkehrs abgeschätzt wird. Für Abschätzungen der Entwicklung in der näheren Zukunft kann darüber hinaus der in den Inventaren verwendete bottom-up Ansatz durch Extrapolation aktuellster Technologien ausgeweitet werden, was erste Hinweise auf Trends im Treibstoffverbrauch und bei den Emissionsfaktoren gibt.

Auf der Basis dieser Szenarienrechnungen lässt sich schon, zumindest was die Emissionen des Treibhausgases CO<sub>2</sub> angeht, dessen derzeitiger Einfluss und zukünftige Entwicklung abschätzen. 1992 hatte der Flugverkehr mit jährlich 0,5 Gt CO<sub>2</sub> einen Anteil von etwa 2% an

allen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, entsprechend etwa den CO<sub>2</sub>-Emissionen Großbritanniens oder Italiens. Bis 2050 sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen, je nach Szenario auf 1,6 bis 10 Gt CO<sub>2</sub>/a angestiegen sein, sich also mindestens verdreifachen. Setzt man die Emissionen des Flugverkehrs mit den Emissionen der Annex I-Länder in Relation, die sich gemäß Kyoto-Protokoll zur Klimarahmenkonvention zu einer Emissionsreduktion von 5,2% verpflichtet haben, dann wird schnell klar, welche Brisanz Verhandlungen zu den bislang noch nicht berücksichtigten "bunker fuels" (also den von Schiffen und Flugzeugen im internationalen Verkehr verbrannten Treibstoffen) in Zukunft haben werden. Schon 1992 betrug der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs an denen aller Annex I Länder mehr als 4%. Bis 2010, also in der Mitte der "Ziel-Periode" des Kyoto-Protokolls, sollen die CO<sub>2</sub> Emissionen des Flugverkehrs auf 0,84 Gt CO<sub>2</sub>/a steigen, ein Anstieg, der, wenn er etwa zur Hälfte vom internationalen Flugverkehr mitgetragen wird, etwa 20% der durch das Kyoto-Protokoll geforderten Emissionsminderung von etwa 0,76 Gt CO<sub>2</sub> (das sind 5,2% der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Annex I Länder im Jahr 1990) zunichte machen könnte.

Im IPCC-Bericht geht es nicht nur um die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs. Welchen zusätzlichen Einfluss haben etwa die Stickoxidemissionen auf die Zusammensetzung der Atmosphäre? In der ersten Hälfte des IPCC-Berichtes wird der derzeitige Kenntnisstand dazu zusammengefasst. Er basiert im wesentlichen auf Modellrechnungen, da der Einfluss des Luftverkehrs aus Messungen nur unzureichend abgeleitet werden kann. Die Anzahl von Messungen ist bislang gering und es gibt natürliche Faktoren, die zu einer hohen Variabilität der Konzentrationen von Stickoxid und Ozon in den Flugniveaus führen können.

Nichtsdestotrotz glaubt man heute, den Einfluss des Luftverkehrs auf die Ozonchemie, zumindest was die Stickoxidemissionen angeht, recht gut zu kennen. Vor allem in der oberen Troposphäre, aber auch in der unteren Stratosphäre sollten demnach die Stickoxid- und Ozonkonzentrationen zugenommen haben. In der mittleren und höheren Stratosphäre führen Stickoxide anders als in den darunter liegenden Luftschichten zu einer Reduktion der Ozonkon-

zentrationen. Diese Luftschichten werden durch den heutigen Flugverkehr kaum beeinflusst, jedoch könnten dort die Abgase einer in größeren Höhen operierenden Überschallflotte die schützende Ozonschicht negativ beeinflussen. Der Effekt von Sulfataerosolen und Ruß ist weniger gut verstanden, soll aber ebenfalls in der Stratosphäre zu einer Ozonreduktion führen. Der Luftverkehr ist derzeit eine signifikante Quelle von Ruß und Sulfat-Aerosolen in 9 bis 12 km Höhe. Die Emissionen einer zukünftigen Überschallflotte beeinflussen die Atmosphäre in noch größeren Höhen und könnten in der Stratosphäre eine Zunahme der polaren stratosphärischen Wolken bewirken, heutzutage als wichtiger Faktor beim stratosphärischen Ozonabbau verstanden.

Was die Beeinflussung des Klimas angeht, so verstärkt die durch Unterschallflugverkehr verursachte Ozonzunahme in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre den positiven Strahlungsantrieb von CO<sub>2</sub>. Zu einer Erwärmung der unteren Luftschichten führen nach Einschätzung des IPCC auch Kondensstreifen, die derzeit bereits zu einer mittleren Zunahme der hohen Bewölkung um etwa 0,1%, über Europa, den USA und dem Nordatlantik um 0,5% geführt haben. Flugzeuge mit einer höheren Kraftstoffausbeute können fatalerweise zu einer Zunahme der Bildung von Kondensstreifen führen, dasselbe gilt für eine Verlagerung des Luftverkehrs in größere Höhen.

Diese und eine Vielzahl anderer Unwägbarkeiten auch im Zusammenhang mit den Emissionsszenarien führen naturgemäß dazu, dass Abschätzungen des Einflusses von Luftverkehrsemissionen auf die Zusammensetzung der zukünftigen Atmosphäre große Unsicherheitsmargen aufweisen. Das gilt erst recht für weiterführende Schlussfolgerungen, was einerseits den Einfluss auf die UV-Strahlung am Boden angeht und andererseits die Beeinflussung des Klimas. Der IPCC hat es dennoch nicht versäumt, die einzelnen Komponenten, die aufgrund der Luftverkehrsemissionen zu einer Beeinflussung des Klima führen könnten, in einem eingängigen, in seiner Art aus anderen IPCC-Berichten bekannten Diagramm anhand des Strahlungsantriebes zu vergleichen. Was daran besonders beeindruckt, sind einerseits die ausgesprochen langen Fehlerbalken und andererseits die Tatsache, dass der gesamte durch

den Luftverkehr bedingte Strahlungsantrieb durch CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, Kondensstreifen, Ruß (positiv) sowie CH<sub>4</sub> und Sulfataerosole (negativ) von heute etwa 0,05 Wm<sup>-2</sup> auf 0,2 Wm<sup>-2</sup> im Jahr 2050 ansteigen soll. Das wären dann etwa 5% des für dieses Jahr durch menschliche Aktivitäten erwarteten zusätzlichen Strahlungsantriebes. Als Positivum könnte man vermerken, dass die durch den Flugverkehr bedingte Zunahme der Ozonkonzentrationen zu einer Reduktion der schädlichen UV-Strahlung am Boden geführt hat und diese Wirkung in Zukunft zunehmen wird, wenn es nicht durch den Überschallflugverkehr zu einer Ausdünnung der schützenden Ozonschicht in der mittleren und hohen Stratosphäre kommt.

Womit wir wieder am Anfang der Geschichte angelangt sind: Im Vergleich zu den über 5000 Seiten, die 1975 die 6 Bände des CIAP-Abschlussberichtes zusammenbrachten, ist der IPCC-Bericht ein eher dünnes Bändchen. Deswegen sollte man sich bei der Lektüre nicht auf die Zusammenfassung für Policymakers beschränken. Das ansonsten recht praktische und durch eine Vielzahl von Publikationen eingeführte Standardinstrumentarium des IPCC, das einerseits aus einem immer wieder angewandten Szenariensatz besteht und andererseits verschiedene Einflussfaktoren mit Hilfe des Global Warming Potentials auf einen Nenner bringt, ist im Falle eines mit derart großen Unsicherheiten behafteten und zudem eingeschränkten Problemfeldes nur zu einer ersten Orientierung geeignet. Aufklärung über die im Bericht gemachten Annahmen und Einschränkungen finden sich nur in dessen Langfassung.

Trotz dieser Einschränkung soll hier eingefügt werden, dass die Zusammenfassung für Policymakers von folgender WWW-Adresse heruntergeladen werden kann: [http://www.ipcc.ch/pub/av\(E\).pdf](http://www.ipcc.ch/pub/av(E).pdf). Außer der englischen Version gibt es eine in Französisch (av(F).pdf), Russisch (av(R).pdf) und Spanisch (av(S).pdf). Zudem gibt es einen technischen Report über die Emissionen des Unterschallflugverkehrs als Zugabe zu den Szenarien-Rechnungen in Kapitel 4 des IPCC-Reports unter der Adresse [ftp://uadp1.larc.nasa.gov/IPCC\\_TECH\\_REPORTS/subsonic/](ftp://uadp1.larc.nasa.gov/IPCC_TECH_REPORTS/subsonic/).

«