

Michael Buchwitz  
Institut für Umweltphysik (IUP)  
Universität Bremen FB1  
Otto Hahn Allee 1  
28334 Bremen  
Tel.: (0421) 218-4475  
Fax: (0421) 218-4555  
E-mail: [Michael.Buchwitz@iup.physik.uni-bremen.de](mailto:Michael.Buchwitz@iup.physik.uni-bremen.de)

Bremen, 16. Juli 2009

## **Treibhausgas-Messungen aus dem Weltraum mittels ENVISAT: Kohlendioxid und Methan**

Was machen wir und warum machen wir es?

Wir entwickeln physikalisch-mathematische Verfahren zur Bestimmung der globalen Verteilung der beiden wichtigsten Treibhausgase CO<sub>2</sub> und Methan aus den „Rohdaten“ des SCIAMACHY-Instrumentes auf dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT.

Auf unserer Website

[http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/NIR\\_NADIR\\_WFM\\_DOAS/](http://www.iup.uni-bremen.de/sciamachy/NIR_NADIR_WFM_DOAS/)

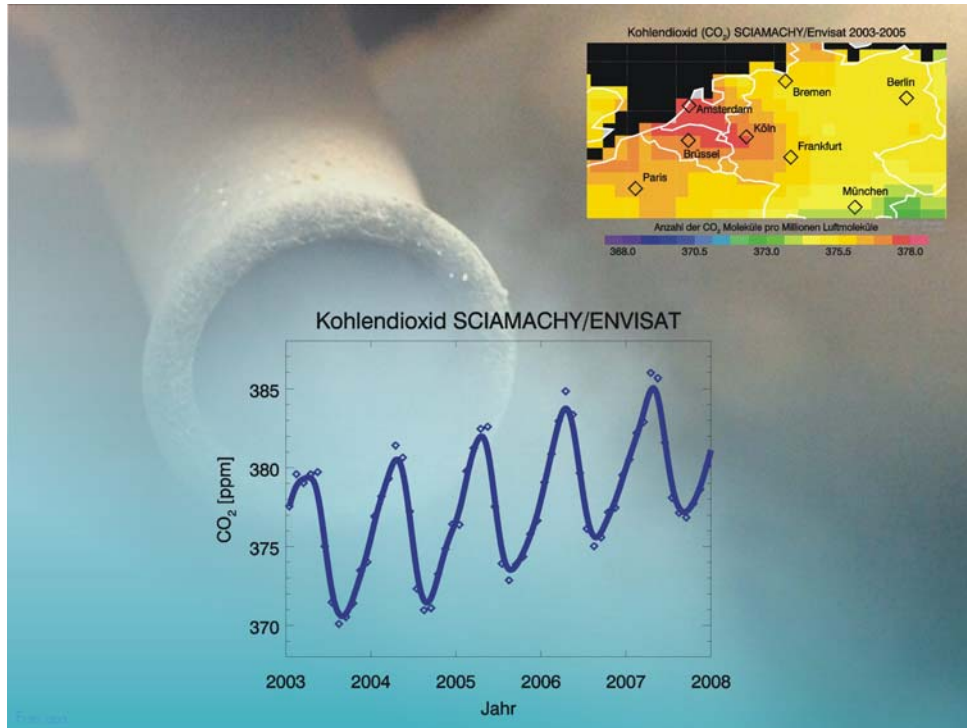
befindet sich fast alles, was wir so tun (Texte, Bilder und vieles mehr) - aber leider ist dort fast alles nur englisch da wir nicht die Zeit haben alles zu übersetzen.

Daher hier wenigstens eine kleine Übersicht auf deutsch.

Auf der nächsten Seite geht's los.

# 1. Treibhausgas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Satelliten-Messungen des atmosphärischen Kohlendioxids:



ENVISAT-Messungen des atmosphärischen Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>). SCIAMACHY auf ENVISAT ist weltweit das erste Instrument, mit dem die globale Verteilung des wichtigen Treibhauses CO<sub>2</sub> mit hoher Empfindlichkeit bis zum Erdboden aus dem Weltraum bestimmt werden kann. Die gezeigte Kurve und die Karte wurden mittels eines an der Universität Bremen entwickelten Verfahrens aus den spektralen Messungen von SCIAMACHY abgeleitet. Die dicke blaue Kurve zeigt die jahreszeitlichen Schwankungen des CO<sub>2</sub> sowie dessen stetigen Anstieg. Der CO<sub>2</sub> Anstieg entsteht überwiegend durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl und Gas) in Kraftwerken, Industrie, Haushalten und Verkehr. Mittels SCIAMACHY ist es erstmals gelungen, regional erhöhte Konzentrationen des CO<sub>2</sub> über Ballungsgebieten aus dem Weltraum nachzuweisen, z.B. über dem bevölkerungsreichen Rhein-Main Gebiet (Karte oben rechts). Die starken jahreszeitlichen Schwankungen entstehen durch die Aufnahme und Abgabe von CO<sub>2</sub> durch Pflanzen.

### Hintergrundinformation zu CO<sub>2</sub>:

Kohlendioxid ist das wichtigste vom Menschen verursachte Treibhausgas und trägt am stärksten zum weltweiten Klimawandel bei. Die Hauptquelle von CO<sub>2</sub> ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe, also von Öl, Kohle und Gas, zum Beispiel durch Verkehr, Industrie oder im Haushalt.

Jedes Jahr werden viele Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> durch Verbrennung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre abgegeben. Trotz Kyoto-Protokoll ist der CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre ungebremst. Glücklicherweise tut uns die Natur derzeit den Gefallen, etwa die Hälfte des emittierten CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre „zu entsorgen“. Hierbei wird das CO<sub>2</sub> von sogenannten CO<sub>2</sub>-Senken aufgenommen.

Derzeit geht man davon aus, dass die Ozeane etwa ein Viertel des vom Menschen emittierten CO<sub>2</sub> aufnehmen – was leider zur Übersäuerung der Meere mit allen negativen Konsequenzen führt. Ein weiteres Viertel wird von Land-Senken aufgenommen wie zum Beispiel die sibirischen und kanadischen Wälder. Wo genau sich diese Senken befinden und wie stark sie sind ist derzeit zu großen Teilen unbekannt oder zumindest mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Dies liegt im wesentlichen daran, dass es kein globales flächendeckendes CO<sub>2</sub>-Beobachtungssystem gibt.

Zwar gibt es hochgenaue Verfahren zur Messung der lokalen CO<sub>2</sub>-Konzentration, es existieren derzeit jedoch nur etwa 100 sehr ungleichmäßig über die Erde verteilte Meßstationen. Globale Satellitenmessungen können hier wichtige Wissenslücken schließen.

Ein gutes Verständnis der Quellen- und Senken des CO<sub>2</sub> ist unverzichtbar für eine zuverlässige Vorhersage des Klimas unseres Planeten. Hierbei ist es insbesondere wichtig zu wissen, wie sich die derzeitigen natürlichen CO<sub>2</sub>-Senken in der Zukunft verhalten werden: Werden sie starke Senken bleiben, werden sie sättigen, sich also neutral verhalten, oder werden sie gar zu CO<sub>2</sub>-Quellen, wenn die Klimaerwärmung zunimmt?

Um diese und ähnliche Fragen zu den Quellen und Senken des CO<sub>2</sub> zu klären gibt es weltweit eine Vielzahl verschiedener Forschungsaktivitäten. Hierbei spielt das sehr junge Gebiet der CO<sub>2</sub>-Messungen aus dem Weltraum eine zunehmend wichtigere Rolle. Im Februar diesen Jahres wurde z.B. ein japanischer Satellit („GOSAT“) gestartet, welcher eigens für die hochgenaue Messung von CO<sub>2</sub> und Methan optimiert wurde. Dieser Satellit beruht auf ähnlichen Prinzipien wie das von der Universität Bremen wissenschaftlich betreute Satelliteninstrument SCIAMACHY.

Das Satelliteninstrument SCIAMACHY auf ENVISAT ist das erste Satelliteninstrument überhaupt, welches die dringend benötigten CO<sub>2</sub> Messungen aus dem Weltraum durchführen kann.

SCIAMACHY misst die von Erdboden und Atmosphäre zurück gestreute Sonnenstrahlung. Aus diesen Messungen lassen sich die atmosphärischen Konzentrationen einer Vielzahl von Spurengasen bestimmen, die für die Luftqualität, den Treibhauseffekt und die Ozonchemie wichtig sind. Das Institut für Umweltphysik der Universität Bremen ist weltweit führend in der Entwicklung von Verfahren zur Ableitung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie er Messung einer Vielzahl weiterer wichtiger atmosphärischer Spurengase und anderer Parameter aus den spektralen Messungen von SCIAMACHY und ähnlichen Instrumenten.

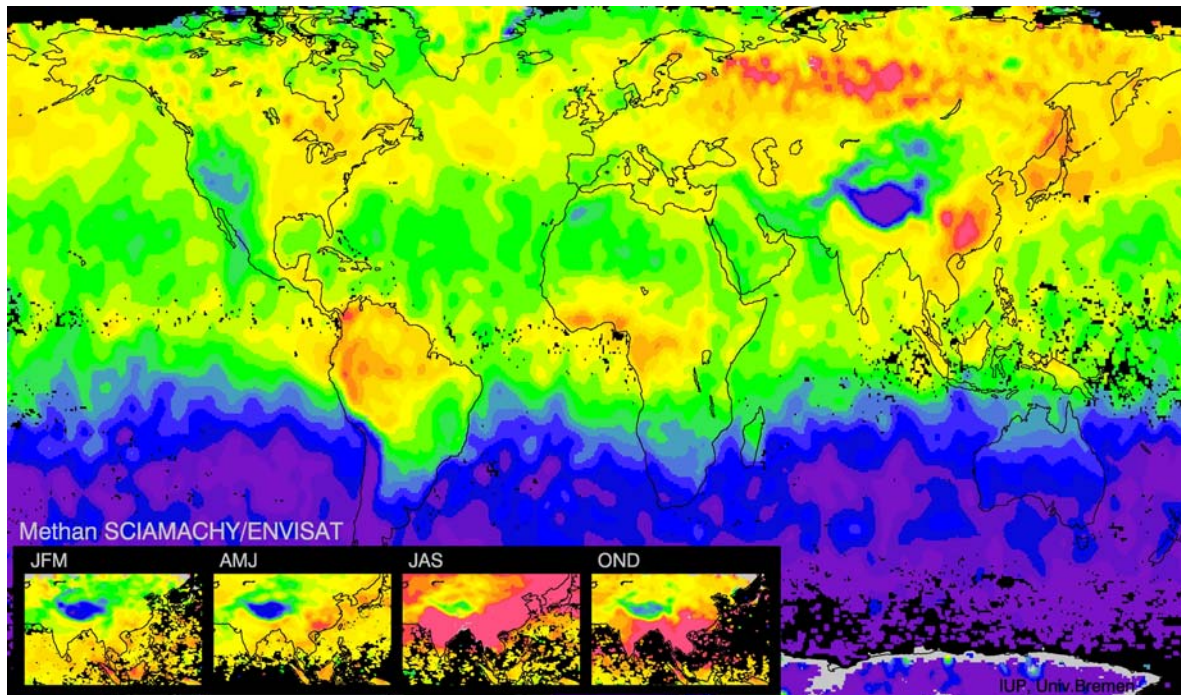
Um zur Beantwortung der oben genannten Fragen bezüglich der Quellen und Senken des CO<sub>2</sub> beitragen zu können, ist eine sehr hohe Messgenauigkeit erforderlich. Diese wird derzeit für CO<sub>2</sub> noch nicht unter allen Bedingungen erreicht. Im Vergleich zu anderen Gases ist CO<sub>2</sub> sehr schwer zu messen. Zwar kann man sehr genau die Hintergrundkonzentration des CO<sub>2</sub> bestimmen, da diese vergleichsweise groß ist, aber dies ist nicht sonderlich interessant. Interessant sind im wesentlichen die relativ kleinen Variationen des CO<sub>2</sub>, welche die Informationen über die Quellen und Senken des CO<sub>2</sub> tragen. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Komplexität des Messprozesses und der Datenauswertung. Bei der Datenauswertung muss der gesamte Messprozess simuliert werden, insbesondere der Weg des Sonnenlichts durch die Erdatmosphäre bis zu dem Zeitpunkt, bei dem die Strahlung vom Satelliten detektiert wird. Das Sonnenlicht wird dabei von seinem geraden Weg durch eine Vielzahl von Prozessen abgelenkt, z.B. durch Streuung an Staubteilchen (Aerosole) und Wolken. Die Verfeinerung des Auswerteverfahrens für CO<sub>2</sub> ist einer der Schwerpunkte des Instituts für Umweltphysik in den nächsten Jahren.

Es ist den Umweltphysikern der Universität Bremen jedoch bereits der Nachweis gelungen, dass kleinste Veränderungen der CO<sub>2</sub> Konzentration im Bereich eines Prozents oder weniger aus dem Weltraum - aus 800 Kilometern Entfernung - mittels SCIAMACHY detektiert werden können. So können wichtige raum-zeitliche Muster des CO<sub>2</sub> wie zum Beispiel die jahreszeitlichen Schwankungen, die Konzentrationsunterschiede zwischen der Nord- und der Südhalbkugel, der relativ stetige CO<sub>2</sub>-Anstieg und – weltweit erstmalig - regionale Erhöhungen des CO<sub>2</sub> über wichtigen Ballungsgebieten, klar detektiert werden.

Atmosphärisches CO<sub>2</sub> hat eine lange Lebensdauer von vielen Jahren. Daher wird CO<sub>2</sub>, welches lokal emittiert wird, über lange Strecken mit dem Wind transportiert. Um die Satellitenmessungen des CO<sub>2</sub> interpretieren zu können muss dies unbedingt berücksichtigt werden, z.B. mittels globaler Modelle. Diese Modelle ähneln denjenigen, welche für die Wettervorhersage verwendet werden. Des weiteren müssen die Satellitendaten „validiert“ werden, das heißt mit genauen Messungen am Erdboden, vom Flugzeug oder vom Schiff aus verglichen werden. In all dieses Aktivitäten sind die Umweltforscher vom Institut für Umweltphysik der Universität Bremen involviert. Diese Aktivitäten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit allen wichtigen weltweit führenden Institutionen, die auf diesem Gebiet tätig sind.

## 2. Treibhausgas Methan (CH<sub>4</sub>)

Globale Verteilung des Treibhausgases Methan:



Globale Verteilung des Treibhausgases Methan. Hohe Konzentrationen sind in rot dargestellt, mittlere in grün und gelb, niedrige Konzentrationen in blau. Die Karten wurden mit einem an der Universität Bremen entwickelten Verfahren aus den spektralen Messungen des auf ENVISAT befindlichen SCIAMACHY Instrumentes abgeleitet. Die große Karte zeigt den Jahresmittelwert. Klar zu erkennen ist, dass die höchsten Methan-Konzentrationen über der Nordhemisphäre anzutreffen sind, da sich dort die meisten Methanquellen befinden (Sümpfe, Reisfelder, Erdgas und Kohleförderung, etc.). Die wichtigsten Quellregionen sind ebenfalls klar zu erkennen: China (Reis), Sibirien (Sümpfe), sowie die Tropen (Sümpfe). Daneben gibt es eine Vielzahl anderer wichtiger Quellen wie z. B. Wiederkäuer und Termiten. Die meisten Methan-Quellen sind zeitlich sehr variabel wie die Messungen über China und Indien zeigen (unten links). Die höchsten Konzentrationen beobachtet man im Sommer, wenn es warm und feucht ist.

### Hintergrundinformation zu Methan:

Methan ist das zweitwichtigste Treibhausgas, gleich nach Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Es ist jedoch 20- bis 30-mal klimawirksamer als CO<sub>2</sub>. Das es derzeit nicht das wichtigste Treibhausgas ist liegt daran, dass es in geringeren Konzentrationen als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre vorkommt.

Hoffen wir, dass dies so bleibt. Es wird jedoch befürchtet, dass in nicht allzu ferner Zukunft, wenn sich das Klima weiter erwärmt haben könnte, große Methanmengen z.B. aus den nördlichen Permafrostgebieten freigesetzt werden. Dort ist das Methan im gefrorenen Erdboden seit Jahrtausenden gefangen. Es würde jedoch frei gesetzt werden, wenn die Permafrostgebiete auftauen.

Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas und Biogas und entsteht überall dort, wo unter Luftabschluss organische Materie durch Mikroben zersetzt wird, z.B. in Sümpfen. Methan hat eine Vielzahl von weiteren Quellen: Reisfelder, Wiederkäuer wie Schafe und Rinder, Termiten und viele mehr. Die meisten Quellen sind sehr variable und ihre Quellstärke ist oft nur ungenau bekannt.

Die ersten globalen Karten der atmosphärischen Methanverteilung wurden mittels des SCIAMACHY-Instrumentes auf dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT erstellt. Das Institut für Umweltphysik der Universität Bremen war an der Erstellung dieser Karten zusammen mit anderen Instituten in Deutschland und den Niederlanden führend beteiligt.

Die Ableitung der atmosphärischen Methankonzentration aus den im Weltraum durchgeführten Messungen von reflektiertem und zurückgestreutem Sonnenlicht erfordert geeignete und recht aufwendige Auswerteverfahren, die an der Universität Bremen entwickelt wurden und derzeit weiter entwickelt werden.

Bereits die ersten von SCIAMACHY gelieferten Karten der globalen Methanverteilung verursachten weitweit großes Interesse - sowohl bei den Klimaforschern als auch bei der Presse: Die SCIAMACHY Messungen zeigten unerwartet sehr hohe Methankonzentrationen insbesondere über dem tropischen Regenwald. Unabhängige Labormessungen legten nahe, dass es eine starke bisher unbekannte Methanquelle geben könnte: lebende Pflanzen. Es wurde vermutet, dass dies die hohen tropischen Methankonzentrationen erklären könnte. Diese Resultate und ihre möglichen Erklärungen sorgten für eine Vielzahl von Forschungsaktivitäten sowie im Labor, wie auch im Feld, als auch was die Verfeinerung der Satellitendatenauswertung betrifft. Dieses hat zu einer Vielzahl weiteren und genaueren Erkenntnissen bezüglich des wichtigen Treibhausgases Methan geführt. Dies ist auch derzeit noch ein Gebiet, auf dem intensiv geforscht wird. Das letzte Wort bezüglich des tropischen Methans ist noch nicht gesprochen. Es scheint inzwischen klar zu sein, dass die Tropen in der Tat eine starke Methanquelle sind, als man bis vor wenigen Jahren dachte. An der genauen Quantifizierung der Stärke der tropischen Methanemissionen wird intensiv gearbeitet. Hierbei spielt das Institut für Umweltphysik der Universität Bremen eine wichtige Rolle aber auch eine Vielzahl weiterer europäischer Institutionen.

Die Methan-Forschung konzentriert sich aber nicht nur auf die Tropen, da es eine Vielzahl weiterer wichtiger Quellgebiete gibt, wie z.B. China und Indien.

Es wird derzeit daran gearbeitet eine globale Datenbank der Methanemissionen zu erstellen, bei der jede Region der Erde erfasst wird. Hierbei spielen die globalen Messungen des SCIAMACHY-Instrumentes eine zentrale Rolle.