

Spurensuche aus der Ferne

Wie erhält man die Daten, von denen in den bisherigen Artikeln die Rede war /

Ein Blick hinter die Kulissen der Datengewinnung und -auswertung / Von Volker Küll

Wie erhält man eigentlich die in den vorhergehenden Artikeln verwendeten CRISTA-Daten? Ein Blick hinter die Kulissen der Datengewinnung und -auswertung wird auch dadurch interessant, daß CRISTA nicht vor Ort in der Atmosphäre sondern des besseren Überblicks willen etwa 2000 Kilometer vom Meßort entfernt aus dem Weltraum mißt.

Wie alle warmen Körper sendet auch die Atmosphäre unsichtbare Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) aus. Indem man diese Infrarotstrahlung mißt, die auch nachts bei Dunkelheit emittiert wird, kann man auf Art, Temperatur und Menge atmosphärischer Spurengase schließen. Viele dieser Gase sind dabei an Strahlungsemissionen bei typischen Wellenlängen (das entspräche Farben im Sichtbaren) erkennbar. Die Verteilung der „Farbanteile“, d.h. deren Intensitäten faßt man in einem Spektrum zusammen.

In Abbildung 1 erkennt man beispielsweise deutlich die charakteristischen Signaturen des Ozons, des CO₂ und des ozonschädlichen FCKW Freon 11.

Wie mißt CRISTA solche Spektren? Die von drei Teleskopen gleichzeitig eingesammelte Infrarotstrahlung wird in vier Spektrometern nach Anteilen verschiedener Wellenlängen zerlegt. Die zur Zerlegung verwendeten optischen Gitter nutzen dabei den gleichen Effekt, der beispielsweise auch das farbige Schimmern einer CD-Rückseite verursacht. Etwa 3000 verschiedene „Farbanteile“ werden von speziellen Detektoren gemessen und in elektrische Spannungen umgewandelt. Die digitalisierten Spannungswerte werden auf Magnetbänder aufgezeichnet, die mit CRISTA zusammen nach Wuppertal zurückkehren. Um die von CRISTA selbst ausgehende Infrarotstrahlung zu unterdrücken, wird die gesamte Optik mit flüssigem Helium auf bis zu minus 269 Grad Celsius abgekühlt! Zur Ortsbestimmung von CRISTA werden die GPS-Satelliten genutzt, deren Signale auch in der Navigation verwendet werden. Die Ausrichtung wird durch einen Sternsensor bestimmt, der den Sternhimmel mit abgespeicherten Himmelskarten vergleicht. Hiermit kann jedem Spektrum der Meßort zugeordnet werden. Vor und nach jedem Flug werden die Optik und die Empfindlichkeit der Detektoren geeicht, um die gemessenen Spektren von elektrischen Spannungen in wirkliche Intensitäten zurückrechnen zu können. Für bekannte Konzentration und Temperatur sind in zahlreichen weltweiten Labormessungen die Spektren vieler einzelner Gase jeweils vermessen worden.



Diplom-Physiker Volker Küll, wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Wuppertaler Arbeitsgruppe Weltraumforschung im Fachbereich Physik.

Als wichtiger Auswerteschritt hat das sogenannte Retrieval nun die umgekehrte Aufgabe, aus den gemessenen sich überlagernden Spektren der atmosphärischen Spurengase mit Hilfe der Labordaten wieder auf Temperatur und Konzentrationen zurückzuschließen.

Aus der Strahlung des CO₂ wird dabei zuerst die Atmosphärentemperatur bestimmt, woraus sich anschließend aus der Strahlung der anderen Spurengase deren Konzentration ableiten läßt. Die Meßtechnik von CRISTA ist dabei so empfindlich, daß zum Beispiel das oben erwähnte Spurengas FCKW 11 noch in einer Verdünnung von 3 : 100.000.000 nachgewiesen werden kann; das entspricht vom Volumenverhältnis her einer Stecknadel in einem 15 Meter

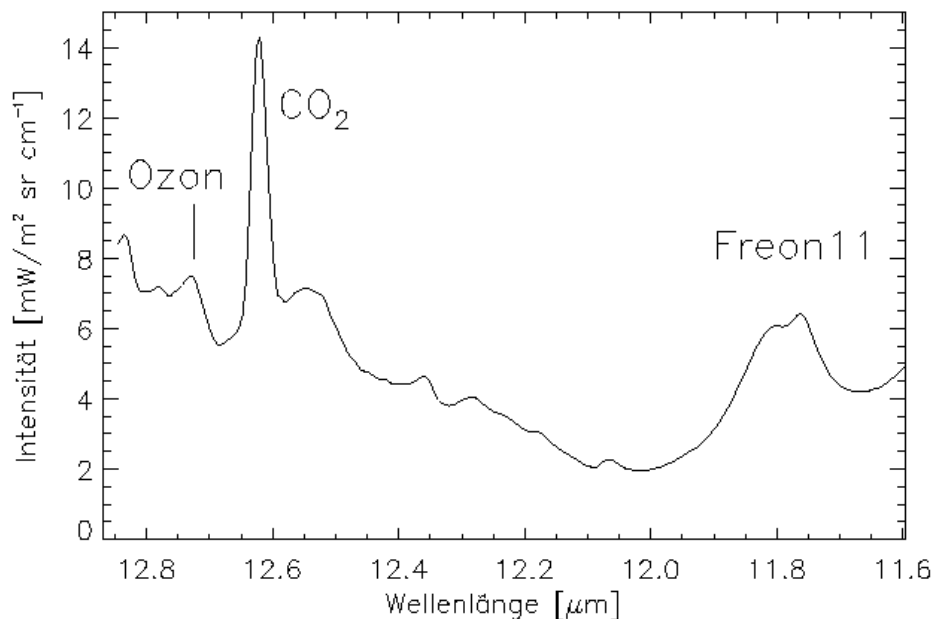


Abbildung 1 zeigt eine der rund 1,5 Millionen pro Flug von CRISTA gemessenen Spektren.

breiten und fünf Meter hohen
Heuhaufen...

Da CRISTA die Atmosphäre von außen beobachtet, wird nicht nur die Strahlung vom interessierenden Meßort in der Atmosphäre gemessen, sondern gleichzeitig auch die Strahlung der darüber liegenden Luftschichten. Um diese unerwünschten Anteile berücksichtigen zu können, bedient man sich eines Tricks, des sogenannten Onion-peeling- („Zwiebelschäl“-) Verfahrens: Mittels kipp-barer Spiegel schwenkt CRISTA die Sehstrahlen der Teleskope stufenweise nach unten. Man bestimmt zuerst die Temperatur und Spurengaskonzentration in der obersten gemessenen Höhe und geht dann zur nächsten Höhenstufe darunter. Hier kann die nun bekannte Strahlung aus der zuvor gemessenen Höhenstufe mit eingerechnet werden. So arbeitet man sich eine „Zwiebelschale“ nach der anderen nach unten, bis ein ganzes Höhenprofil ausgewertet ist. Dieses Verfahren wird für beide CRISTA-Flüge an jeweils etwa 50.000 Profilen für die Konzentrationen von 12 Spurengasen und die Temperatur angewendet.

Abbildung 2 zeigt die sogenannte Transportbarriere auf der südlichen Halbkugel, die Nord-Süd-Transporte unterdrückt und für die globale Zirkulation von Bedeutung ist. Die Genauigkeit der Auswertemethoden wird laufend verbessert, und es muß sichergestellt werden, daß keine Instrumenteneffekte die Meßdaten verfälschen. Diese „Qualitätssicherung“, die die Zuverlässigkeit der CRISTA-Daten garantiert, schließt nicht zuletzt eine Menge Handarbeit beim Beurteilen der Meßergebnisse mit ein. Somit wird auch verständlich, warum die globalen Karten von Spurengaskonzentrationen und Temperatur nicht unmittelbar nach einem Flug verfügbar sind.

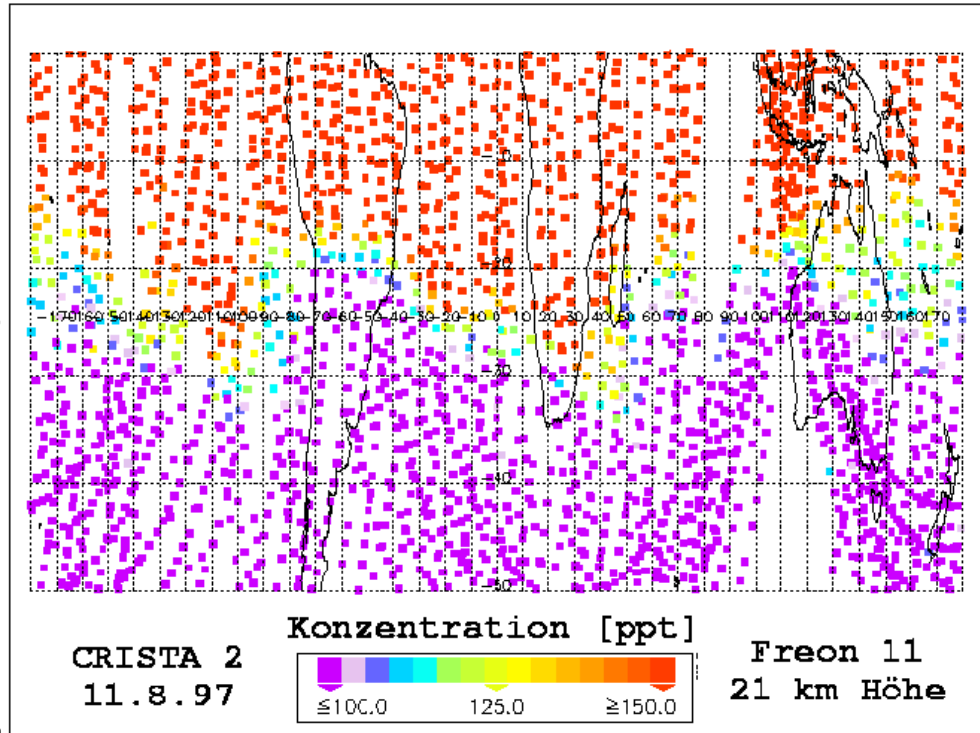


Abbildung 2: Die Transportbarriere, die hier hohe und niedrige Freon 11 - Konzentrationen voneinander trennt, zeigt nahe Südamerika und Südafrika wellenartige Deformationen.