

MOZAIC

Measurement of ozone, water vapour, carbon monoxide and nitrogen oxides aboard Airbus in-service aircraft

- Langzeitbeobachtungen der Atmosphäre
- Transportprozesse und atmosphärische Chemie
- Ozon- und Wasserdampfbudgets in der Tropospaunenregion
- Einfluss von Flugzeugemissionen



- Quasi kontinuierliche Messungen zwischen 0 und 12 km Höhe
- 2,500 Flüge pro Jahr
- 175,000 Stunden Ozon und Wasserdampf seit August 1994
- Kohlenmonoxid und Stickoxide seit 2001

Wissenschaftlicher Hintergrund

Das Ozon Budget in der Tropospaunenregion wird durch chemische Prozesse beeinflusst, bei denen Radikalketten eine wichtige Rolle spielen. Hydroxyl Radikale (OH) werden durch Photolyse von Ozon gefolgt von der Reaktion der dabei entstehenden $O(^1D)$ Atome mit Wasserdampf erzeugt. Die OH Radikale reagieren dann mit Kohlenmonoxid (CO) und zu einem geringeren Teil mit organischen Verbindungen zu Hydroperoxi-Radikalen (HO_2). Die Recyclierung von HO_2 zu OH hängt wesentlich von der Konzentration der Stickoxide (NO und NO_2 , üblicherweise als NO_x zusammengefasst). In Abwesenheit von NO führt die Radikalkette zu einem Verlust von Ozon (Abb. 1). Hinzufügen von NO_x führt zur photochemischen Produktion von Ozon bis schließlich bei sehr hohen NO_x Konzentrationen die Reaktion von NO_2 mit OH den Abbruch der Radikalkette dominiert (Abb. 2). Der Abbau von NO_x geschieht durch Oxidation zu HNO_3 und anderen wasserlöslichen Verbindungen, die durch heterogene Prozesse aus der Atmosphäre entfernt werden. Die genaue Kenntnis der Verteilung von NO_x ist deshalb ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu einer genaueren Beschreibung des Ozon-Budgets in der oberen Troposphäre und des potentiellen Einflusses von Flugzeugemissionen auf die Ozonkonzentration.

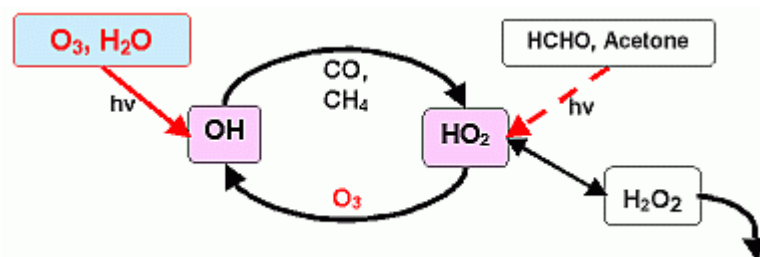


Abb. 1: Radikalchemie in Abwesenheit von NO_x

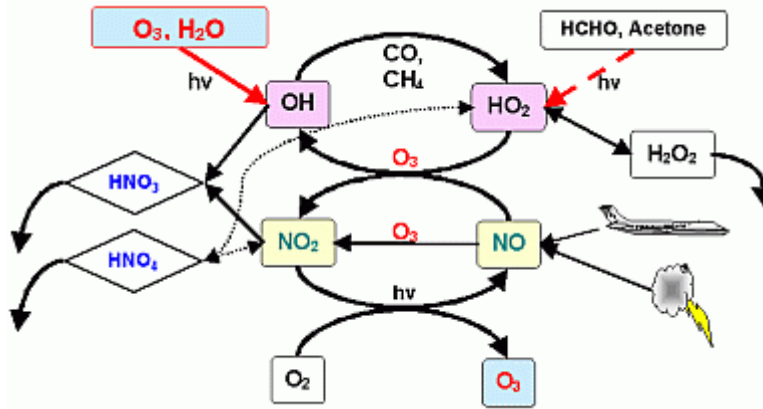
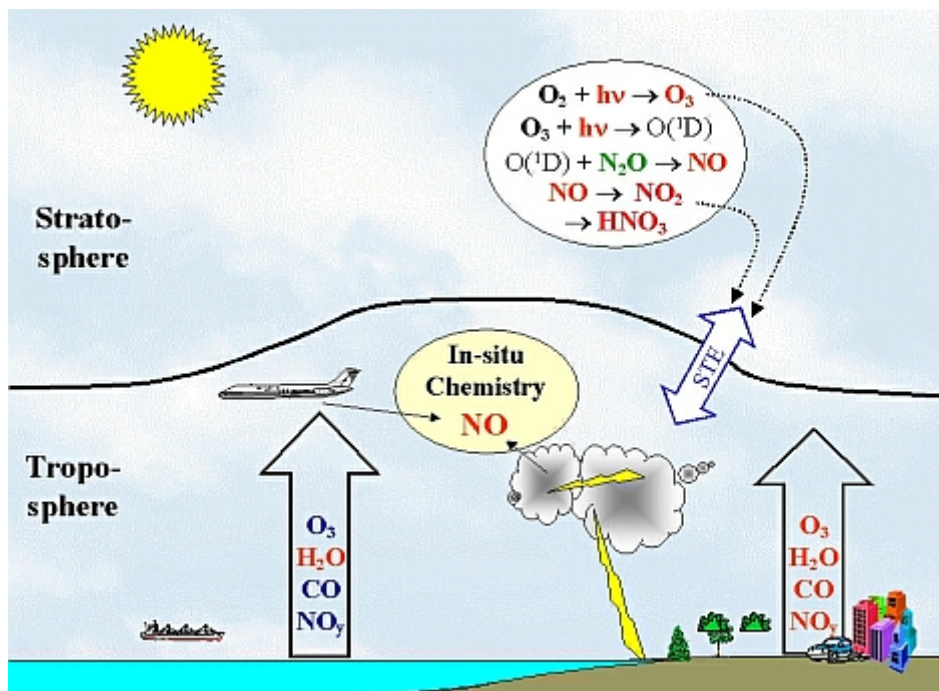


Abb. 2: Radikalchemie in Gegenwart von NO_x

Die Summe von NO und seinen atmosphärischen Oxidationsprodukten, wie NO₂, NO₃, N₂O₅, HNO₃, HNO₄, PAN und anderen organischen Nitraten, sowie Aerosolnitrat, wird üblicherweise mit NO_y bezeichnet. Wegen seiner Invarianz gegenüber homogenen chemischen Umwandlungsprozessen ist NO_y ein nützlicher Tracer für die Untersuchung atmosphärischer Transportprozesse.

Die globale Verteilung von Ozon und Stickoxiden wird beeinflusst durch Transporte aus der planetaren Grenzschicht und aus der Stratosphäre. Zusätzliche Quellen wie Blitze und Flugzeugemissionen erhöhen die NO_x Konzentration und beeinflussen dadurch die Ozonkonzentration.





MOZAIC wird seit 1993 von der europäischen Kommission gefördert.

Die auf fünf Airbus A-340 Langstreckenflugzeugen installierten MOZAIC Instrumente werden von vier europäischen Luftfahrtgesellschaften kostenlos transportiert.

Die Partner:

► **CNRS Toulouse:**
Ozon, Kohlenmonoxid

FZ-Jülich:
► Wasserdampf,
► Stickoxide

► **Univ. Cambridge:**
Modellierung

► **Univ. Reading:**
Austauschprozesse

► **AIRBUS:**
Zertifizierung, Installation

► **Lufthansa Technik:**
Zertifizierung, Installation



► Lufthansa (2 Flugzeuge)



► Austrian



► Air France



Sabena

Das NOy Instrument

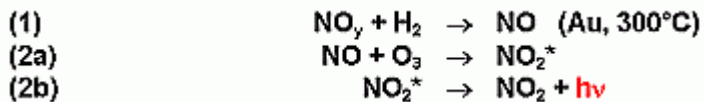
Im Rahmen von MOZAIC wurde am FZJ ein kleines, automatisches Gerät zur Messung von Stickoxiden (NOy) entwickelt und 2001 auf einem A-340 Langstreckenflugzeug der Lufthansa installiert. Das MOZAIC NOy Instrument befindet sich unter dem Cockpit in der Avionic Bay in unmittelbarer Nähe des Flansches mit den Lufterlässen für die MOZAIC Geräte. Unter dem Gerät ist die Sauerstoffflasche befestigt.



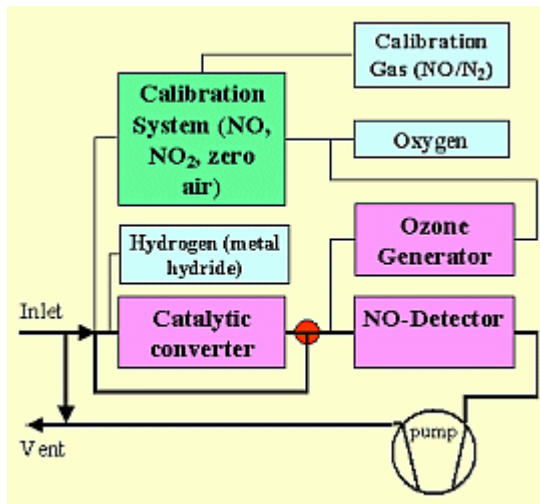
Messprinzip

Unter NOy versteht man die Summe von NO und seinen atmosphärischen Oxidationsprodukten, wie NO₂, NO₃, N₂O₅, HNO₃, HNO₄, PAN, und Nitrat-Aerosol. Letzteres wird allerdings nur teilweise nachgewiesen.

Die verschiedenen NOy-Verbindungen werden zunächst mit Spuren von Wasserstoff an einer heißen Goldoberfläche zu NO reduziert (Reaktion 1). Dieses wird dann durch die Chemilumineszenz bei seiner Reaktion mit Ozon nachgewiesen und quantifiziert (2a,b). Das Ozon wird in-situ aus hochreinem Sauerstoff in einer elektrischen Entladung erzeugt.

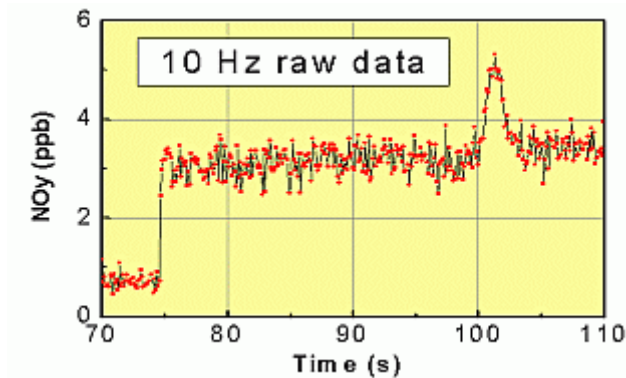


Ein wichtiger Gesichtspunkt im Langzeitbetrieb ist die Vermeidung von Kontamination, wenn sich das Flugzeug am Boden befindet, z.B. durch Kerosindämpfe. Deshalb wird das Gerät unmittelbar vor der Landung automatisch in den Ruhezustand versetzt. Die Pumpe ist dann abgeschaltet und die Ansaugleitung wird mit Sauerstoff zurück gespült. Nach dem Start wird der Meßbetrieb wieder aufgenommen. Steuerung des Meßvorgangs und Datenaufzeichnung erfolgt automatisch durch ein PC-104 System mit speziell entwickelter Software. Das NOy-Gerät wird monatlich ausgetauscht, gewartet und erneut für den Flugzeugeinsatz zertifiziert.



- Spezifikationen**
- Gewicht 50 kg
 - Stromverbrauch 300 VA
 - Flussrate 100 Nml/min
 - Empfindlichkeit 500 cps/ppb
 - Zeitauflösung 10 Hz
 - Präzision < 10 % (2 ppb, 10 Hz)
 - Nachweisgrenze ± 50 ppt (4s, 2σ)

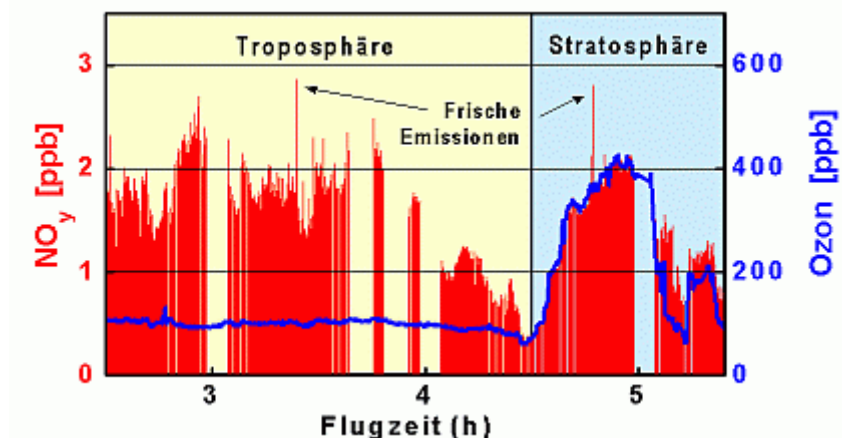
Prinzipialschaltbild des NO_y-Messgerätes. Nachweisempfindlichkeit und Konversionseffizienz werden in-situ durch automatische Kalibrierungen überwacht.



Die hohe Zeitauflösung des Meßgerätes von 0.1s (dies entspricht in Reiseflughöhe 30m Flugweg) ermöglicht es, Flugzeugemissionen und andere rezente Quellen in den Zeitreihen zu identifizieren.

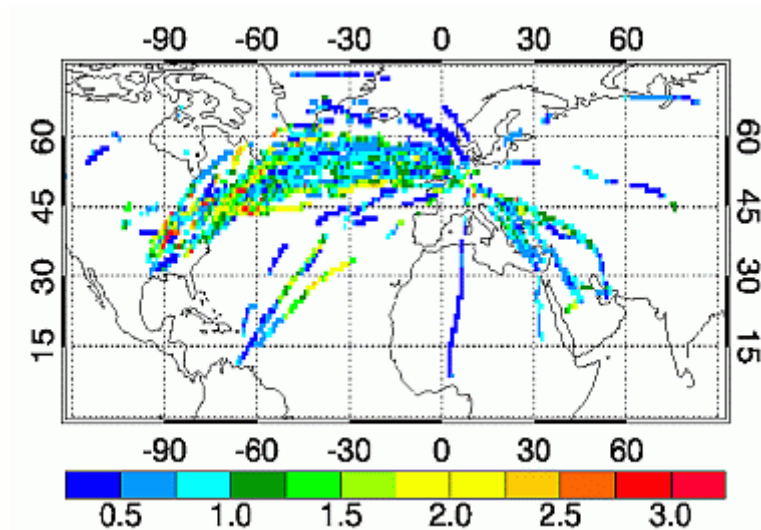
Ergebnisse der NO_y-Messungen

Beispiel der Zeitreihe von Ozon (blaue Linie) und NO_y während eines Fluges von Boston nach Frankfurt. In der unteren Stratosphäre sind NO_y und O₃ hochkorreliert ($R^2 > 0.9$; O₃/NO_y ca. 200), in guter Übereinstimmung mit Ergebnissen aus Kampagnen mit Forschungsflugzeugen. Die Datenlücken sind die Folge der automatischen Kalibrierungen.



In der oberen Troposphäre liegt das Mischungsverhältnis der Stickoxide der Regel unterhalb von 2 ppb. Die teilweise deutlich erhöhten Werte, insbesondere im Osten der USA und vor der nordamerikanischen Ostküste, zeigen den Einfluss konvektiven Vertikaltransports aus der Grenzschicht auf die chemische Zusammensetzung der oberen Troposphäre. Durch die gegenüber episodischen Kampagnen wesentlich größere Repräsentativität der Daten (mehr als 250 erfolgreiche Flüge im ersten Jahr) liefert MOZAIC einen wichtigen Beitrag zur Quantifizierung der globalen Stickoxid-Verteilung.

On the Climatology of NO_y, CO and Ozone in the UTLS - An Analysis of MOZAIC Data (PDF Format, ~3 MB)



Klimatologie von NO_y in der oberen Troposphäre ($z > 8\text{ km}$, $O_3 < 100\text{ ppb}$) aus den MOZAIC-Messungen zwischen April '01 und Februar '02. Die Farbskala gibt das Mischungsverhältnis in ppb (10^{-9} Volumenteile) an. Die einzelnen Meßwerte wurden in einem $1^\circ \times 1^\circ$ Raster gemittelt.