

Vor Cancún – Aktueller Stand der Klimaforschung

Eine Veranstaltung des Deutschen Klima-Konsortiums (DKK)
22. November 2010, Berlin

Vortrag „Verkehr und Klima“

Prof. Dr. Robert Sausen
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)
Institut für Physik der Atmosphäre



Kontakt

Tel.: 08153-28-2500
E-Mail: robert.sausen@dlr.de

Nach dem Studium an der Universität Kaiserslautern und an der ETH Zürich erwarb Prof. Dr. Robert Sausen 1979 in Zürich das Diplom in Physik, 1983 wurde er an der TU Darmstadt in Meteorologie promoviert. Es folgten mehrere Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter am MPI für Meteorologie und als Hochschulassistent am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg. 1991 habilitierte er sich in Meteorologie und übernahm im gleichen Jahr die Leitung der Abteilung "Atmosphärische Dynamik" des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen. Prof. Sausen lehrt an der LMU München. Beim DLR widmet er sich den Auswirkungen des Verkehrs auf die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und das Klima. Er war Co-ordinating Lead Author des IPCC Special Report "Aviation and the Global Atmosphere" und Koordinator des Europäischen Integrierten Projekts QUANTIFY (Quantifying the Climate Impact of Global and European Transport Systems). 2000 wurde er mit dem Otto-Lilienthal-Preis ausgezeichnet; 2007 wurde sein Beitrag zum IPCC mit dem Friedens-Nobel-Preis an das IPCC gewürdigt.

Verkehr und Klima

Zunahme des Verkehrs

Die Transportleistung des Verkehrs hat, gemessen in Personenkilometern oder Tonnenkilometern, in den letzten Jahren rasch zugenommen. Zwar hat sich die Effizienz der Vehikel aufgrund des technologischen Fortschritts in den letzten Jahrzehnten ebenfalls deutlich verbessert; das reichte aber nicht aus, um den Zuwachs an Transportleistung zu kompensieren. Deshalb nahmen die Emissionen des Verkehrs zu. Hinsichtlich der Emission von Treibhausgasen ist der Verkehr der am schnellsten wachsende Bereich menschlicher Aktivität.

CO₂-Äquivalent-Emissionen

Das gilt in besonderem Maße für die EU-15, also die EU vor der letzten großen Erweiterung. Während dort der Kohlendioxidaußstoß und der anderer Gase aus dem Kyoto-Protokoll von 1990 bis 2007 um mehr als 5% abnahmen, legten die Emissionen des Verkehrs um 37% zu. Besonders stark schlägt der Anstieg des Luftverkehrs mit etwas mehr als einer Verdopplung zu Buche. Lag 1990 der Anteil der Verkehrsemissionen an allen CO₂-Äquivalent-Emissionen noch bei knapp 22%, so waren 2007 bereits knapp 32% erreicht. Falls die EU ihr Reduktionsziel, bis 2020 minus 20% relativ zu 1990, erreicht und falls die Verkehrsemissionen ähnlich schnell wachsen wie in den beiden jüngsten Jahrzehnten, wird der Anteil des Verkehrs im Jahr 2020 ca. 45% betragen.

Nicht-CO2-Effekte

Der Verkehr emittiert nicht nur Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO₂) und Lachgas (N₂O). Er beeinflusst das Klima auch durch eine Reihe weiterer Prozesse, die nicht durch das Kyoto-Protokoll geregelt werden: Dazu gehören Emissionen von Wasserdampf, von Ozonvorläufern wie Stickoxiden (NO_x) sowie von Partikeln und deren Vorläufern, z.B. Ruß oder Schwefelverbindungen. Zudem werden die Wolkenbildung angeregt (Kondensstreifen, Kondensstreifen-Zirren) und natürliche Wolken modifiziert. Diese so genannten Nicht-CO₂-Effekte spielen beim Verkehr eine besonders wichtige Rolle, da dieser häufig in Regionen und Höhen emittiert, in denen es sonst keine großen Quellen gibt. Lassen Sie mich einige dieser Nicht-CO₂-Effekte etwas genauer behandeln, die Wirkung des NO_x und die Wolkeneffekte.

Stickoxid (NO_x)

In Motoren entsteht als unerwünschtes Nebenprodukt Stickoxid, das zu einer katalytischen Bildung von Ozon führt. Dieses zusätzliche Ozon verschlechtert nicht nur die Luftqualität, sondern trägt als Treibhausgas zur Erwärmung des Klimas bei. Stickoxid hat im Vergleich zum CO₂ eine sehr kurze atmosphärische Lebensdauer, d.h. es existiert nur einige Stunden bis Tage in der Atmosphäre. NO_x hat einen starken Einfluss auf die Veränderung der Ozonkonzentration und somit hängt Letztere vom Ort und vom Zeitpunkt der NO_x-Emission ab. Da der Luftverkehr seine Abgase vor allem in größeren Höhen (8 bis 13 km) freisetzt, existieren diese NO_x-Moleküle länger als am Erdboden emittierte; auch Ozon existiert dort länger. So kommt es, dass jedes NO_x-Molekül aus dem Luftverkehr zu etwa fünfmal so vielen Ozonmolekülen führt, wie aus einem NO_x-Molekül aus dem Straßenverkehr resultieren.

Gleichzeitig wird mit der Bildung des Ozons auch Methan abgebaut. Das hat einen kühlenden Effekt. Hier sind die Schiffsabgase besonders effektiv, die häufig weitentfernt von den anderen vom Menschen verursachten Emissionen erfolgen. Pro emittiertem NO_x-Molekül aus der Schifffahrt wird die Lebensdauer von Methan etwa viermal so stark reduziert wie bei einem NO_x-Molekül aus der Luftfahrt. In der Summe führen die NO_x-Effekte des Land- und Luftverkehrs zu einer Klimaerwärmung, die der Schifffahrt zu einer Abkühlung.

Wolken

Verkehrsemissionen beeinflussen auch die Bewölkung. Besonders sichtbar ist das anhand der Bildung von Kondensstreifen. Kondensstreifen entstehen aus den Wasserdampfemissionen des Luftverkehrs. Bei hinreichend kalter und feuchter Atmosphäre können die Kondensstreifen lange am Himmel existieren und sich ausbreiten. Schließlich entwickeln sie sich zu Kondensstreifen-Zirren, die auf den ersten Blick nicht von natürlichen Zirren unterscheidbar sind. Je nach Tageszeit, Höhe des Sonnenstandes und Hintergrundbedingungen können diese Kondensstreifen und Zirren erwärmend oder abkühlend wirken. In der Summe überwiegt der erwärmende Effekt.

Ship Tracks entstehen in Folge der Schwefel- und Rußemissionen der Schifffahrt. Ähnlich wie bei Kondensstreifen handelt es sich hierbei um linienförmige Wolken, allerdings in niedriger Höhe. Diese Wolken wirken in der Summe kühlend auf das Klima. Neben diesen direkt dem Verkehr zuzuordnenden Wolken, gibt es auch noch indirekte Einflüsse auf Wolken aufgrund der Emission von Wolkenkondensationskernen bzw. deren Vorläufern. Hier sticht die Schifffahrt besonders hervor; speziell deren Schwefelemissionen führen zu einer höheren Partikelzahl in niedrigen Wolken, die damit die Erde abkühlen.

Strahlungsantrieb

Die Nicht-CO₂-Effekte verändern den Strahlungshaushalt der Erde. Diese Änderung quantifiziert man üblicherweise mittels des sogenannten Strahlungsantriebs. Positiver Strahlungsantrieb führt zu einer Erwärmung, negativer zu einer Abkühlung. Neben dem langlebigen Treibhausgas CO₂ sind beim Verkehr die in der Regel kürzerlebigen Nicht-CO₂-Effekte von besonderer Bedeutung. Im Jahre 2005 betrug der CO₂-bedingte Strahlungsantrieb für den Luftverkehr 28 mW/m², bei der Schifffahrt 34

mW/m² und im Landverkehr (Straßen- und Bahnverkehr) 171 mW/m²; das sind für den Schiffsverkehr 2,0%, für den Luftverkehr 1,6% und für den Landverkehr 10,1% des gesamten vom Menschen verursachten Strahlungsantriebs.

Berücksichtigt man auch die Nicht-CO₂-Effekte des Verkehrs, so lag im Jahr 2005 der Strahlungsantrieb des Luftverkehrs bei 78 mW/m², der Schifffahrt bei minus 328 mW/m² und des Landverkehrs bei 193 mW/m², das sind 4,6 %, -19,3 % bzw. 11,3 % des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs. Während also Luftfahrt und Landverkehr erwärmend wirken, kühlt die Schifffahrt das Klima. Der kühlende Effekt der Schifffahrt geht allerdings mit einer massiven Verschlechterung der Luftqualität einher.

Maßzahlen

Nun könnte man verführt sein, dass Verhältnis des gesamten Strahlungsantriebs zum CO₂-bedingten zu bestimmen, um so die Nicht-CO₂-Effekte der einzelnen Verkehrsträger in CO₂-Äquivalent umzurechnen. Für den Schiffsverkehr ergäbe sich dann eine negative Zahl. Bereits das sollte einem zu denken geben. Auch würde man bei Verwendung eines darauf basierenden Multiplikators die Möglichkeit verlieren, individuelle Verbesserungen bei den Nicht-CO₂-Effekten zu belohnen.

Es gibt jedoch noch grundlegendere Punkte, die gegen die Verwendung des Strahlungsantriebs als Maßzahl zum Bewerten von Emissionen oder Klimawirkungen sprechen. Zum einen wird der Strahlungsantrieb wesentlich von den Emissionen der Vergangenheit bestimmt. Das hilft einem beim Verständnis der im Klimasystem ablaufenden Prozesse, ist aber gänzlich ungeeignet zum Regulieren zukünftiger Emissionen. Zum anderen berücksichtigt der Strahlungsantrieb nicht die Trägheit des Klimasystems, weder die atmosphärische Lebensdauer des betrachteten Nicht-CO₂-Effekts, noch die thermische Trägheit des Klimasystems. Die atmosphärische Lebensdauer wird beim Treibhausgaspotential (GWP) berücksichtigt. Das geht relativ gut bei den langlebigen Treibhausgasen aus dem Kyoto-Protokoll. Schwierigkeiten entstehen jedoch bei kurzlebigen Nicht-CO₂-Effekten, wie sie beim Verkehr von besonderer Bedeutung sind. Hier kann der GWP-Ansatz sogar unsinnige Ergebnisse liefern: Betrachte ich z.B. die Strahlungswirkung einer kurzfristigen NO_x-Emission aus dem Luftverkehr, so gibt es zunächst eine Erwärmung, dann eine Abkühlung. Das zugehörige Treibhausgaspotential ist bei einem Zeithorizont von hundert Jahren negativ. Hält man jedoch die Emission über mehrere Jahrzehnte konstant, wie es schon eher der Realität entspräche, so ergibt sich eine Erwärmung nach hundert Jahren. Für die Nicht-CO₂-Effekte sollte man daher eher eine Temperaturbasierte Maßzahl verwenden; leider liegt ein völlig konsistenter Ansatz noch nicht vor.

Reduzierung der Wirkung

Das DLR entwickelt Verfahren, um die Klimawirkung des Verkehrs zu reduzieren. Bei gleicher Transportleistung kann man die Klimawirkung durch technische Maßnahmen am Vehikel verringern, z.B. durch eine Verkleinerung der spezifischen Emissionen (Emission pro Einheitstransportleistung) oder durch den Einsatz alternativer Treibstoffe. Da die Wirkung von Verkehrsemissionen in sehr vielen Fällen vom Ort, von der Höhe, von der Tages- und Jahreszeit und von der aktuellen Wetterlage bei der Emission abhängen, kann man nach Transportwegen zu suchen, bei denen die Klimawirkung im Vergleich zu anderen Wegen minimal ist. So ist es z.B. möglich, Kondensstreifen und damit auch Kondensstreifenzirren weitgehend zu vermeiden, wenn man an geeigneter Stelle die Flughöhe um wenige hundert Meter ändert, also um ein bis zwei Flugniveaus.

Offene Fragen

Nicht verschweigen möchte ich, dass bei vielen der Nicht-CO₂-Effekte des Verkehrs noch große Unsicherheiten bestehen, die durch weitere Forschung reduziert werden müssen, so z.B. bei der Klimawirkung von verkehrsinduzierten Wolken oder bei den gegenläufigen Ozon- und Methaneffekten aufgrund der Stickoxidemissionen. Dennoch lassen sich bereits aus dem vorhandenen Wissen Handlungswege herleiten. Darüber hinaus ist es notwendig, besser zu eruieren, wie hier gute Entscheidungen trotz wissenschaftlicher Unsicherheit möglich sind.