
Globale Verteilungsmuster anthropogener Stickoxidemissionen: Vergleich und Integration von troposphärischen Satellitenbeobachtungen und Modellrechnungen

Stickoxide (NO_x , $\text{NO}+\text{NO}_2$) spielen eine wichtige Rolle in der troposphärischen Chemie, zum Beispiel als Vorläufersubstanz für Ozon. Ihre Verteilung wird mit globalen Chemie-Transport-Modellen untersucht; diese benötigen Emissionsdaten als Eingabedateien. Ein weit verbreitetes Emissionskataster ist die EDGAR-Datenbank, in der anthropogene Emissionen auf Basis von Wirtschaftsdaten der einzelnen Länder abgeschätzt werden, und die große Unsicherheiten enthält.

In dieser Arbeit werden neben dem EDGAR-Kataster Satellitendaten verwendet, um die geographischen Verteilungsmuster anthropogener Stickoxidquellen abzuschätzen. Wegen der kurzen troposphärischen Lebensdauer von NO_x (≈ 1 Tag) korrelieren die Quellfelder räumlich gut mit der troposphärischen NO_2 -Verteilung, deshalb können über den durch anthropogene Emissionen dominierten Gebieten die Messungen des Satelliteninstrumentes GOME der troposphärischen NO_2 -Säulendichtefelder als Proxy für die anthropogenen Emissionen dienen. Hier werden zwei GOME-Auswertungen verwendet, eine von Richter & Burrows (IUP Bremen) und eine von Leue et al. (IUP Heidelberg). Als weiteres Proxy dienen in dieser Arbeit kalibrierte Satellitenmessungen der Lichter der Welt bei Nacht des OLS (Operational Linescan System, Defense Meteorological Satellite Program, NGDC).

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, mit Hilfe der räumlichen Korrelationskoeffizienten mindestens dreier Felder, deren Fehler als unabhängig angenommen werden können, auf die Musterfehler dieser Felder zu schließen (Korrelations-Fehleranalyse). Der Musterfehler wird hier definiert als das Verhältnis der Varianz des in einem Feld enthaltenen Fehlerfeldes zur Gesamtvarianz dieses Feldes.

Zunächst wird die Korrelations-Fehleranalyse auf die Jahresmittelwerte von vier NO_2 -Säulendichtefeldern über den durch anthropogene Emissionen dominierten Gebieten angewandt: Die beiden GOME-Auswertungen und zwei Modellrechnungen mit dem globalen Chemie-Transport-Modell MOZART. Die erste der Modellrechnungen wurde mit den auf EDGAR basierenden Standardemissionen des Modells durchgeführt, in der zweiten wurden die anthropogenen NO_x -Emissionen durch eine auf den Satellitenaufnahmen der Lichter der Welt bei Nacht basierende Quelle ersetzt. Da weder die Fehler der beiden GOME-Auswertungen (das selbe Instrument, ähnliche Auswertungsalgorithmen) noch die Fehler der beiden Modellrechnungen (beide mit MOZART gerechnet) unabhängig sind, können für die Säulendichtefelder nur Fehlerbereiche angegeben werden. Die Musterfehler der beiden Modellrechnungen liegen jeweils zwischen 18% und 50%, der Musterfehler der GOME-Auswertung von Richter & Burrows liegt zwischen 0% und 39% und der der GOME-Auswertung von Leue et al. zwischen 26% und 55%.

Bei einer Betrachtung der Emissionsfelder stehen mit EDGAR, OLS und GOME drei unabhängige Quellen für die Korrelations-Fehleranalyse zur Verfügung. Um den ungerichteten Transport zumindest teilweise auszugleichen, werden die GOME-Felder einer Entfaltung und einer Potenzierung unterzogen; dies schärft die Muster der dann als Quellfelder interpretierten Satellitenmessungen. Wenn vor der Fehleranalyse Ausreißer in den Quellfeldern eliminiert werden, lauten die hier bestimmten Musterfehler für die vier Emissionsfelder: EDGAR anthropogen: $(27 \pm 5)\%$, Lichterquelle: $(26 \pm 5)\%$, NO_x -Quelle GOME Richter: $(33 \pm 5)\%$ und NO_x -Quelle GOME Leue: $(45 \pm 5)\%$. Für EDGAR lagen bislang nur grobe Fehlerschätzungen vor; die Fehlerangaben für die Satellitenfelder können dazu beitragen, die Auswertungsalgorithmen zu verbessern.

Schließlich werden die vier Quellfelder so zu einem neuen Feld kombiniert, dass der Musterfehler dieses Kombinationsfeldes minimal wird. Unter der Annahme, dass die in dem durch anthropogene Emissionen dominierten Gebiet bestimmten Musterfehler auch in den übrigen Regionen gelten, kann eine flächendeckende anthropogene NO_x -Emissionsquelle konstruiert werden: In den biogen dominierten Gebieten werden nur die anthropogenen EDGAR-Emissionen und die Lichterquelle kombiniert; in den anthropogen dominierten Gebieten nach Möglichkeit alle vier Felder, an Gitterpunkten, an denen ein oder zwei Felder Ausreißer aufweisen oder nicht definiert sind, nur die jeweils anderen Felder. Der Musterfehler dieser Kombinationsquelle beträgt $(15 \pm 2)\%$, was eine deutliche Reduktion gegenüber den Fehlern der Ursprungsfelder darstellt.

Das so kombinierte Quellfeld ist nur bis auf einen konstanten Offset und einen konstanten Faktor bestimmt, da durch das Kombinationsverfahren nur das Muster des Feldes eindeutig festgelegt wird. Offset und Faktor werden hier relativ zur anthropogenen Quelle des EDGAR-Katasters bestimmt. Mit dem damit vollständig bestimmten Quellfeld wird eine MOZART-Modellrechnung durchgeführt. Die räumliche Korrelation des Jahresmittelwertes des troposphärischen NO_2 -Säulendichtefeldes dieser Modellrechnung mit beiden GOME-Auswertungen ist besser als die der ursprünglichen Modellrechnungen mit der EDGAR- oder der Lichterquelle.