



# Die Schifffahrt

Thomas Bürke im Gespräch  
mit Dr. Veronika Eyring

# und das Klima

Die Abgase von Fabriken, Autos und Flugzeugen werden seit längerem intensiv untersucht, weil sie die Erdatmosphäre und das Weltklima merklich verändern. Einzig die Schifffahrt blieb lange Zeit unbeachtet. Eine Forschergruppe am Institut für Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen unter der Leitung von Dr. Veronika Eyring untersuchte nun die Schiffsemissionen genauer. Das Ergebnis: Die ausgestoßenen Schwebeteilchen (Aerosole) sorgen zwar für eine Abkühlung des Klimas, verschmutzen aber dennoch die Luft.

Mehrere günstige Umstände führten zur Gründung von Veronika Eyrings Gruppe. Die Forscherin, heute Mutter von zwei Kindern, hatte 1999 am Institut für Umweltphysik (IUP) der Universität Bremen promoviert. Ihr damaliger Forschungsschwerpunkt war die Modellierung der höheren Atmosphäre (Stratosphäre). Wenige Jahre später beschäftigte sich Horst Köhler, zuständig für Technikpromotion bei der Augsburger Firma MAN Diesel mit den Emissionen von Schiffen – ein Gebiet, das bis dahin kaum jemand beachtet hatte.

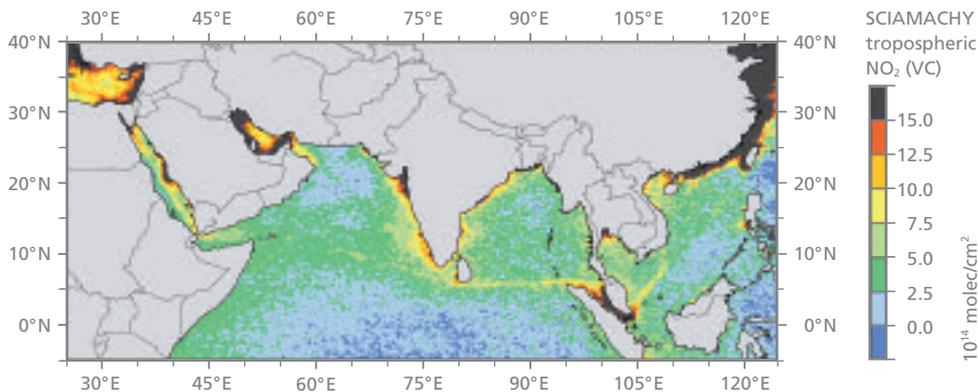
Um die Emissionen von Schiffen weltweit mit denen des Flugverkehrs vergleichen zu können, nahm Köhler zu dem Fachmann auf diesem Gebiet Kontakt auf: Prof. Dr. Ulrich Schumann, Direktor des DLR-Insti-

tuts für Physik der Atmosphäre. Dort fand er offene Ohren, denn im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) waren bereits Überlegungen im Gange, in Zukunft den Luftverkehr nicht mehr isoliert, sondern im Vergleich mit allen anderen Verkehrsträgern zu betrachten. Und so begann mit einigen Arbeitsseminaren sowohl beim DLR als auch bei MAN die gemeinsame Forschungsarbeit.

Dr. Veronika Eyring, an den Untersuchungen von Anfang an beteiligt, erkannte die Chance, die sich mit der Ausschreibung der Helmholtz-Gemeinschaft zur Förderung von Nachwuchsgruppen bot. Mit Unterstützung durch Prof. Schumann und mit viel Elan bewarb sie sich. Ehemalige Kollegen von der Universität Bremen

unterstützten sie, insbesondere Professor John Burrows, Projektwissenschaftler für das Spektrometer SCIAMACHY auf dem Europäischen Umweltsatelliten Envisat. Burrows und sein Team hatten langjährige Erfahrung bei der Satellitendatenauswertung sowie im Umgang mit globalen Datensätzen. Satellitendaten sind unverzichtbar, wenn es darum geht, die Klimaeffekte zu quantifizieren und Modellergebnisse zu überprüfen.

Seit Januar 2004 leitet Dr. Veronika Eyring nun ihre Nachwuchsgruppe. Ihr Forschungsprojekt: SeaKLIM – der Einfluss von Schiffsemissionen auf Atmosphäre und Klima. Zu ihrem Team gehören ein Postdoc im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen sowie zwei Doktor-



Vertikal integrierte Stickoxidkonzentrationen ( $\text{NO}_2$ ) aus Messungen von SCIAMACHY (aus Richter et al., 2004, Copyright American Geophysical Union)

anden am IUP in Bremen und ein Betreuer vor Ort. „Auf diese Weise konnten wir die Expertisen beider Institute optimal zusammenführen: Die Satellitendaten werden vom IUP ausgewertet, und das DLR-Institut bietet Atmosphärenmodelle sowie Messmöglichkeiten mit dem Forschungsflugzeug Falcon“, erläutert Veronika Eyring. Mit den SCIAMACHY-Daten konnte die SeaKLIM-Gruppe erstmals detailliert den Beitrag des Schiffsverkehrs zur Luftverschmutzung durch erhöhte Stickoxidkonzentrationen entlang von Hauptschifffahrtrouten bestimmen.

### Wolken entlang der Schiffrouten

Die Ergebnisse der SeaKLIM-Gruppe waren durchaus überraschend. Im Jahr 2000 stammten rund 800 Millionen Tonnen Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), das sind rund 2,7 Prozent aller anthropogenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen, von Schiffsmotoren. Bei Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) betragen die Emissionen 15 Prozent und bei Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) 8 Prozent. Damit entlässt der Schiffsverkehr etwa so viel  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre wie die Luftfahrt. Die  $\text{NO}_x$ - und  $\text{SO}_2$ -Emissionen übertreffen diese sogar um etwa das Zehnfache bzw. das Hundertfache. – Auswirkungen auf das Klima können somit nicht ausbleiben.

Durch die Emission des Treibhausgases  $\text{CO}_2$  trägt der Schiffsverkehr zur globalen Erwärmung bei. Doch die starken  $\text{SO}_2$ -Abgase wirken dem entgegen. Denn Schwefeldioxid und andere schwefelhaltige Verbindungen rea-

gieren in der Atmosphäre zu Schwefelsäure. Zusammen mit Wasser führen sie zur Bildung von sehr kleinen schwefelhaltigen Tröpfchen, so genannten Aerosolen. Diese wirken wie ein Reflektor und geben das Sonnenlicht zurück ins All. Zudem bildet das Aerosol Kondensationskeime, an denen sich Wasserdampf niederschlägt: Es entstehen Wolken.

In einigen Gebieten der Erde kann man diesen Vorgang sehr genau beobachten. Auf Satellitenbildern findet man in Regionen mit hohem Schiffsverkehr lang gestreckte, tief liegende Wolken, die eindeutig nicht natürlichen Ursprungs sind. Diese so genannten Ship Tracks sind Folge der Schiffsemissionen. Für ihre Untersuchung eignet sich besonders das Instrument AATSR (Advanced Along Track Scanning Radiometer) auf dem Satelliten Envisat. Es nimmt Bilder in verschiedenen Spektralbereichen auf. Diese Aufnahmen zeigen Ship Tracks insbesondere im Nordpazifik, an der Westküste Nordamerikas sowie an der Westküste Südafrikas. Ship Tracks sind somit ein eher lokales Phänomen, das stark von saisonalen Gegebenheiten in der Atmosphäre und in den Ozeanen abhängt.

Ship Tracks machen aber nur die unmittelbar sichtbare Folge der Schiffsemissionen deutlich. Einige von ihnen vermischen sich mit der normalen Bewölkung und verstärken diese, andere lösen sich auf. Dennoch bleiben die Aerosole noch in der Atmosphäre und können die Eigenschaften von Wol-

ken verändern, ähnlich wie Kondensstreifen von Flugzeugen, die zu Zirruswolken werden können und sich dann nicht mehr eindeutig den Flugzeugemissionen zuordnen lassen. Im Gegensatz zu den hoch liegenden Kondensstreifen und Zirren treten die Veränderungen der Wolkeneigenschaften durch den Schiffsverkehr aber in der unteren Troposphäre, also bis in etwa 1,5 Kilometer Höhe, auf.

### Gegen die Erwärmung

Ihre Wirkung auf das Klima wurde von Dr. Eyrings Gruppe mit Computermodellen überprüft. Auch wenn einige Eingangsgrößen, wie die Größenverteilung der Tröpfchen oder die gesamte weltweite  $\text{SO}_2$ -Emission von Schiffen, noch mit Unsicherheiten behaftet sind, liefern doch alle Modellsimulationen dasselbe Ergebnis: Die Schwefeldioxidemissionen des Schiffsverkehrs bewirken eine „Aufhellung“ tiefer maritimer Wolken, die dadurch mehr Sonnenlicht in den Weltraum zurückstreuen können als im ungestörten Zustand. Das heißt, die Schwefelemissionen des Schiffsverkehrs wirken der globalen Erwärmung entgegen.

Obwohl dieser Effekt auf die Gegenden um die Hauptschifffahrtrouten beschränkt ist, hat der Schiffsverkehr im globalen Mittel einen geschätzten Anteil von 17 bis 39 Prozent an den vom Menschen verursachten Veränderungen der Strahlungsbilanz durch Aerosole. In der Summe wiegt damit insgesamt die Kühlung durch die Wolken schwerer als die Erwärmung durch die Treibhausgase aus Schiffsmotoren. Allerdings kann man hier-

aus nicht den Schluss ziehen, die Schwefelemissionen der Schiffe hätten ausschließlich eine positive Wirkung auf die Atmosphäre. Dem Klimateffekt steht nämlich eine massive Verschmutzung der Luft in Küstennähe und insbesondere in den Häfen gegenüber. Darüber hinaus nehmen die Meere Schwefelverbindungen auf, was zur Versauerung der Ozeane beiträgt.

### Alternative Kraftstoffe für Schiffe

Diese Effekte in den kommenden Jahren weiter nachzuweisen und zu quantifizieren ist Ziel der SeaKLIM-Nachwuchsgruppe. Veronika Eyrings Team arbeitet dabei eng mit anderen nationalen und internationalen Instituten sowie mit der Industrie, insbesondere mit MAN Diesel, zusammen. Gemeinsam mit Fachleuten dieses Unternehmens wurden die derzeitigen Emissionen aus der internationalen Schifffahrt abgeschätzt und Emissions-szenarien für die Zukunft aufgestellt.

Hierbei hat sich herausgestellt, dass die weltweit existierende Motorenleistung der Frachtschiffe von 2001 bis 2006 um etwa 30 Prozent zugenommen hat. Etwa im selben Maße dürften auch die Emissionen angewachsen sein. Diese enorme Steigerungsrate hat bereits zu Konsequenzen veranlasst. So dürfen in der Ostsee nur noch Schiffe fahren, deren Treibstoff höchstens 1,5 Prozent Schwefel enthält. In der Nordsee und im Ärmelkanal sind ab 2007 dieselben Beschränkungen in Kraft. Die Europäische Union will sogar erreichen, dass ab 2012 nur noch Schiffe ihre Häfen anlaufen dürfen, deren Treibstoff maximal 0,1 Prozent Schwefel enthält.

Entschwefelte Treibstoffe oder Katalysatoren sind schon heute technisch

möglich, kommen aber wegen der höheren Kosten kaum zum Einsatz. Auch hier will das DLR einen Forschungsbeitrag leisten. Seit Mitte 2006 ist die SeaKLIM-Gruppe in ein neues Projekt namens BIOCLEAN eingebunden, das Veronika Eyrings Kollege Dr. Andreas Petzold beim DLR koordiniert. In Kooperation mit den Kollegen von MAN Diesel will das Team untersuchen, ob sich Bio- und regenerative Kraftstoffe für den Betrieb von Schiffsmotoren eignen und welches Einsparpotenzial sie bei Schadstoffen bieten. Hierbei wird es darauf ankommen, alle relevanten Stoffe, wie CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Kohlenwasserstoffe, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und Rußpartikel, in die Studien einzubeziehen.

Gleichzeitig werden auch technische Verbesserungen von Schiffsmotoren untersucht. Zu dem geplanten Arbeitspaket von BIOCLEAN zählen Messungen an Versuchs- und Vollmotoren mit alternativen und regenerativen Kraftstoffen und die Messung der Abgase. Auf theoretischer Seite will die Gruppe die zu erwartende Klimawirkung beim Einsatz alternativer Treibstoffe mit Hilfe von Computersimulationen berechnen.

Bei der fortschreitenden Globalisierung spielt der Verkehr eine wichtige Rolle. Prognosen gehen davon aus, dass das Verkehrsaufkommen auch in den nächsten Jahren weiter stark anwachsen wird. Die Herausforderungen für Wissenschaft, Technik und Politik bleiben damit vielfältig.

#### Autor:

Thomas Bürhrke ist freiberuflicher Wissenschaftsjournalist, Dr. Veronika Eyring ist im Institut für Atmosphärenforschung des DLR in Oberpfaffenhofen tätig und leitet eine Helmholtz-Nachwuchsforschergruppe.

Die Nachwuchsgruppe von Dr. Veronika Eyring vereint Wissenschaftler vom Institut für Umweltphysik der Universität Bremen (IUP) und Forscher aus dem Institut für Physik der Atmosphäre im DLR Oberpfaffenhofen (DLR-IPA).



von links nach rechts:  
Dr. Heinrich Bovensmann (IUP), Dr. Axel Lauer (DLR-IPA), Dr. Veronika Eyring (DLR-IPA), Mathias Schreier (IUP) und Klaus Franke (IUP)

Das Förder-Instrument der Nachwuchsgruppen wurde von der Helmholtz-Gemeinschaft etabliert, um einerseits die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Helmholtz-Instituten zu fördern und andererseits jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern eine gute Perspektive für ihre Karriere zu geben. Denn, wenn die Leistung nach drei- bis vierjähriger Tätigkeit durch unabhängige Experten positiv begutachtet wird, erhält die Gruppenleitung ein unbefristetes Arbeitsverhältnis an ihrem Institut. Zusätzlich werden in den Nachwuchsgruppen Doktoranden und Diplomanden ausgebildet und jungen Postdocs wird nach ihrer Promotion die Möglichkeit gegeben, sich in der Wissenschaft zu etablieren. Die Gruppen werden für maximal fünf Jahre mit durchschnittlich 250.000 Euro pro Jahr gefördert.