



Umweltwirkungen des Verkehrs

Von
Prof. Dr. Robert Sausen

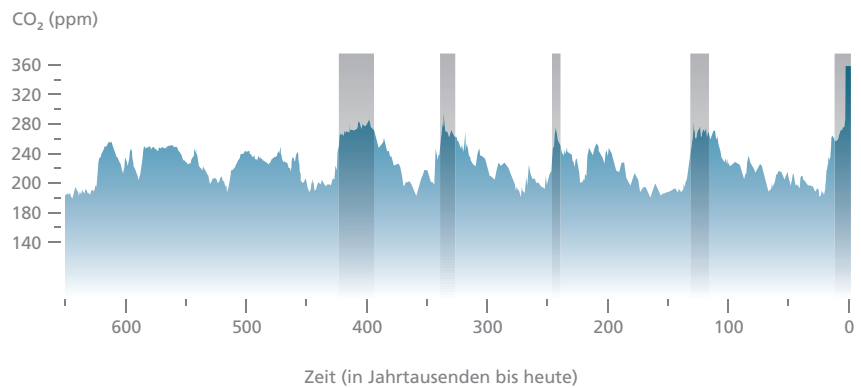
Seit Mitte des 18. Jahrhunderts nutzt der Mensch in zunehmendem Maße fossile Brennstoffe, zunächst Kohle, dann auch Erdöl und Erdgas. Die industrielle Produktion konnte dadurch ihren ungeheuren Aufschwung nehmen. Wohlstand entwickelte sich in weiten Teilen der Welt. Doch das Verbrennen von Kohle, Öl und Gas hat Nebenwirkungen. Die Erdatmosphäre verändert sich. In noch nie da gewesenem Maße hat der Mensch in das Klimasystem eingegriffen. Und wir tun es noch, und immer mehr, auch mit unseren Verkehrsmitteln. Welche Wirkungen das hat – das untersuchen Atmosphärenforscher des DLR in Oberpfaffenhofen.

Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen entsteht Kohlendioxid (CO_2), ein Treibhausgas. Treibhausgase führen aufgrund ihrer optischen Eigenschaften zu einer höheren Temperatur am Erdboden und in der untersten Atmosphärenschicht, der Troposphäre. Dieser Effekt existiert auch ohne menschliches Zutun. Verursacht wird er im Wesentlichen von Wasserdampf, CO_2 , Ozon (O_3), Methan (CH_4) oder Lachgas (N_2O). Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre es auf der Erde um mehr als 30 Grad Celsius kälter.

Durch das Freisetzen von zusätzlichen Treibhausgasen hat der Mensch erheblich in das natürliche System eingegriffen. In Luft, die im antarktischen Eis seit Hunderttausenden von Jahren eingeschlossen ist und auf diese Weise „archiviert“ wurde, kann man das nachweisen. Danach lag die atmosphärische CO_2 -Konzentration während der letzten 650.000 Jahre stets unter 300 parts per million (ppm), das heißt, unter 300 CO_2 -Molekülen pro 1 Million Luftmoleküle. Seit Mitte des 18. Jahrhunderts stieg die CO_2 -Konzentration von circa

Zeitliche Entwicklung der atmosphärischen CO₂-Konzentration während der letzten 650.000 Jahre, ermittelt aus Eisbohrkernen. Die letzten 50 Jahre stimmen mit Messungen in der antarktischen Luft überein. Die senkrechten grauen Balken markieren die warmen Zwischeneiszeiten.

Nach IPCC (2007)



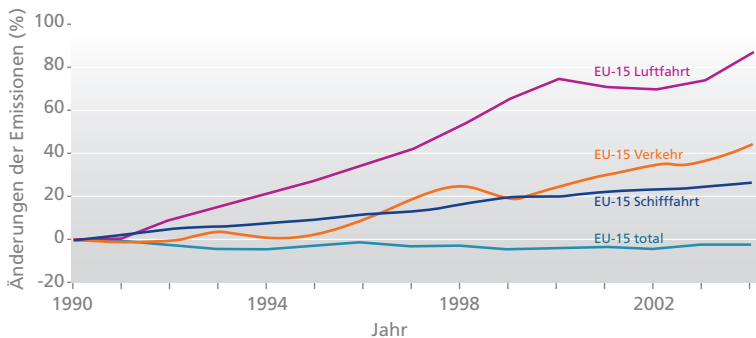
280 ppm rasch an, 2005 erreichte sie 379 ppm. Ähnlich verhält es sich bei anderen Treibhausgasen. So stieg die Methankonzentration von einem vorindustriellen Wert von 715 parts per billion (ppb) – also 715 CH₄-Moleküle pro 1 Milliarde Luftmoleküle – auf mehr als doppelt so viel: 1774 ppb im Jahr 2005. Neben den bereits natürlich vorkommenden Treibhausgasen emittierte der Mensch auch solche, die es nur aufgrund menschlicher Aktivitäten gibt; hierzu gehören Fluorchlorkohlenwasserstoffe, kurz FCKW, oder Schwefelhexafluorid (SF₆), auch Schwergas genannt.

Diese zusätzlich vom Menschen in die Atmosphäre eingebrachten (anthropogenen) Treibhausgase führen zu einer weiteren Erwärmung der Troposphäre. Verstärkt wird der erwärmende Effekt noch durch Rückkopplungen im Klimasystem. Bei höheren Temperaturen nimmt die Atmosphäre mehr Wasserdampf auf. Dieser wirkt ebenfalls als Treibhausgas. Die Troposphäre erwärmt sich weiter.

So hat die bodennahe Lufttemperatur in den letzten 100 Jahren – über die ganze Erde gemittelt – um 0,75 Grad Celsius zugenommen. Elf der zwölf

Jahre von 1995 bis 2006 zählen zu den wärmsten seit Beginn der regelmäßigen instrumentellen Messung der bodennahen Lufttemperatur im Jahr 1850. Durch paläoklimatische Untersuchungen weiß man, dass es zumindest während der letzten 1.300 Jahre auf der Nordhemisphäre nie so warm war, wie in den letzten 50 Jahren. In der Arktis herrschten seit 130.000 Jahren noch nie so hohe Temperaturen wie heutzutage. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist ein großer Teil des während der letzten 100 Jahre beobachteten Temperaturanstiegs vom Menschen verursacht.

Äquivalente CO₂-Emissionen relativ zu 1990



Änderungen der äquivalenten CO₂-Emissionen der EU-15 relativ zu den Emissionen im Jahr 1990. Dargestellt sind alle anthropogenen Emissionen (türkis), die Emissionen des Verkehrs (orange) sowie die Emissionen der internationalen Luftfahrt (magenta) und des internationalen Schiffsverkehrs (blau).

Datenquelle: UNFCCC

Vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sind verschiedene mögliche Entwicklungen der Gesellschaft und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen für die nächsten 100 Jahre untersucht worden. Je nach Wahl des Szenarios muss man bis zum Ende dieses Jahrhunderts, also bis zum Jahr 2100, mit einer Erwärmung von 1,1 bis 6,4 Grad Celsius rechnen. Dabei sind die unteren Werte nur bei einer drastischen Verminderung der Treibhausgas-Emissionen zu erreichen. Mit der Erhöhung der globalen Temperatur geht eine Veränderung des Wettergeschehens einher: Abschmelzen des arktischen Meereises, häufiger und intensiver Niederschlag, des öfteren schwere Stürme – die Auswirkungen sind nicht mehr zu übersehen.

Der Verkehr liefert einen bedeutenden Beitrag zu den Treibhausgas-Emissionen. Straßenverkehr, Luftfahrt und Schifffahrt trugen im Jahr 2000 13,8 Prozent, beziehungsweise 2,2 und 2,7 Prozent zu den anthropogenen CO₂-Emissionen bei. Um die Treibhausgas-Emissionen zu verringern, beschlossen die Vereinten Nationen 1997 das Kyoto-Protokoll. Danach soll die EU mit ihren Mitgliedsländern (vor der Erweiterung um die ost- und südosteuropäischen Staaten) bis zum Jahr 2012 eine Reduktion der äquivalenten CO₂-Emissionen um 8 Prozent relativ zum Wert von 1990 erreichen. Bei den äquivalenten CO₂-Emissionen werden die anderen Gase aus dem Kyoto-Protokoll (Methan, Lachgas, Schwefelhexafluorid, FCKW) in diejenige Menge von CO₂ umgerechnet, die auf einer Zeitskala von 100 Jahren die gleiche Strahlungswirkung hat.

Bis zum Jahr 2004 hatten die angesprochenen 15 EU-Länder eine Reduktion aller anthropogenen äquivalenten

CO₂-Emissionen um 2,6 Prozent erreicht. Indessen nahmen die Emissionen des Verkehrs (einschließlich des nationalen Luftverkehrs und der nationalen Schifffahrt) im gleichen Zeitraum um 26 Prozent zu. Die Emissionen des von den EU-15 ausgehenden internationalen Luft- und Schiffsverkehrs („bunker fuels“) stiegen im gleichen Zeitraum sogar um 87 bzw. 43 Prozent. Dass die Verkehrsemissionen trotz aller technologischen Erfolge bei der Verminderung des Schadstoff-

ausstoßes vergleichsweise stark anstiegen, ist der schneller gewachsenen Nachfrage nach Verkehrsleistung geschuldet.

Doch den Verkehr allein als neuen Buhmann in der Klimadebatte zu sehen, hieße zu ignorieren, dass er eine essentielle Komponente unseres global vernetzten Wirtschaftssystems ist. Das gesellschaftliche Bedürfnis nach Mobilität wie auch der Transport von Waren und Gütern sind direkt an die

Komplexe Aufgabe – weit reichende Kooperationen

Um Auswirkungen des Verkehrs auf die Lärmbelastung, die Luftqualität und die Klimaänderung zu bestimmen, kooperiert das DLR mit Partnern in Deutschland, Europa, Amerika und Asien. So besteht die Absicht, mit dem Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) auf dem Gebiet der Harmonisierung der Prognose von Lärm und von lokaler Luftqualität, unter Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse zu arbeiten. Gemeinsame Indikatoren können konkurrierende Maßnahmen zur Lärminderung bzw. Verbesserung der lokalen Luftqualität vermeiden helfen.

Ähnlich ist es bei den Auswirkungen des Verkehrs auf die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre und das Klima. Hier koordiniert das DLR das EU Integrated Project QUANTIFY (Quantifying the Climate Impact of Global and European Transport Systems). Daran sind mehr als 100 Wissenschaftler aus 41 Einrichtungen in 19 Ländern (Europa, Asien und Amerika) beteiligt. So kommen nicht nur unterschiedliche Expertisen zusammen, es lassen sich auch Unsicherheiten, die aufgrund unvollständiger wissenschaftlicher Erkenntnisse entstehen, durch die Kombination unabhängiger Werkzeuge (Messinstrumente, Modelle) besser abschätzen. Aus QUANTIFY ging das EU-Projekt ATTICA hervor, dessen zentrales Ziel die Erstellung eines europäischen Sachstandsberichtes zu den Auswirkungen des Verkehrs auf Atmosphäre und Klima ist.

Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems gebunden. Beiden Aspekten muss Rechnung getragen werden.

Um den Handlungsspielraum zwischen den erwünschten Eigenschaften des Verkehrs und seinen negativen Folgen zu erkunden, untersucht das DLR den Verkehr als Ganzes: Eine große Verkehrsnachfrage führt zu Verkehrswachstum, dadurch erzeugte Emissionen ziehen Lärm, verminderte Luftqualität (z. B. Feinstaub, Smog) und Klimaänderung nach sich. Um diesen Umweltwirkungen entgegenzutreten, werden Technologien entwickelt (z. B. Partikelfilter, Triebwerke mit geringen Stickoxidemissionen) und regulierende Maßnahmen getroffen (z. B. Vorgabe von Emissionsstandards, Geschwindigkeitsbeschränkungen), die zu geringeren absoluten Emissionen führen sollen. Sowohl Technologien als auch Maßnahmen beeinflussen ihrerseits Verkehrsnachfrage und Verkehrsentwicklung, so dass ein geschlossener Rückkopplungskreis entsteht.

Das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre konzentriert sich hierbei auf die Umweltwirkungen des Verkehrs. Ein Schwerpunkt liegt bei den Auswirkungen des Verkehrs auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und auf das Klima. Selbst wenn man nur am Einfluss des Verkehrs auf das Klima interessiert wäre, müsste man die Auswirkungen auf die Chemie und die Partikelverteilungen in der Atmosphäre berücksichtigen. Denn der Verkehr emittiert nicht nur langlebige Treibhausgase wie CO₂ oder Lachgas, er verändert das Klima auch noch auf anderen Wegen.

Dazu gehören Emissionen von Treibhausgasen, die nicht gleichmäßig in der Atmosphäre verteilt werden, wie

etwa Wasserdampf. Er spielt vor allem bei sehr hoch fliegenden Flugzeugen eine Rolle. Hinzu kommen Emissionen von Ozonvorläufern wie Stickoxiden, die über chemische Umwandlung in der Atmosphäre in den Ozonhaushalt eingreifen, was zum Beispiel zu einer Ozonzunahme in Bodennähe führt.

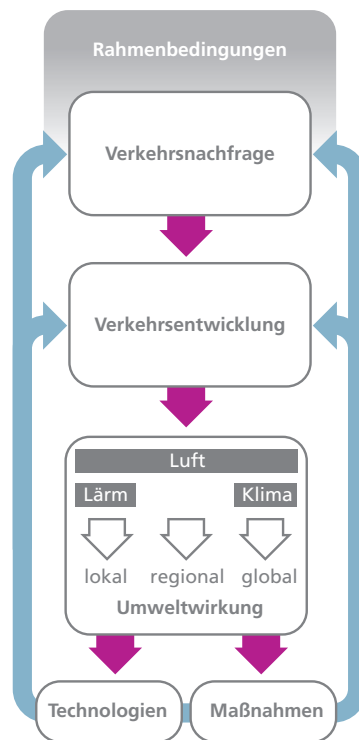
licher Wolken durch zusätzliche Partikel in der Atmosphäre zu analysieren.

Mit vielfältigen Forschungen sollen Antworten auf Fragen wie folgende gefunden werden: Wie groß sind im Vergleich die Beiträge der einzelnen Verkehrsträger Straße, Eisenbahn, Schiff und Flugzeug zum Klimawandel? Wie kann man die Nicht-CO₂-Emissionen in ein Emissionshandelsystem, wie es für die im Kyoto-Protokoll genannten Gase von der EU derzeit entwickelt wird, wissenschaftlich sinnvoll integrieren? Wie groß ist der Nutzen von Biotreibstoffen, oder führt deren Verwendung gar zu einer stärkeren Klimaänderung?

DLR-Forscherinnen und -Forscher werden in den kommenden Jahren diese und weitere Fragen zu den Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt beantworten. Das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre führt hierzu Messungen durch (am Boden direkt am Abgas, vom Flugzeug aus in Abgasfahnen von Schiffen oder Flugzeugen, vom Weltraum durch Satelliten) und simuliert das Geschehen in der Atmosphäre mit komplexen Klima-Chemie-Modellen.

So werden in Kooperation mit MAN die Abgase von Schiffsdieselmotoren untersucht. Hierbei werden sowohl Gase als auch Partikel gemessen. Mithilfe des DLR-Forschungsflugzeuges Falcon werden die Abgasfahnen großer Schiffe vermessen. Auf diese Weise gewinnt das DLR Aufschluss über die nichtlinearen Umwandlungs- und Auswaschungsprozesse, die während der Verdünnung der Abgase in der Umgebungsluft ablaufen. Ein möglichst gutes Verständnis dieser Prozesse ist erforderlich, wenn man große Einzelquellen von Schadstoffen, wie Schiffe und Flugzeuge, angemessen

Prozesskette „Verkehr und Umwelt“



Auch die Emission von Partikeln oder deren Vorläufern, die durch Streuung und Reflexion in den Strahlungshaushalt der Atmosphäre eingreifen, ist zu berücksichtigen. Ebenso sind die Erzeugung von zusätzlichen Wolken wie Kondensstreifen oder so genannten „Contrail Cirrus“ sowie die Veränderung natür-

in Klima-Chemie-Modellen berücksichtigen will.

Satellitendaten werden helfen, den Übergang von Kondensstreifen zu „Contrail Cirrus“ zu verstehen und deren Bedeckungsgrad zu quantifizieren. Ähnlich wird der Bedeckungsgrad von „Ship Tracks“ aus Satellitendaten ermittelt, jenen linienförmigen niedrigen Wolken, die durch Partikelemissionen von Schiffen entstehen. Aus den Informationen über den Bedeckungsgrad lässt sich dann auf die Klimawirkung dieser Wolken schließen.

Mithilfe von numerischen Klima-Chemie-Simulationen wird das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre die Ausbreitung, Umwandlung und Auswaschung/Deposition von Verkehrsemissionen abbilden. So gewinnt man Aufschluss über Ferntransporte der Emissionen und deren Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre. Schließlich kann so der Beitrag der verschiedenen Verkehrsträger zur Klimaänderung quantifiziert werden, und besondere Muster verkehrsbedingter Klimaänderungen können aufgedeckt werden. Die Kenntnis dieser komplexen Zusammenhänge ermöglicht dann die Definition geeigneter Maßzahlen zur Bewertung und Regulierung von Verkehrsemissionen.

<http://ip-quantify.eu>

Autor:

Prof. Dr. Robert Sausen leitet seit 1991 im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre die Abteilung „Dynamik der Atmosphäre“, die sich primär mit Klima-Chemie-Modellierung und der Ausbreitung von Schall in realer Atmosphäre beschäftigt. Ein wichtiges Anwendungsgebiet sind die Umweltwirkungen des Verkehrs. Prof. Dr. Sausen koordiniert die EU-Projekte QUANTIFY und ATTICA.

