

Klimatologie großräumiger atmosphärischer Transportprozesse

## »Reiselustige« Schadstoffe

**Bis vor kurzem wurde Luftverschmutzung als lokales Problem angesehen. Beinahe täglich findet man jedoch Satellitenbilder, die zeigen, wie Saharastaub, Rauch von Waldbränden oder Wolken anthropogen bedingter Schadstoffe kilometerweit verfrachtet werden.**

**Diese Messdaten und zahlreiche Modellrechnungen bestätigen, dass Luftverschmutzung ein globales Problem ist. Somit können strenge Emissionsrichtlinien in einem Land durch Emissionen anderer Länder in ihrer Wirkung geschwächt werden.**

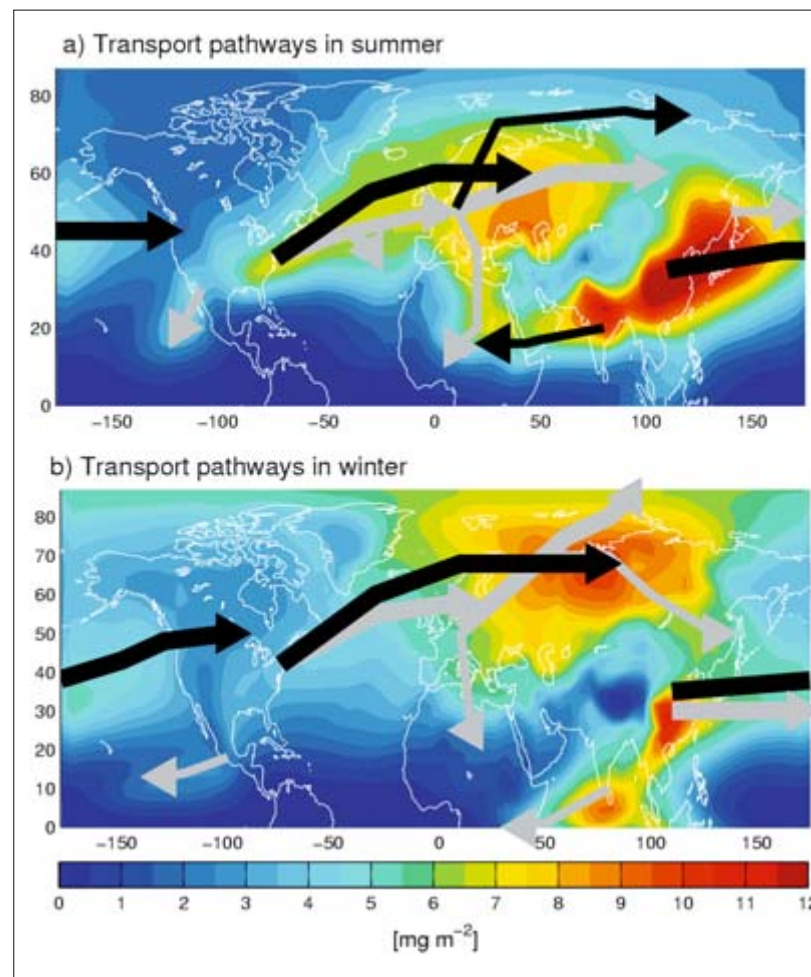
»Eine Klimatologie großräumiger atmosphärischer Transportprozesse« war das Thema der Dissertation von Dr. Sabine Eckhardt, angefertigt am TUM-Wissenschaftszentrum Weihenstephan bei Prof. Peter Fabian, emeritierter Ordinarius für Ökologiklimatologie; betreut wurde die Arbeit von Dr. Andreas Stohl, der jetzt am Norwegian Institute for Air Research (NILU) beschäftigt ist. 2004 zeichnete der Bund der Freunde der TU München e. V. sie mit einem Promotionspreis aus. Die Autorin hat den Inhalt kurz zusammengefasst:

Ziel war, die geographische Verteilung und die zeitliche Variabilität des großräumigen Transports anthropogener Luftschadstoffe zu untersuchen. Ausgehend von globalen Emissionsinventaren, wurden über einen Zeitraum von 15 Jahren anhand von Transportmodellen Berechnungen zur Ausbreitung von Schadstoffen durchgeführt. In der nördlichen Hemisphäre sind die Transportwege von den vorherrschenden Westwinden dominiert; über den Ozeanen erfolgt der Transport in der oberen Troposphäre schneller als in der unteren. Der großräumige Transport findet also meist in großen Höhen statt, wo hohe Windgeschwindigkeiten und für den Transport günstige chemische

Bedingungen herrschen. Dabei spielen frontale Systeme eine wichtige Rolle: Die Emissionen werden mehrere Kilometer gehoben und

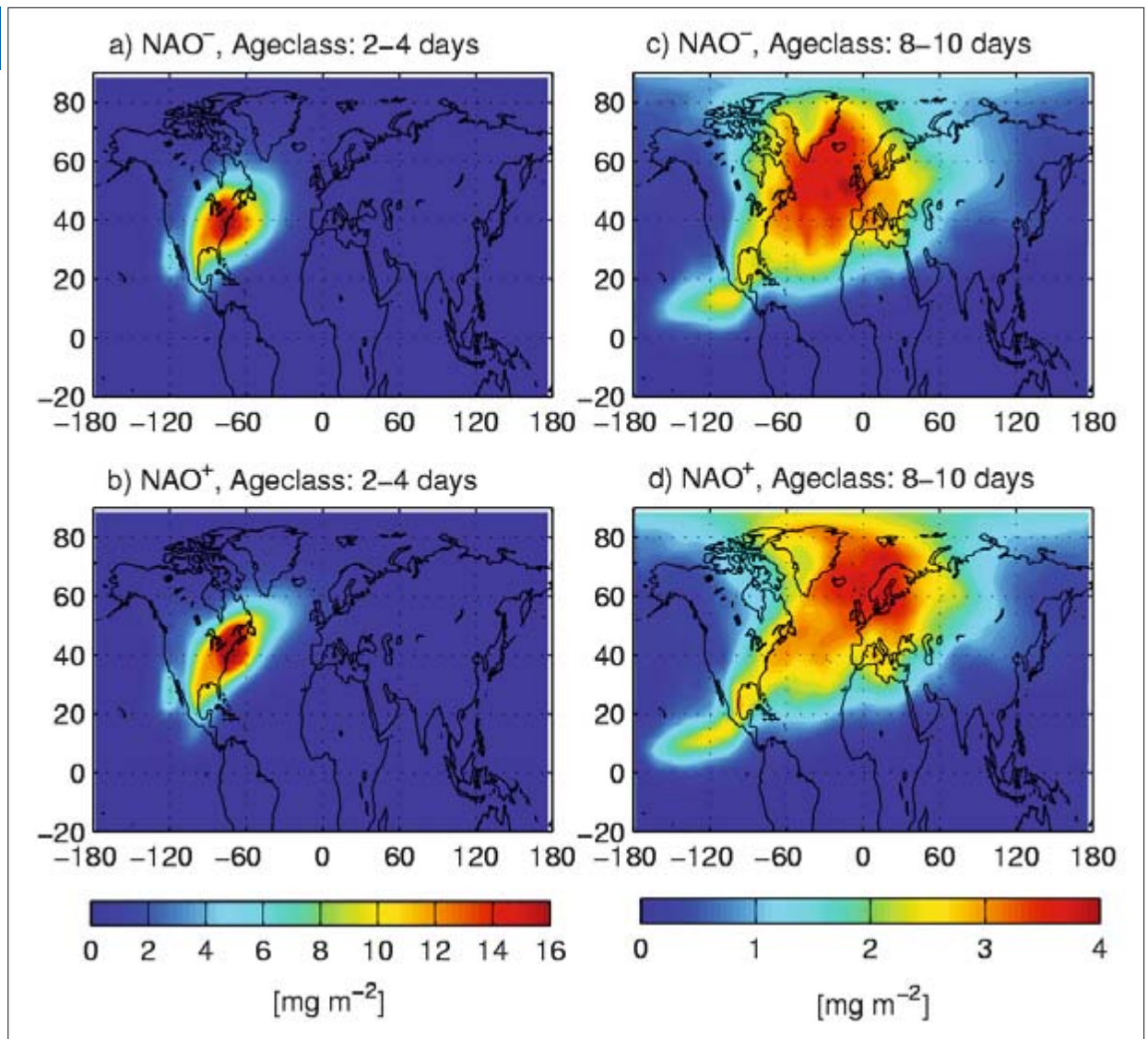
überqueren dann mit großer Geschwindigkeit die Ozeane. Verantwortlich dafür ist der »Warm Conveyor Belt«, ein schnell steigender Luftstrom vor der Kaltfront. Die größte Häufung dieser Luftströme findet man an der Ostküste Amerikas und Asiens - Gebiete mit den weltweit größten Emissionen. Eine Fallstudie zeigte, dass der Transport über den Atlantik binnen 24 Stunden passieren kann und somit auch kurzlebige Stoffe wie Ozonvorläufersubstanzen von Amerika nach Europa verfrachtet werden können.

Europäische Emissionen hingegen gelangen nahe der Erdoberfläche und vor allem im Winter in



Ausbreitung eines kontinuierlich freigesetzten Kohlenmonoxid-Tracers von den drei Kontinenten der Nordhemisphäre. Die schwarzen Pfeile zeigen den Transport in der mittleren/oberen Troposphäre, die grauen Pfeile den Transport in der unteren Troposphäre. Die farbigen Konturen stellen die Säulen des Tracers in der Altersklasse von acht bis zehn Tagen, die Pfeile beziehen sich auf den Transport zwischen der Freisetzung (Tag 0) und dieser Altersklasse.

Gesamtsäule ( $\text{mg m}^{-2}$ ) des europäischen Tracers in der Altersklasse zwei bis vier Tage (a, b) und acht bis zehn Tage (c, d) gemittelt über Wintermonate mit besonders niedrigem (a, c) und besonders hohem (b, d) NAO-Index im Zeitraum 1979 bis 1993.



arktische Regionen. Eine detaillierte Studie dieses Transportprozesses hat gezeigt, dass die Menge der transportierten Stoffe direkt abhängig ist von der Ausprägung des Islandtiefs und des Azorenhochs (Nordatlantische Oszillation, NAO). Das wurde sowohl durch Modellierung als auch durch Satellitenbilder der Verteilung von Stickstoffdioxid bestätigt.

Die unterschiedlichen Transportwege europäischer Emissionen wirken sich zunächst auf die Schadstoffkonzentrationen über Europa selbst aus. In Phasen eines sehr ausgeprägten Islandtiefs und Azorenhochs (positiver NAO) werden die Emissionen weiter nach Norden und schneller nach Osten ver-

frachtet. Dadurch finden sich - im Gegensatz zur Situation mit einem geringen Druckgradienten (negativem NAO) - acht bis zehn Tage nach Freisetzung des Tracers fast keine Emissionen mehr über dem europäischen Kontinent; das Maximum liegt vielmehr zwischen 70 und 80 Grad nördlicher Breite. Daher erhöhen sich - in Relation zum langjährigen Mittelwert - die Schadstoffkonzentrationen in Phasen mit positivem NAO-Index über Skandinavien, bei negativem NAO-Index aber über Großbritannien.

Noch viel stärker als über Europa selbst beeinflusst der mit der NAO schwankende Abtransport europäischer Emissionen die Konzentration von Spurenstoffen über

der Arktis. So ist dort bei der positiven Phase der NAO die Konzentration des Modelltracers, aber auch von Kohlenmonoxid, deutlich erhöht. Falls auch Aerosole verstärkt in die Arktis transportiert werden, könnte dies eine lokale Klimaänderung bedingen, die wiederum auf die NAO rückwirken könnte. Ein Anstieg des NAO-Index im 21. Jahrhundert, wie einige Wissenschaftler vorhersagen, würde einen vermehrten Schadstofftransport in die Arktis verursachen.

Sabine Eckhardt

Dr. Sabine Eckhardt  
sabine@eckhardt.cc