

Atmosphärenphysik

Kainzbauer Jeremy, Knüppel Patrick, Suter Yannick

Einleitung

Das Ziel des Atmosphärenphysik-Projekts ist die experimentelle Vermessung und theoretische Simulation der Schichtung der Atmosphäre. Da das Streuverhalten von Sonnenlicht an atmosphärischen Molekülen und Partikeln gut bekannt ist, und da mit dem täglichen Sonnengang die Atmosphäre unter verschiedenen Winkeln durchstrahlt wird, kann auf photometrischem Weg genügend Information zur Rekonstruktion der Atmosphärenschichtung erhalten werden. Im Vordergrund stehen dabei die Verteilung von Aerosolen und spezifischen Molekülen wie Wasserdampf und Ozon.

Theorie

Licht wird auf dem Weg von der Sonne zur Erdoberfläche gestreut. Dabei werden drei grundsätzliche Streuvorgänge unterschieden: Streuung an Molekülen (Rayleigh-Streuung), Streuung an Aerosolen (Mie-Streuung) und Streuung an grösseren Russteilchen. Zusätzlich können alle Streuungen in bodennahen Schichten oder in Schichten grösserer Höhe liegen. Die Atmosphäre wirkt umso stärker streuend, je tiefer die Sonne am Horizont steht, da dann der Weg des Lichts durch die Atmosphäre länger ist.

Aufgrund der drei bekannten Streuvorgänge wurde eine Simulation einer Modellatmosphäre erstellt. Die freien Parameter sind:

- die Dicke einer allfälligen bodennahen Aerosolschicht
- die totale Menge der Aerosole in der bodennahen Schicht
- die Unter- und Obergrenze einer allfälligen, hoch liegenden Schicht aus spezifischen Streupartikeln (nur für Ozon-Schichten)
- die totale Menge der Aerosole in der hoch liegenden Schicht (nur für Ozon-Schichten)

Mit diesen vier freien Parametern wurde versucht, die experimentell gemessenen Daten theoretisch nachzuvollziehen (Russteilchen wurden nicht in die Simulation mit einbezogen, da sie vor allem mit Vulkanausbrüchen gekoppelt sind).

Der SZA (Solar Zenit Angle) ist der Winkel zwischen der Beobachtungsrichtung zur Sonne und der Richtung zum Zenit des Beobachters (also senkrecht nach oben). Ein grosser SZA bedeutet also einen Zeitpunkt früh am Morgen bzw. spät am Abend.

Methoden

Bei der Photometrie werden die Intensitäten verschiedener Wellenlängen des von der Sonne ausgesendeten Lichts abhängig vom SZA gemessen. Dazu wurden von der ETH Zürich zwei MICROTOPS II Sonnenphotometer zur Verfügung gestellt. Eines davon dient dem spezifischen Nachweis von Ozon und Wasserdampf und misst bei den Wellenlängen 305, 312, 320, 940 und 1020nm, das andere erfasst die Wellenlängen 380, 440, 500, 675 und 870nm und dient dem Studium von Aerosolen. In den Geräten ist ein Zielsystem integriert, was das Anpeilen der Sonne erleichtert. Das in die Geräte einfallende Licht wird gefiltert und trifft auf jeweils eine Photozelle. Dies erzeugt eine Spannung pro-

portional zum einfallenden Licht. Das Signal wird verstärkt, anschliessend in ein digitales Signal konvertiert und an die Recheneinheit weitergeleitet. Die erzielten Messresultate wurden in Diagrammen gegen den SZA aufgetragen (vgl. Abb. 1). Da ausführliche Messungen einen möglichst breiten Verlauf verlangen, am besten von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang, wurden ein Hügel in der Nähe von Bivio (1780 m.ü.M.) sowie der Corvatsch (3303 m.ü.M.) als Messpunkte bevorzugt, da man von diesen Positionen den Horizont in einem sehr flachen Winkel erblickt. Zudem ist ein komplett wolken- und dunstfreier Himmel Voraussetzung für eine saubere Messung. Insgesamt wurden drei Halbtagesgänge (von Sonnenaufgang bis Sonnenhöchststand) gemessen, wovon die letzten beiden (einer von Bivio und einer vom Corvatsch) die zuverlässigsten Resultate lieferten.

Aerosole

Die Messungen zur Bestimmung der Aerosolverteilung ergaben die in Abb. 1 dargestellten Intensitätsverläufe. Bei den experimentellen Daten fällt auf, dass die Werte für den Corvatsch grundsätzlich grösser sind als diejenigen in Bivio, was wegen des kürzeren Weges des Lichts durch die Atmosphäre auf grösserer Beobachtungshöhe zu erwarten war. Des Weiteren wird ersichtlich, dass die Horizontphänomene, also ein starkes Abfallen der Intensitäten gegen den Horizont hin, auf grosser Höhe wie erwartet extremer sind. Mit Hilfe der oben beschriebenen Simulation und den beiden freien Parametern für die Aerosolschicht wurde zu den experimentellen Daten eine optimale Modell-Atmosphäre bestimmt. Aufgrund dieser Resultate muss die bodennahe Aerosolschicht bis zu einer Höhe von 3900 m.ü.M. gereicht haben mit einer totalen Aerosolmenge von $7.5 \cdot 10^8$ m. Bei der Expedition auf Lipari letzten Jahres wurde eine Schichtdicke von 3300m und eine deutlich geringere Aerosolmenge von $2.8 \cdot 10^8$ m ermittelt, was bedeutet, dass die Atmosphäre über Lipari wesentlich reiner war.

Auch die MICROTOPS II berechnen die Dicke der Aerosolschicht spezifisch für verschiedene Wellenlängen. Wie in Abb. 2 ersichtlich, bestätigen sich die mit den Intensitätsverläufen gefundenen Phänomene. Von Bivio aus „sieht“ man mehr Aerosole als auf dem Corvatsch. Das Abfallen der Werte für den Corvatsch bei grossen Winkeln hängt damit zusammen, dass die Messgeräte empfindlich auf Streulicht sind, welches bei grossem SZA besonders ins Gewicht fällt.

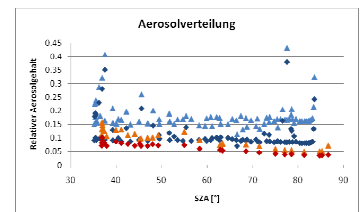


Abb. 2: Optische Dicke der Aerosolschicht in Bivio (blau) und auf dem Corvatsch (rot). Dreiecke kennzeichnen die Werte bei 380nm, Quadrate diejenigen bei 675nm.

Wasser und Ozon

Die Messung der Wassermenge und des Ozongehaltes in der Atmosphäre ergab für Bivio und den Corvatsch den in Abb. 3 dargestellten Verlauf. Besonders in Bivio ist ein Sinken des Wassergehaltes vorwiegend in den ersten Stunden des Tages zu erkennen. Des Weiteren ist die allgemeine Wassermenge in Bivio deutlich höher als auf dem Corvatsch. Dies legt nahe, dass die unteren Luftschichten den grössten Teil des Wassers beinhalten.

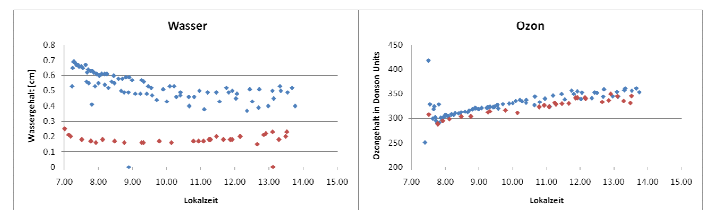


Abb. 3: Wassergehalt und Ozongehalt in der Atmosphäre über Bivio (blau) und über dem Corvatsch (rot). Der Wassergehalt ist in Zentimetern unter Normalbedingungen, die Ozonmenge in Dobson Units angegeben (1 DU entspricht 0,01mm Ozon unter Normalbedingungen).

Der erhaltene Verlauf der Ozonmenge stimmt prinzipiell mit der Theorie überein. Ozon wird in der Atmosphäre durch die UV-Strahlung der Sonne aus Sauerstoff (O_2) gebildet. Da die Intensität der UV-Einstrahlung gegen Mittag zunimmt, steigt auch die Ozonbildung an. Im Verlaufe des späteren Nachmittags nimmt die UV-Intensität dann ab, und ein Teil des Ozons beginnt wieder zu zerfallen bis zum nächsten Morgen. Dies ist sowohl in den Messungen von Bivio als auch vom Corvatsch erkennbar. Auffallend ist auch, dass die Werte für Bivio und Corvatsch praktisch gleich sind, d.h. die Ozonschicht muss wesentlich höher liegen als 3000 m.ü.M. Des Weiteren ist eine leicht verzögerte Reaktion des Ozongehaltes auf die UV-Intensität festzustellen. Auch dies macht durchaus Sinn, wenn man die Reaktion zur Bildung von Ozon betrachtet.

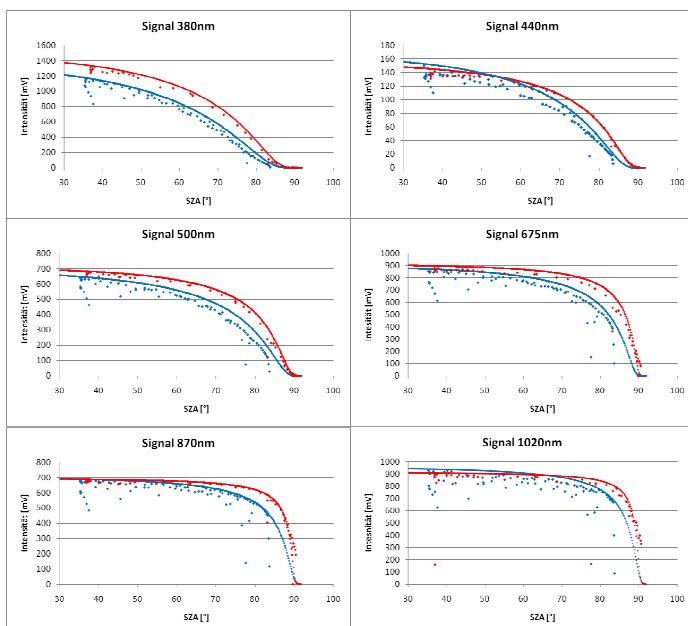


Abb. 1: Intensitäten bei verschiedenen Wellenlängen gemessen in Bivio (blau) und auf dem Corvatsch (rot) mit den dazugehörigen Simulationen (ausgezogene Linien). Alle simulierte Resultate wurden mit denselben Werten für die Aerosolschicht erhalten (vgl. Text).