

Diss. ETH No. 23126

New in-situ upper-air technology and measurements using a return glider radiosonde

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

ANDREAS KRÄUCHI

**MASTER OF SCIENCE ETH IN
ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCE**

Date of birth August 16, 1985
citizen of Zürich

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. T. Peter, examiner
PD Dr. R. Philipona, co-examiner
Prof. Dr. M. Wild, co-examiner
Dr. R. Dirksen, co-examiner

2016

Abstract

Climate change has increased the interest in high quality observations performed by radiosondes in the atmosphere. One of the main foci lies on the distribution of the water vapor in the atmosphere which is known to be the largest contributor to the greenhouse effect, yet with large uncertainties in our understanding, in particular in the upper troposphere and lower stratosphere (UTLS). Water vapor is not only measured daily by routine radiosondes, where it is primarily used for weather prediction, but it is also measured with sophisticated instruments, which are capable of measuring the low water vapor concentrations below and above the tropopause level.

The Swiss Radiosonde SRS-C34 built by the company Meteolabor AG is currently used for routine radio soundings performed by the Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss at the Aerological Station in Payerne. The currently used humidity sensor on the radiosonde has been rated for different sections in the atmosphere at the recent radiosonde intercomparison organized by the World Meteorological Organization (WMO) held in Yangjiang, China in July 2010. Due to the inconsistent performance the humidity sensor of the SRS-C34 was not rated for water vapor measurements of the upper troposphere. Using the scoring table of the radiosonde intercomparison we investigated the current market of available humidity sensors for radiosondes, and tested and evaluated new humidity sensors to improve the humidity readings on the Swiss radiosonde.

A new balloon sounding technique is used to avoid pendulum motion during the ascent of scientific instrument. This is particularly important for solar radiation sensors since short wave fluxes are affected by the angle of incident and therefore instruments need to be kept as horizontal as possible. Furthermore, this method allows a controlled descent in contrast to the high-speed descent through the stratosphere after a balloon burst of traditional balloon flights. This helps to safely land the sensitive instruments on the ground and allows recording a second vertical profile with similar descending speed as during ascent in the same flight. Measurements during descent have the advantage to be free from possible contaminations in the wake of the balloon, which is important for measurements with high sensitive humidity instruments particularly in the UTLS.

Using expensive instrumentation on balloon soundings requires a recovery after the payload has landed on the ground. However, during certain wind conditions flights are not feasible since the pre-calculated landing spot with wind trajectory models reveal an inaccessible or unfavorable location to recover the instruments. Therefore, a new device has been developed to obtain more control over the descending path of a radiosonde by integrating the instruments into a return glider radiosonde (RG-R). The RG-R is an autonomous glider sonde launched with a balloon to a desired altitude. Once released it flies the payload back to a pre-defined location. Several flights in succession with on board solar short and long wave radiation instruments showed the reliability of the system as well as new possibilities to measure vertical profiles above certain areas. Furthermore, the same instruments can be launched several times during the same day to investigate the diurnal cycle of atmospheric parameters.

Water vapor can not only be measured in-situ with humidity sensors, but as a greenhouse gas it absorbs and emits longwave radiation at specific wavelengths within the spectrum of thermal infrared radiation. Solar shortwave and thermal longwave radiation at the Earth's surface and at the top of the atmosphere is commonly measured at surface stations, from airplanes and from satellites. With balloon born solar shortwave and thermal longwave radiation instruments, both downward and upward fluxes are measured with four individual sensors. Investigations of in situ humidity and solar short- and longwave radiation measurements of high humid layers and clouds, show the strong connection between the two independent in situ measurements and opens new possibilities in characterizing the atmosphere. Results from several radiation flights made with the RG-R in Sodankylä, Finland, from up to 24 km are shown to demonstrate the possibilities to monitor and to investigate the atmosphere for meteorological and climatological purposes.

Zusammenfassung

Die aktuelle Diskussion um den Klimawandel hat das Interesse nach hoch qualitativen und präzisen Messungen durch Radiosonden erhöht. Der Hauptfokus liegt dabei auf der vertikalen Verteilung des Wasserdampfes in der Atmosphäre, welcher am meisten zum Treibhauseffekt beiträgt. Dieser Wasserdampf wird weltweit täglich von Radiosonden gemessen, welcher hauptsächlich für die Prognostik von Interesse ist. Die dafür benötigten Messinstrumente werden von Jahr zu Jahr präziser und ausgereifter, so dass es nun möglich ist kleinste Wasserdampfkonzentrationen in der Tropopausenregion zu messen.

Das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz in Payerne setzt seit vielen Jahren die Schweizer Radiosonde C34 von der Firma Meteolabor AG für die tägliche Radiosondierung ein. Der darin verbaute Feuchtesensor wurde während des letzten internationalen Radiosondierungsvergleiches in China bewertet und eingestuft. Solche Vergleichsflüge werden von der World Meteorological Organization (WMO) organisiert und tragen zur stetigen Verbesserung der Radiosondierungs-Messungen bei. Aufgrund der Messleistungen des derzeit verbauten Feuchtesensors wurde dieser für Messungen in der oberen Troposphäre nicht bewertet. Die Ergebnisse aller Sensoren von jedem einzelnen Radiosondierungs-Hersteller sind im Abschlussbericht beschrieben und wurden dazu gebraucht um einen neuen Sensor für die nächste Generation der Schweizer Radiosonde zu evaluieren.

Um die Pendelbewegungen einer aufsteigenden Radiosonde zu minimieren wurde eine neue Ballon Sondierungs Technik entwickelt. Diese spezielle Technik wird vor allem für Strahlungsmessungen benötigt, da die kurzweilige Sonnenstrahlung sehr stark vom Einfallswinkel der Sonne abhängig ist. Des Weiteren sind kontrollierte Abstiege der Radiosonde möglich, welche nicht nur dafür sorgen, dass die Instrumente unbeschadet auf dem Boden landen, aber nun auch Messungen während des Abstieges mit ähnlichen Geschwindigkeiten wie beim Aufstieg möglich sind. Bei hoch präzisen Feuchtemessungen mit den dafür entwickelten Messinstrumenten können Messfehler durch den Ballon, entstehen welcher bei einem Wolkendurchgang Feuchtigkeit aufsammelt und diese mit der Zeit dann wieder langsam abgibt. Diese Messfehler, welche vor allem um die Tropopausenregion auftreten, können mit einem kontrollierten Abstieg umgangen werden.

Speziell ausgerüstet Radiosonden mit kostspieligen Instrumenten werden jeweils nach der Landung auf dem Boden mit mehr oder weniger grossem Aufwand geborgen. Während gewissen Windverhältnissen können somit keine Flüge getätigt werden, da die Instrumente in unwegsamen Gelände oder in Regionen landen wo eine Bergung mit sehr viel Aufwand verbunden ist. Daher werden vor solchen Flüge mit Hilfe von Windmodellen die Flugtrajektorien berechnet, um zu überprüfen wie einfach eine Bergung der Sonde sein wird. Aufgrund dieser Limitierungen wurde ein Modellsegler entwickelt, um mehr Kontrolle über den Abstieg einer Radiosonde zu erlangen. Dieser Glider ist ein komplett autonomes Flugzeug, welches mit einem Ballon auf die gewünschte Höhe hochgezogen wird. Nach Erreichen der Höhe wird der Ballon automatisch vom Glider getrennt, welcher nun auf der bestmöglichen Flugroute zu einem vorprogrammierten Landepunkt zurückfliegt, wo dieser schlussendlich mit Hilfe eines Fallschirmes landet. Mehrere Flüge in kurzer Abfolge haben die Zuverlässigkeit des Systems bestätigt und neue Möglichkeiten eröffnet, um über einem bestimmten Gebiet eine vertikale Messung durchzuführen.

Der Wasserdampf in der Atmosphäre kann nicht nur direkt mit Feuchtesensoren gemessen werden, sondern als Treibhausgas absorbiert und emittiert dieser langwellige Strahlung innerhalb des thermischen Infrarotspektrums. Dieses, sowie die kurzwellige Sonnenstrahlung, werden auf der Erdoberfläche und an der Obergrenze der Atmosphäre mit Hilfe von Bodenstationen, Flugzeugen, sowie Satelliten gemessen. Mit Ballongetragenen kurz- und langwelligen Strahlungsmessgeräten können aufwärts sowie abwärts gerichtete Strahlungsflüsse mit vier individuellen Sensoren gemessen werden. Direkte in situ Messungen von Wasserdampf, sowie der langwelligen thermischen und kurzwelligen Sonnenstrahlung zeigen die enge Verknüpfung zwischen den beiden unabhängigen Messungen.