

A satellite with a gold-colored body and blue panels is shown in space. It has a large white rectangular panel extending from its side and a long array of solar panels trailing behind it. The Earth is visible in the background, showing a blue horizon and a brownish landmass. The text is overlaid on the lower part of the image.

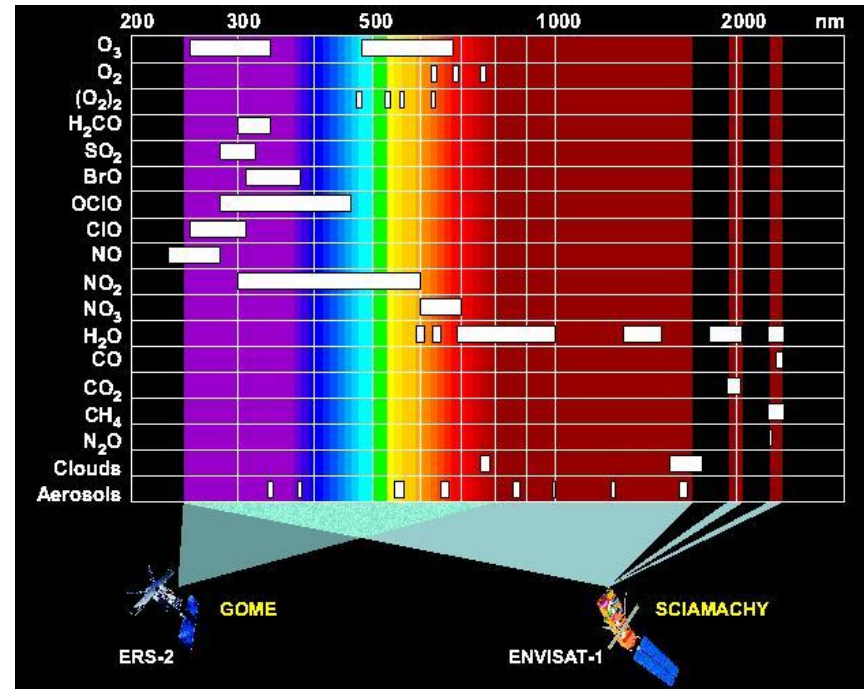
Spurengasmessung von
Satellitengetragenen Sensoren:
Der Sensor SCIAMACHY

Inhaltsverzeichnis

- Der Sensor SCIAMACHY
- Strahlungstransport in d. Erdatmosphäre
- Strahlungstransfergleichung im UV-NIR
- DOAS
- Messverfahren v. SCIAMACHY
- Datenprodukte von SCIAMACHY und deren Verarbeitung
- Zusammenfassung & Ausblick

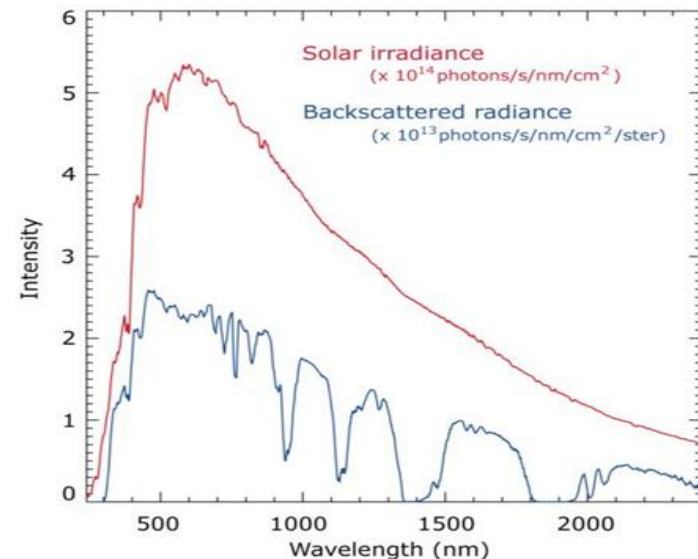
Der Sensor SCIAMACHY

- ein **passives** im **UV, VIS, NIR** arbeitendes Mehrkanal-**Beugungs-Spektrometer** mittlerer Auflösung
- **misst transmittiertes / reflektiertes Sonnenlicht** von UV bis NIR
- Kanäle 1-6 messen durchgehend von **230-1760nm**
- Kanäle 7 u. 8 in zwei atmosphärischen Fenstern von **2265nm und 2380nm**



Strahlungstransport in der Erdatmosphäre im UV, VIS, NIR

- Sonne wichtigste Quelle für SCIAMACHY im UV, VIS, NIR
- **atmosphärische Fenster** erlauben **Sondierung d. Atmosphäre** – große Fenster im VIS, NIR
- Im **UV, VIS v.a. Streuung und Absorption** - komplexe Molekül-Spektren sog. „Bandenspektren“
- **Strahlungstransportmodelle** notwendig um **Strahlungsdichten am Sensor** zu modellieren und invertieren

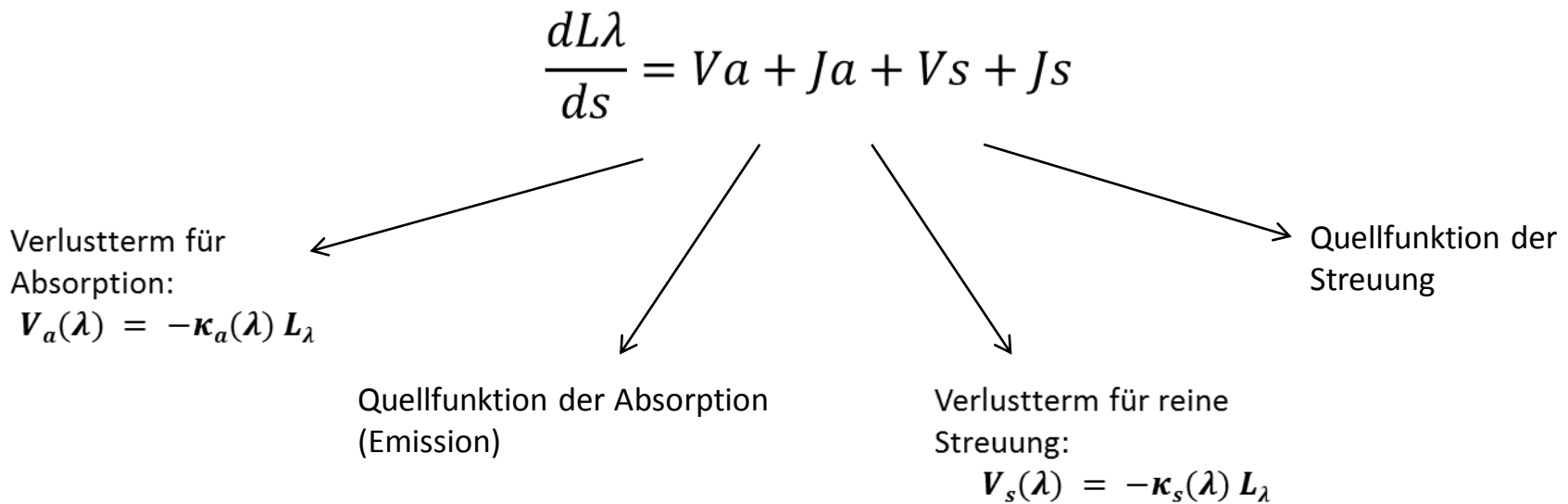


NASA (2007)

IUP-Bremen (2012)

Ansatz für Strahlungsübertragung

- Beschreibt allgemein die **Änderung der spektralen Strahldichte** entlang eines Weges ds :



$L\lambda$... spektrale Strahldichte [$\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$]

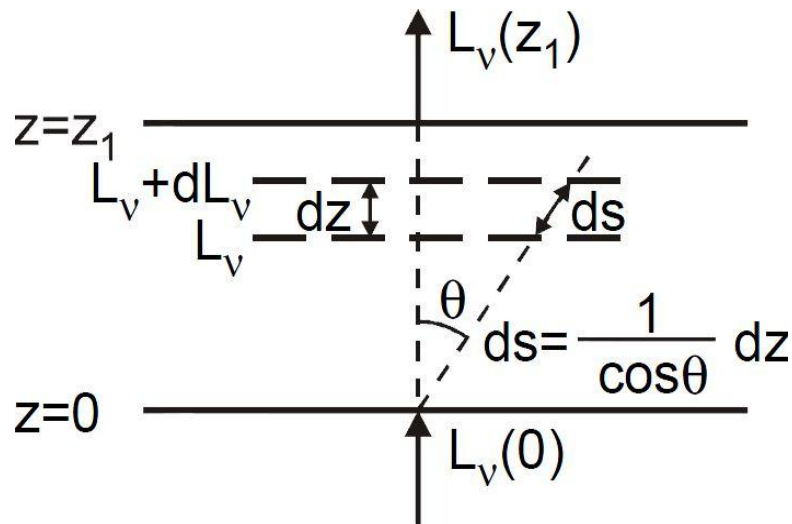
$\kappa_a(\lambda) = \sigma \rho(s)$... Volumsabsorptionskoeffizient [m^{-1}]

$\sigma(\lambda)$... Absorptionsquerschnitt eines Gasmoleküls bei gegebener Wellenlänge [m^2]

$\rho(s)$... Zahl der Moleküle im Einheitsvolumen [m^{-3}]

Lambert'sches Gesetz

- Abschwächung d. Strahlung bei Durchgang entspricht der Integration der **Verluste** entlang eines Weges ds :



$$L(\lambda, s) = L_{0, \lambda} \exp\left[-\int_{z_0}^{z_1} \kappa a(\lambda) ds\right]$$

$$\tau_{\lambda}(s) = \int_{z_0}^{z_1} \kappa a(\lambda) ds$$

$$ds = \frac{dz}{\cos(\theta)}$$

$$\text{AMF} = \frac{\int_{z_0}^{z_1} \kappa a(\lambda) ds}{\int_{z_0}^{z_1} \kappa a(\lambda) dz} = \frac{\tau_{\lambda}(s)}{\tau_{\lambda}(z)}$$

$L(\lambda, s)$... Strahldichte bei gegebener Wellenlänge und Wegstrecke [$\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$]

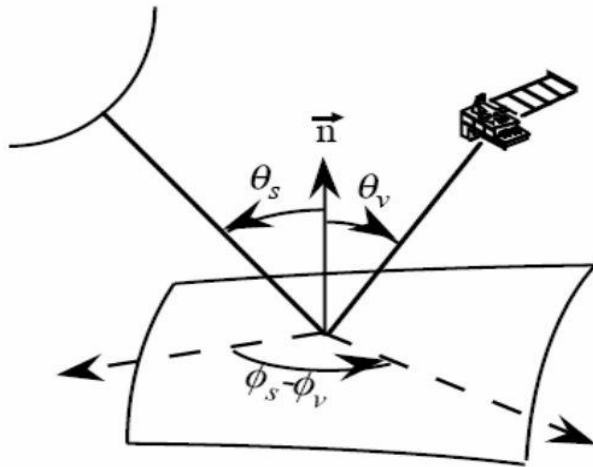
L_0 ... Anfangsstrahldichte [$\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$]

$\tau_{\lambda}(s)$... optische Dicke

Strahlungsübertragung für Sonnenstrahlung

- Ausbreitung für ein **absorbierendes und streuendes Medium** d.h. **Emission $B_\lambda(T) = 0$**

$$\frac{dL\lambda}{ds} = -\kappa_e(\lambda)L\lambda(\theta, \Phi) + \frac{\kappa_s(\lambda)}{4\pi} \iint_{0,0}^{2\pi,\pi} L\lambda(\theta_s, \Phi_s)P(\psi) \sin(\theta_s) d\theta_s d\Phi_s ,$$



$\kappa_e(\lambda)$... Extinktionskoeffizient $\kappa_a(\lambda) + \kappa_s(\lambda)$

$P(\Psi)$... Phasenfunktion d. Streuung

Ψ ... Streuwinkel - Winkel zw. θ_s, Φ_s u. θ_v, Φ_v

Richtung d. direkten Sonnenstrahlung θ_s, Φ_s

Richtung d. gestreuten Strahlung θ_v, Φ_v

- Parametrischer Ansatz für die **scheinbare Helligkeit am Satelliten** am Beispiel des **Strahlungstransfer-Modell (ST-M) 6S**:

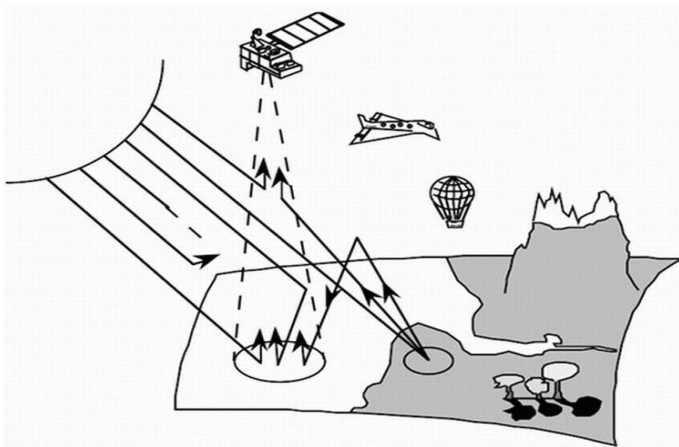
$$\rho^*(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) = \rho_a(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) + \frac{T(\theta_s)}{1 - \rho_t S} (\rho_t e^{-\tau/\mu_v} + \rho_t t'_d(\theta_v))$$

- Gesamt Transmissionsvermögen

$$T(\Theta_s) = \exp(-\tau/\mu_s) + t_d(\Theta_s)$$

- Damit lässt sich obige Gleichung umschreiben zu

$$\rho^*(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) = \rho_a(\theta_s, \theta_v, \phi_s - \phi_v) + \frac{\rho_t}{1 - \rho_t S} T(\theta_s) T(\theta_v)$$



mit

$$T(\theta_v) = e^{-\tau/\mu_v} + t_d(\theta_v)$$

- für bestimmte atmosphärische Bedingungen (Randbedingungen) vom 6S Code generierte **Strahlungswerte am Satelliten beim Passieren der Atmosphäre bei 2150nm (blau) und 2160nm (grün)**

atmospheric model description

atmospheric model identity :

midlatitude summer (uh2o=2.93g/cm2,uo3=.319cm-atm)

aerosols type identity :

Urban aerosol model

optical condition identity :

visibility : 16.10 km opt. **thick. 550 nm : 0.3000**

spectral condition

monochromatic calculation at wl **2.150 micron**

monochromatic calculation at wl **2.160 micron**

- **Output des ST-Modell 6S:**

integrated values of :

2.150 micron

		downward	upward	total
global gas. trans. :		0.98191	0.98392	0.96829
water " " :		0.98418	0.98592	0.97245
ozone " " :		1.00000	1.00000	1.00000

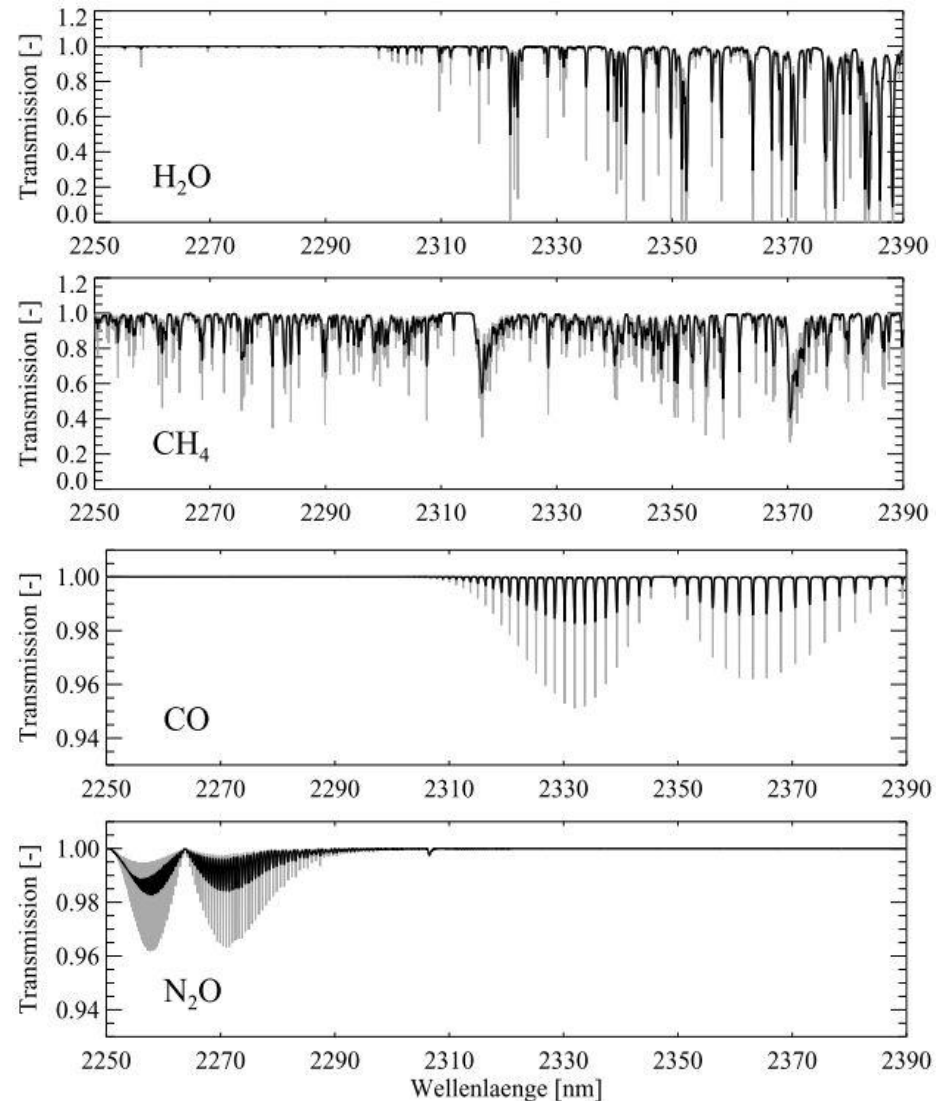
rayl. sca. trans. :		0.99976	0.99979	0.99954
aeros. sca. " :		0.96325	0.96780	0.93223
total sca. " :		0.96278	0.96739	0.93138

2.160 micron

		downward	upward	total
global gas. trans. :		0.88901	0.89862	0.83244
water " " :		0.89579	0.90467	0.84406
ozone " " :		1.00000	1.00000	1.00000

Differentielle Optische Absorptionsspektroskopie (DOAS)

- Messung der **spektralen Reflexion von Sonnenstrahlung**
- Moleküle haben Wellenlängenabhängigen „**Absorptionsquerschnitt**“ [m^{-2}], es ergeben sich charakteristische **Linienpektren**
- Spurengasmessung mittels **Vergleich des reflektierten Signals** von benachbarten Wellenlängen **innerhalb und außerhalb von Absorptionsbanden**
- es lassen sich **chemischen Verbindungen qualitativ und quantitativ nachweisen**



Buchwitz (2000)

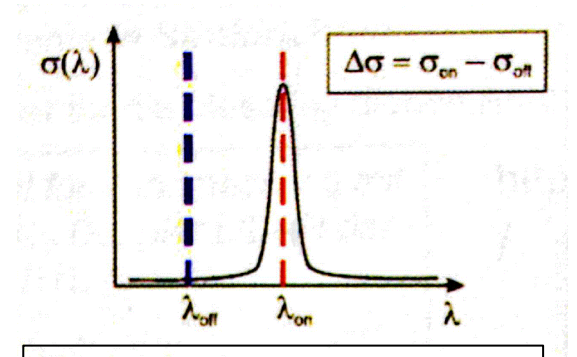
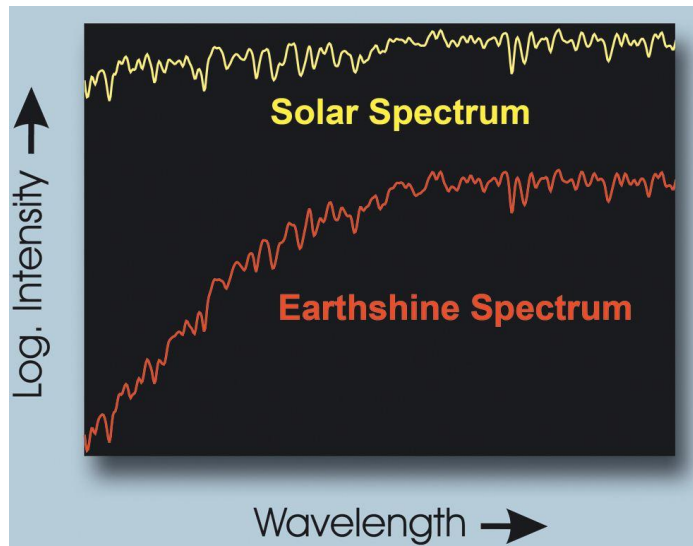
IUP Bremen / SCIAMACHY (2011b)

Philipp Hochstaffl

- **Transmissionsvermögen** als **Verhältnis** der Intensitäten v. **direkter** Sonnenstrahlung am Satelliten und **reflektierter Strahlung** d. **Atmosphäre:**

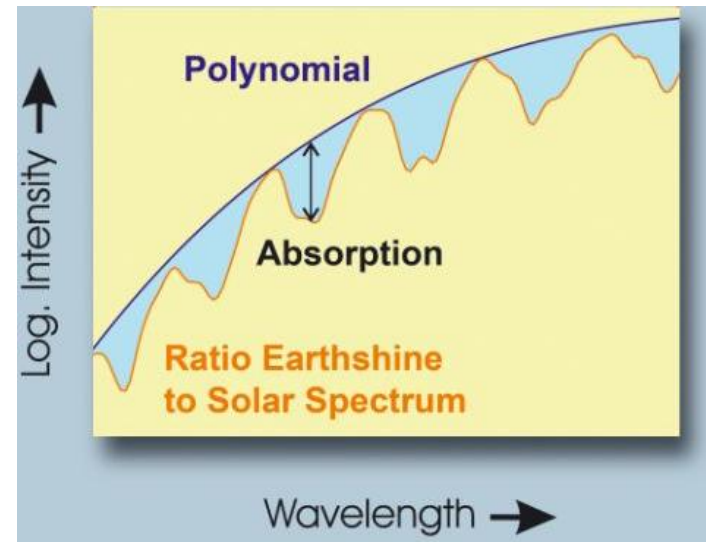
$$t_{\lambda}(s) = \frac{L(\lambda, s)}{L_{0, \lambda}} = \exp[-\tau_{\lambda}(s)]$$

$$L(\lambda, s) = L_{0, \lambda} \exp\left[-\int_{z_0}^{z_1} \kappa a(\lambda) ds\right]$$



$$\kappa a = -\ln(L_{on}/L_{off})$$

$$\tau_{\lambda}(s) = \int_{z_0}^{z_1} \kappa a(\lambda) ds$$



- Möglichkeit bei gleichzeitiger **Messung in verschiedenen Wellenlängen** die **Beiträge unterschiedlicher Absorber zu trennen**

$$L(\lambda_1, s) = L_{0, \lambda} \exp\left[-\int_{z_1}^{z_2} [\kappa a_1(\lambda_1) + \kappa a_2(\lambda_1) + \dots + \kappa a_n(\lambda_1)] ds\right]$$

$$L(\lambda_2, s) = L_{0, \lambda} \exp\left[-\int_{z_1}^{z_2} [\kappa a_1(\lambda_2) + \kappa a_2(\lambda_2) + \dots + \kappa a_n(\lambda_2)] ds\right]$$

$$L(\lambda_3, s) = L_{0, \lambda} \exp\left[-\int_{z_1}^{z_2} [\kappa a_1(\lambda_3) + \kappa a_2(\lambda_3) + \dots + \kappa a_n(\lambda_3)] ds\right]$$

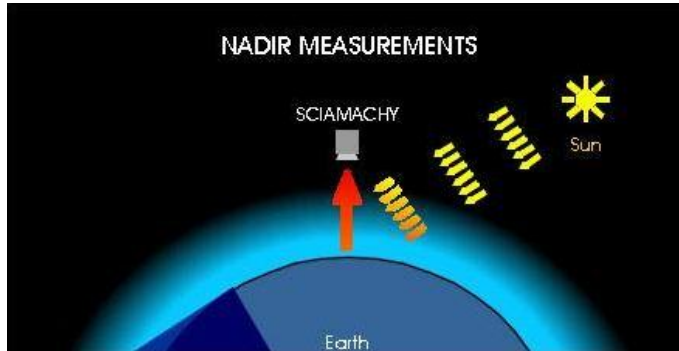
- Ausgedrückt über die **optische Dichte der verschiedenen Absorber**

$$L(\lambda_1, s) = L_{0, \lambda} \exp[-\tau_{\lambda_1}(s) - \tau_{\lambda_2}(s) - \tau_{\lambda_3}(s) - \dots - \tau_{\lambda_n}(s)]$$

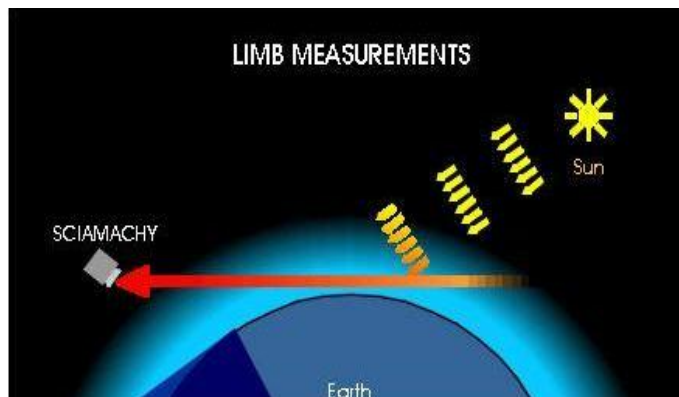
Beschreibung der Messverfahren

SCIAMACHY verfügt über **3 Beobachtungsmodi**

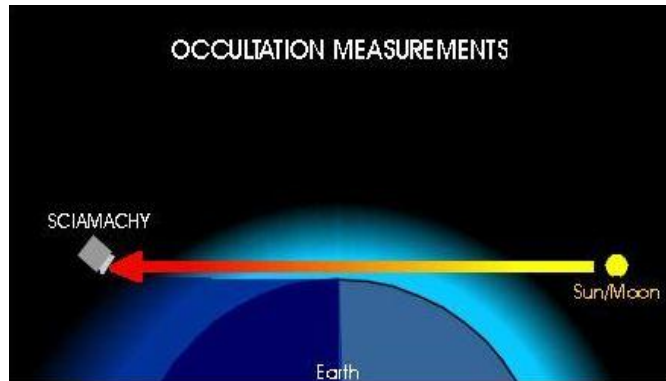
- **Nadir**-Messung beobachtet atmosphärisches Volumen unter dem Instrument



- **Limb**-Messung (Horizontabtastung) blickt SCIAMACHY in verschiedenen Höhenniveaus tangential zur Erdoberfläche

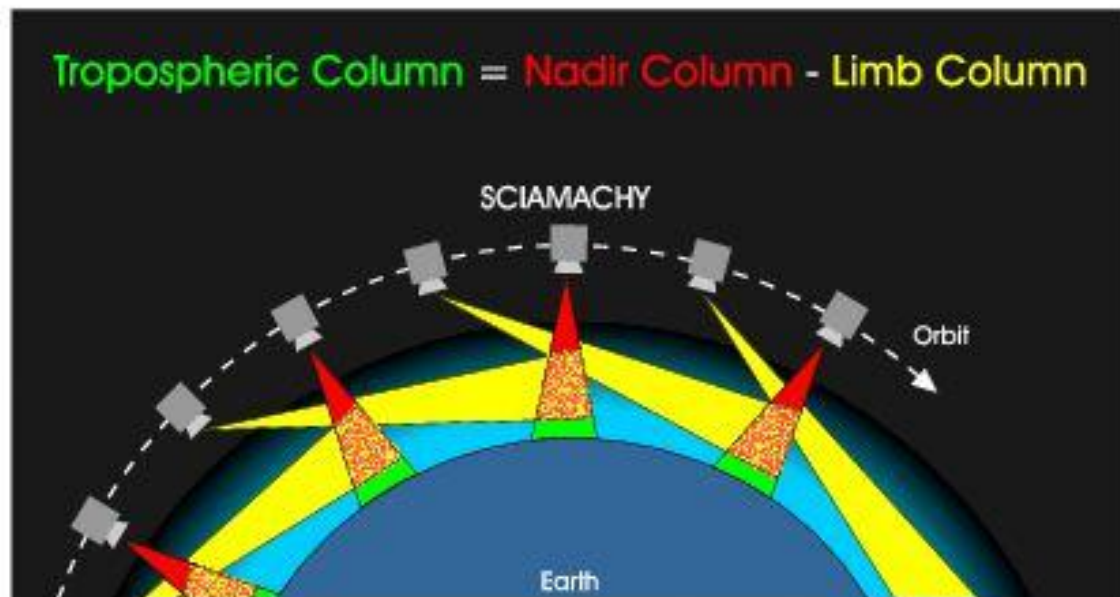


- **Okkultations**-Messung entspricht von der Mess- Geometrie dem Limb-Modus - statt des reflektierten Sonnenlichtes befindet sich aber der Mond oder die Sonne im Sichtfeld des Instruments



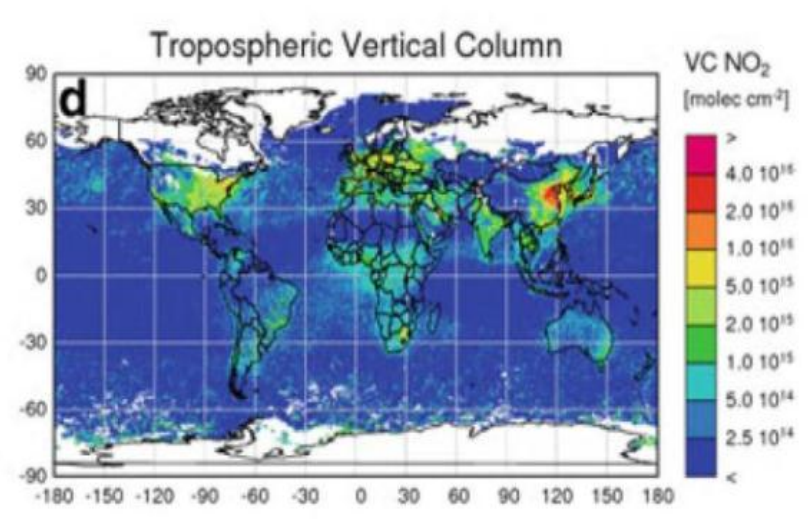
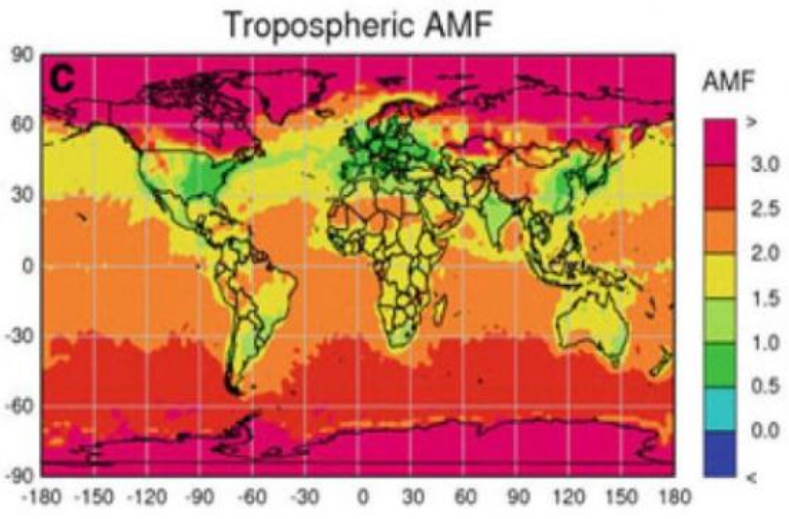
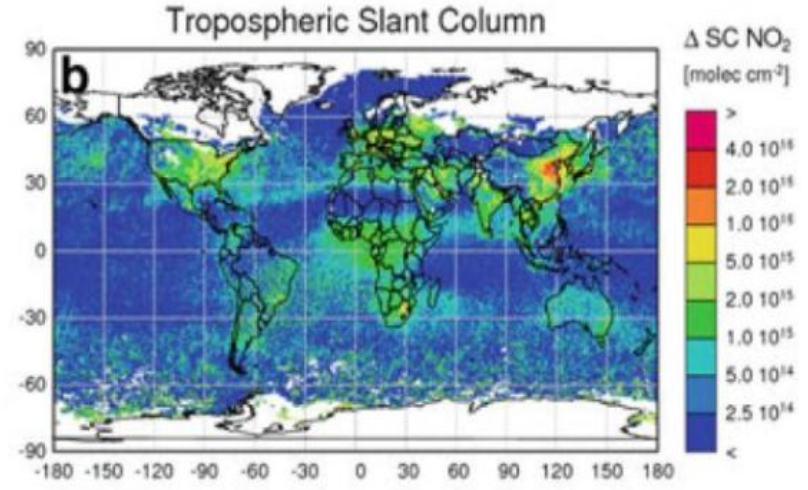
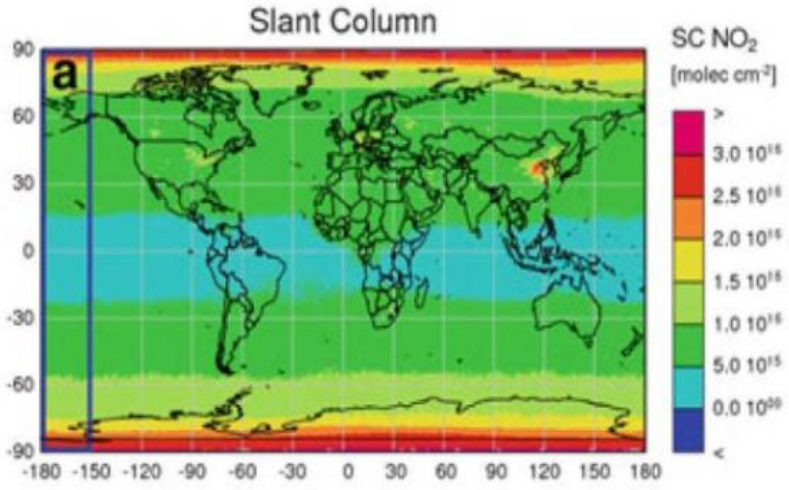
- **Limb/Nadir** Messung – **Kombination** unterschiedlicher **Messverfahren** kann u.a. die **troposphärische Spurenstoffverteilung** bestimmt werden

- ermöglicht gleiches atmosphärisches Volumen zuerst in der Limb-Geometrie und anschließend in Nadir-Geometrie zu beobachten
- mittels **Subtraktion** der abgeleiteten **Säulenhöhe aus LIMB** Messungen **von totaler Säulenhöhe aus NADIR-Messung**, kann troposphärischer Anteil an der Gesamtsäule ermittelt werden



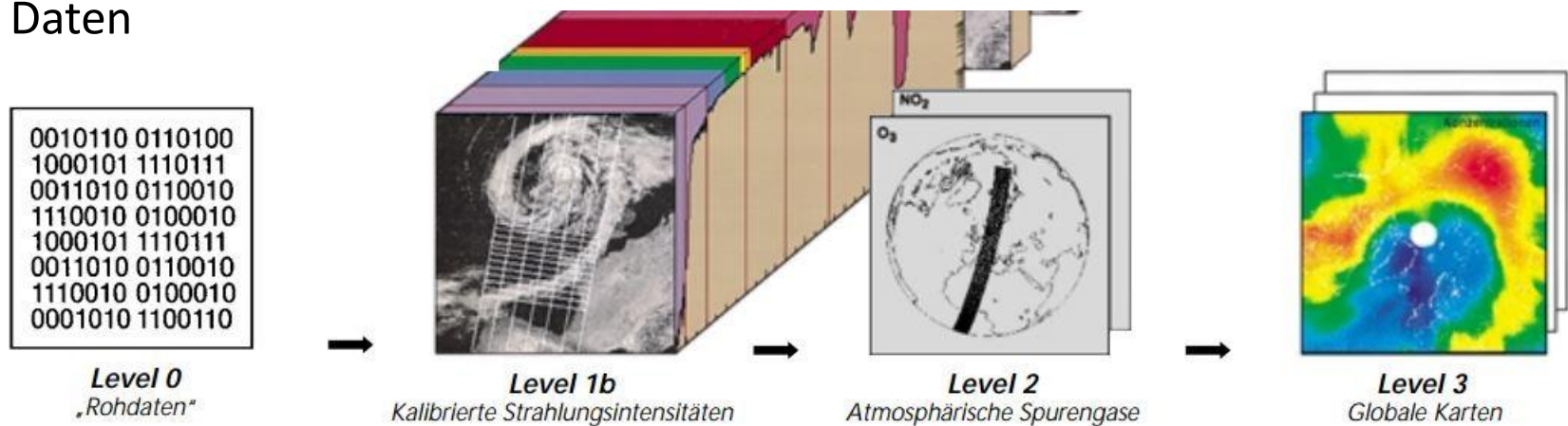
$$VC_{trop} = \frac{SC - SC_{strat}}{AMF_{trop}} = \frac{SC - SC_{ref}}{AMF_{trop}}$$

Bestimmung von Spurengase in Atm. am **Beispiel NO2**



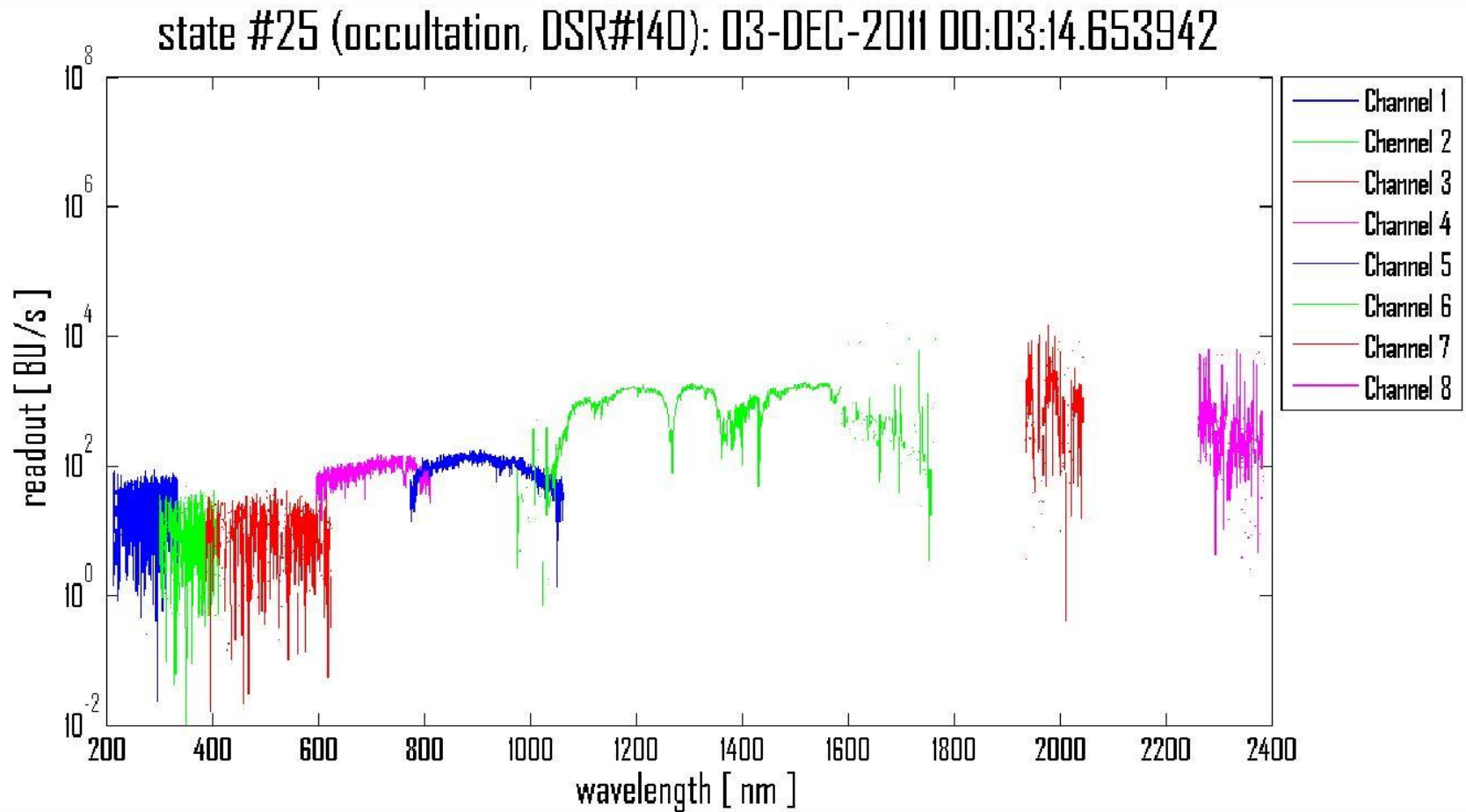
Datenprodukte von SCIAMACHY und deren Verarbeitung

- **SCIAMACHY Produkte** werden in **verschiedenen Verarbeitungsstufen** unterteilt
- **Level 0 Daten** – Sensor spezifische Daten, in einem Computer-lesbaren Format (Binäres-Format) vorliegen „Rohdaten“
- **Level 1b Daten** - sind kalibrierte und georeferenzierte Werte der gemessenen spektralen Strahldichte
- **Level 2 (NRT/meteo) Daten** – basieren auf den Messungen, die während eines Bahnumlaufs gemacht werden
- **Level 3 Daten** – globale Karten aus Kombination von mehreren (ca. 42) Level 2 Daten

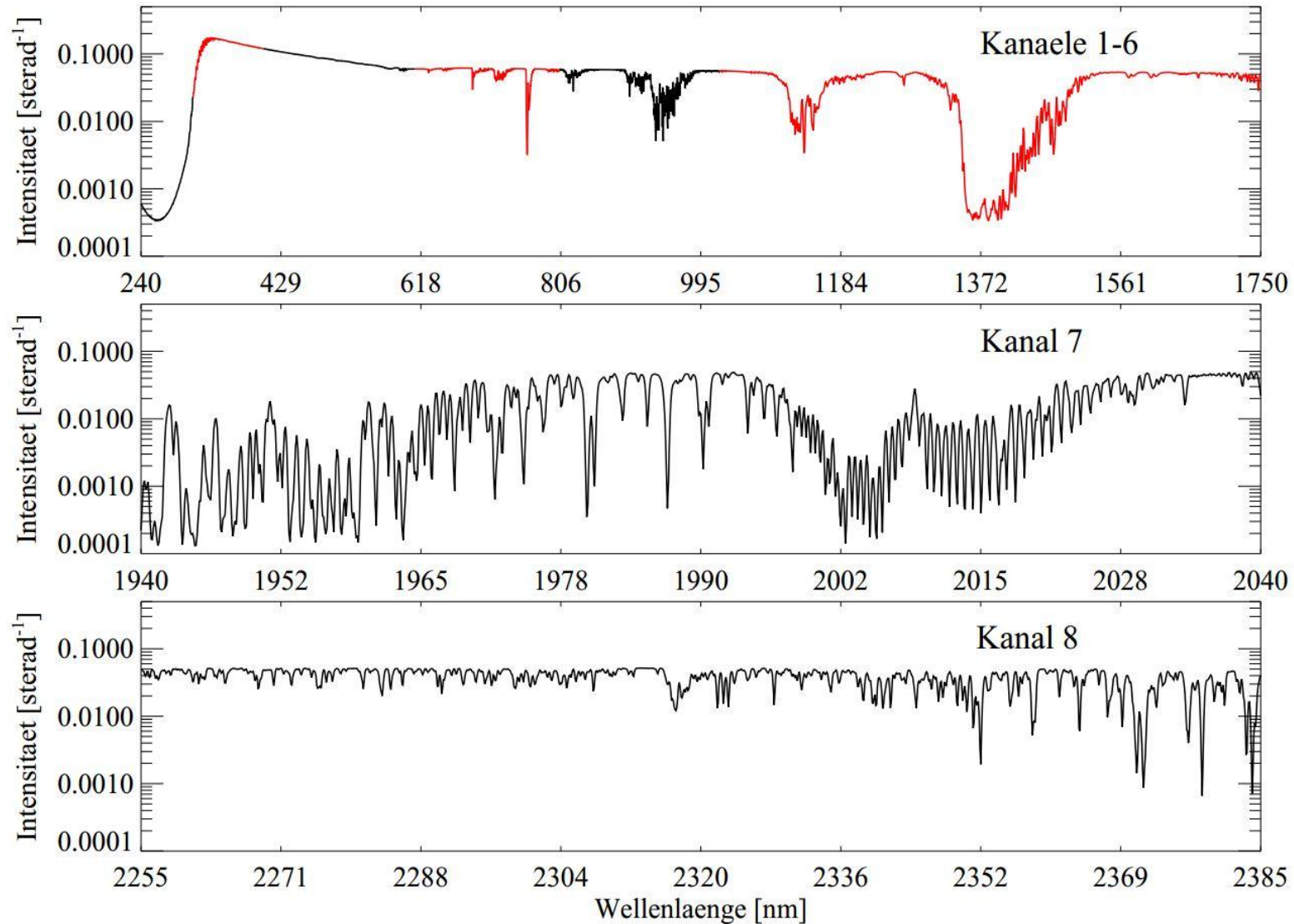


Verarbeitete Daten mit BEAT (Matlab) und VISAN

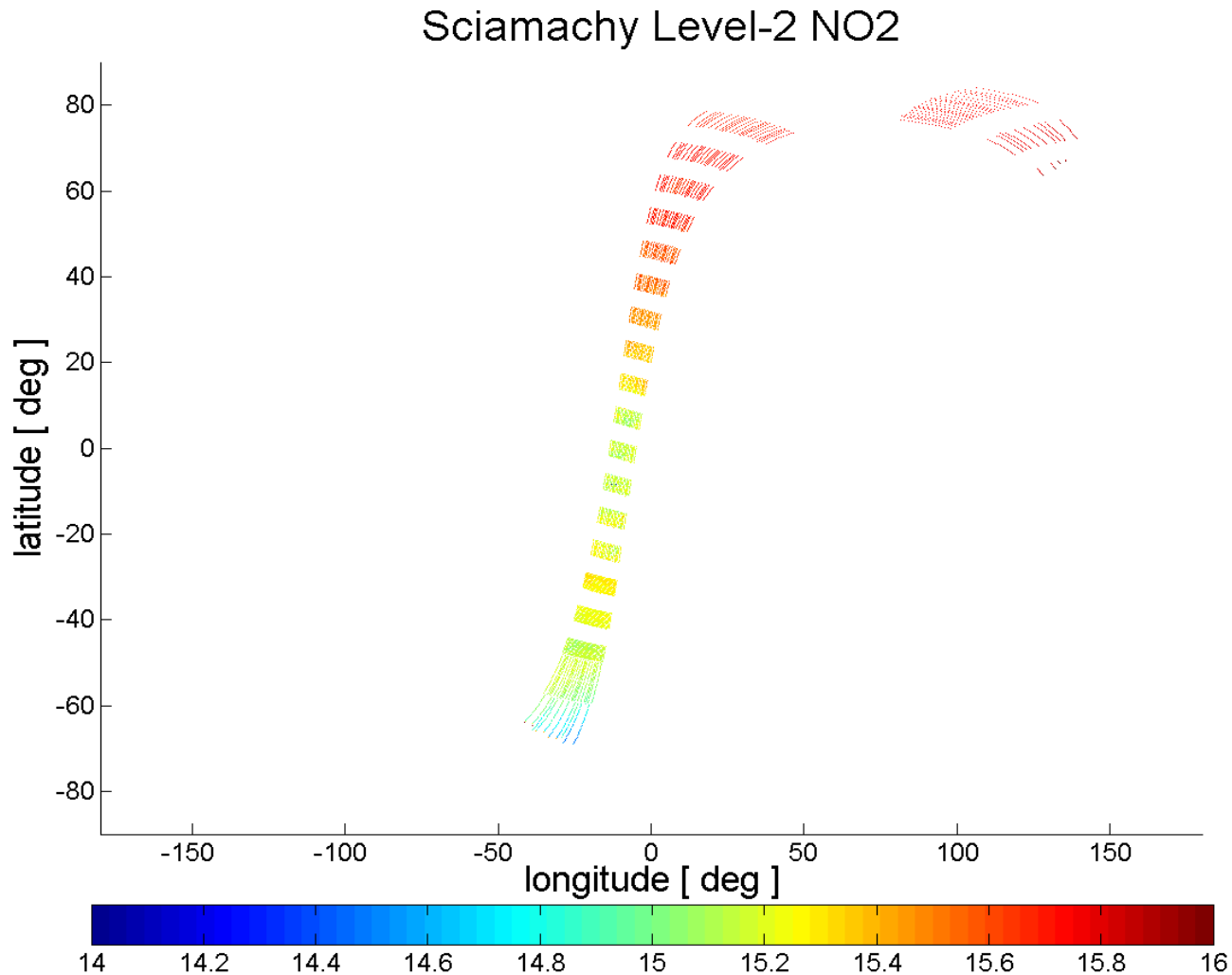
- Beispiele für **SCIAMACHY Level 0 Daten**, eingelesen über die CODA Routinen mit Matlab:



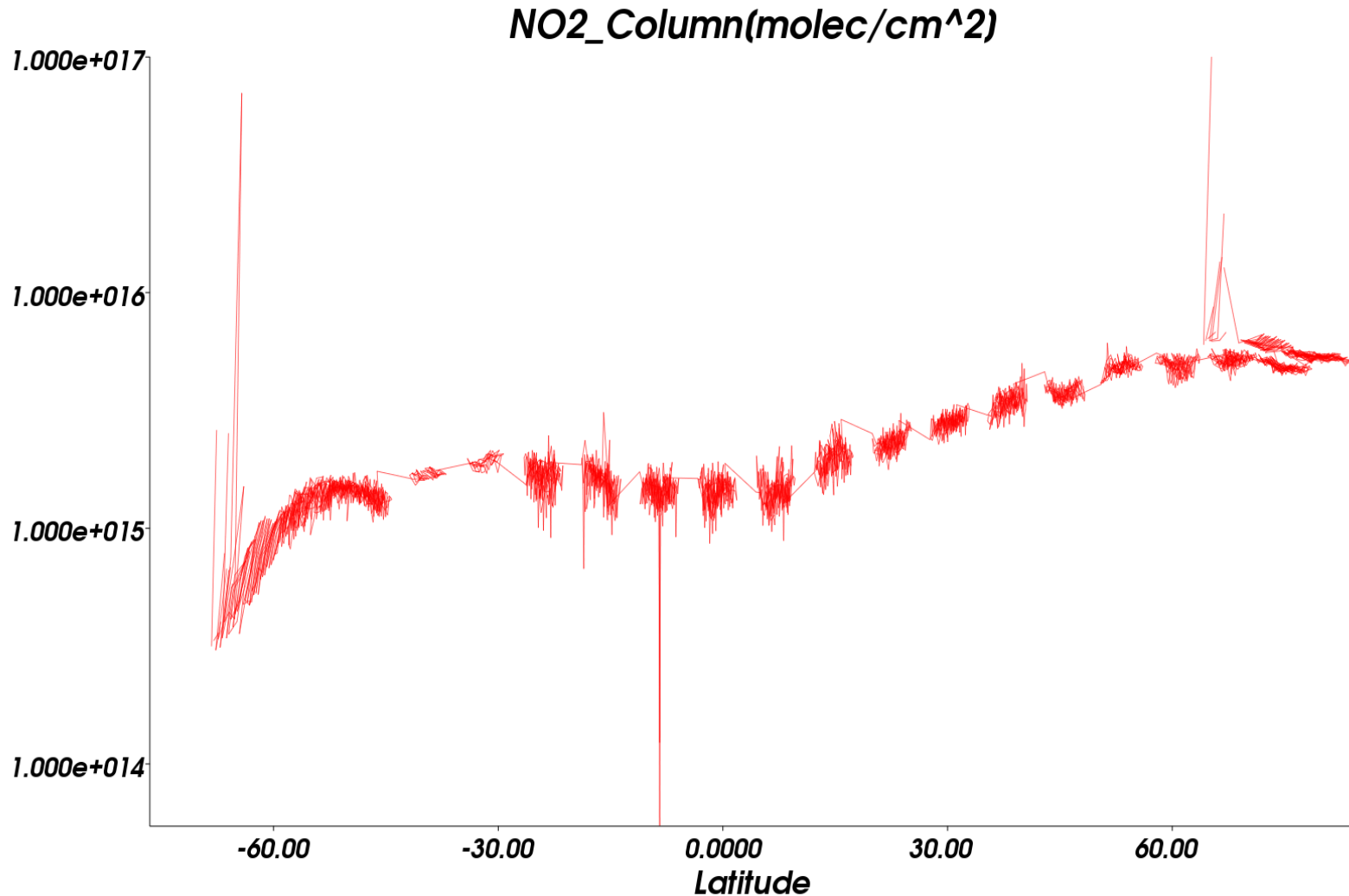
- Beispiel für **SCIAMACHY Level 1** Daten (simuliertes Spektrum):



- Beispiel für **SCIAMACHY Level 2** Daten, eingelesen über die BEAT –II Routinen mit Matlab:



- Beispiel für einen mit VISAN eingelesenen Level 2 Datensatz - Darstellung für NO₂



Zusammenfassung & Ausblick

- SCIAMACHY - ein **passives Spektrometer** - misst **reflektiertes Sonnenlicht**
- **DOAS** - Spurengasmessung mittels Vergleich des reflektierten Signals von benachbarten Wellenlängen innerhalb und außerhalb von Absorptionsbanden
- durch **Kombination unterschiedlicher Messverfahren** (z.B.: **Limb/Nadir**) kann u.a. die troposphärische Spurenstoffverteilung bestimmt werden
- Zukünftige Missionen (ab 2020) zur Spurengasmessung nach ähnlichem Messprinzip sind SENTINEL-4 (Meteosat - geostationär) und SENTINEL-5 (MetOp-polarumlaufend) auf meteorologischen Satelliten (EUMETSAT)
- SENTINEL-5-precursor ab 2015 in sonnensynchronen Orbit wie ENVISAT zur Spurengasmessung

Literatur

Buchwitz, M., 2000: *Strahlungstransport- und Inversions-Algorithmen zur Ableitung atmosphärischer Spurengasinformationen aus Erdfernerkundungsmessungen in Nadirgeometrie im ultravioletten bis nahinfraroten Spektralbereich am Beispiel SCIAMACHY*. Institut für Fernerkundung / Institut für Umweltphysik Fachbereich 1: Physik und Elektrotechnik Universität Bremen, 300.

Burrows, J. P., 2002: SCIAMACHY auf ENVISAT – Ein Atmosphärensensor der neuen Generation. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

[http://www.dlr.de/Portaldata/28/Resources/dokumente/RE/sciamachy_dt.pdf]

Geographie/Uni-Muenchen, 2012: Fernerkundung (Internet-Vorlesung). [http://www.geographie.uni-muenchen.de/internetvorlesung/fernerkundung/physikgrundlagen_materie.htm]

IUP Bremen / SCIAMACHY, 2011a: SCIAMACHY MEASUREMENT MODES. [<http://www.iup.uni-bremen.de/SCIAMACHY/instrument/modes/index.html>]

IUP Bremen / SCIAMACHY, 2011b: SCIAMACHY. [<http://www.doas-bremen.de/SCIAMACHY.htm>]

Rott H., 2011: Strahlungsübertragung / Kapitel 5.1 -5.2. Microsoft PPT Praesentation, Innsbruck.

Platt, U. and J. Stutz, 2008: *Differential Optical Absorption Spectroscopy*. Springer, 598.

Burrows, J. P., U. Platt, and P. Borrell, 2011: *The Remote Sensing of Tropospheric Composition from Space*. Springer, 536.

Vermote E. F., S.Y. Kotchenova, J.C Roger, D. Tanre, J.L. Deuze, M. Herman and J.J. Morcrette, 2006: 6S User Guide - Version 3. [http://6s.ltdri.org/6S_code2_thiner_stuff/6s_ltdri_org_manual.htm]