

Mountain-top in-situ observations of mixed-phase clouds with a digital holographic instrument

Doctoral Thesis**Author(s):**

Henneberger, Jan F.-W.

Publication date:

2013

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010088759>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 21295

Mountain-top in-situ observations of mixed-phase clouds with a digital holographic instrument

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCE of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

JAN FRIEDRICH-WILHELM HENNEBERGER

Dipl. Phys., Julius-Maximilian University of Würzburg

born on 27.05.1979

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Ulrike Lohmann, examiner

Dr. Martin Schnaiter, co-examiner

Dr. Jacob P. Fugal, co-examiner

Dr. Olaf Stetzer, co-examiner

2013

Abstract

Clouds play an important role in the formation of precipitation, in the radiative balance, in the hydrological cycle, and chemistry of the atmosphere. A mixed-phase cloud (MPC), which consist of a mixture of supercooled liquid droplets and ice crystals, is thermodynamically unstable. MPCs without any noticeable vertical velocity and turbulence will thoroughly glaciate on relative short time scales. However, observations have shown that MPCs are a common phenomenon and have been observed in all seasons, under a variety of conditions and at all latitudes worldwide. To understand the processes leading to this longevity measurements of the microphysical properties of the liquid and the ice phase of MPCs with high spatial resolution are important.

This work describes the design and characterization of the newly developed field instrument HOLIMO II (HOLographic Imager for Microscopic Objects II). HOLIMO II uses digital in-line holography to in-situ image ensembles of cloud particles within a well defined sample volume. Two-dimensional images of single cloud particles between 6 and 250 μm in diameter are algorithmically extracted. Particle shape is analyzed to classify cloud particles larger than 20 μm as water droplets (circular) or ice crystals (non-circular). Thus phase-resolved size distributions, concentrations, and cloud water contents are obtained.

Mountain-top field measurements from the high altitude research station Jungfraujoch, Switzerland, are presented. The field data shows that HOLIMO II is capable of discriminating between water and ice particles, and of measuring number size distributions and water content with a high spatial resolution. HOLIMO II provides a method to quantify variations in microphysical properties on a 25 m-scale and to reduce uncertainties in ice crystal number concentration measurements. A case study over a period of 8 h has been analyzed, exploring the transition of a liquid to a MPC. During the measurement period, a MPC was observed for at least four hours at JFJ.

Data of more than 60 h on 14 different days was analyzed, representing the longest time series from a holographic instrument in atmospheric science. Two topologically-influenced wind regimes were identified, each with distinct cloud properties. For southerly winds, associated with a smoother ascent, the properties of the MPCs were similar to findings of stratiform Arctic MPCs. During north wind cases, associated with a sharper ascent, more intermediate ice-water-content to total-water-content ratios (IWC/TWC), and higher ice crystal concentrations, were observed. At the measured ice crystal concentrations the cloud would efficiently glaciate in relatively short time, which leads to the hypothesis that the high updraft velocities stabilize the MPCs at Jungfraujoch to more intermediate IWC/TWC fractions.

Zusammenfassung

Wolken haben einen großen Einfluss auf die Bildung von Niederschlag, die Strahlungsbilanz der Atmosphäre, den Wasserkreislauf und das Klimasystem. Eine Mischphasenwolke ist eine Mischung aus unterkühlten Wassertropfen und Eiskristallen. Da MPW thermodynamisch instabil sind, sollten sie sich, ohne Vertikalgeschwindigkeiten und Turbulenzen, relativ schnell zu Eiswolken umwandeln. Trotzdem können MPW zu jeder Jahreszeit, unter unterschiedlichsten Bedingungen und in allen Breitengraden beobachtet werden. Um die Prozesse, die zu der beobachteten Langlebigkeit von MPW führen, zu verstehen, werden Messungen der mikrophysikalischen Eigenschaften der Wasser- und der Eisphase benötigt.

Diese Arbeit beschreibt den Aufbau und die Charakterisierung eines neu entwickelnden Instruments HOLIMO II (HOLographic Imager for Microscopic Objects II), das für bodengestützte Feldmessungen ausgelegt ist. HOLIMO II benutzt digitale in-line Holografie für in situ Messungen von Wolkenpartikeln in einem wohl definierten Messvolumen. Aus den Hologrammen werden durch einen automatisierten Algorithmus zweidimensionale Bilder von einzelnen Wolkenpartikeln zwischen 6 und 250 μm errechnet. Abhängig von der Form, werden Partikel, die größer als 30 μm sind, in runde Wassertropfen oder nicht runde Eiskristalle unterschieden und die Größenverteilung, die Partikelkonzentration und die Wassergehalte berechnet.

Feldmessungen von der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauojoch (JFJ), Schweiz, werden gezeigt. Die gemessene Größenverteilung stimmt gut mit parallelen Messungen eines Fog Monitors (FM-100, DMT, Boulder, USA) überein. Die Ergebnisse der Feldkampagnen zeigen, dass HOLIMO II zwischen unterkühltem Wasser und Eis unterscheiden kann und Wolkenpartikelkonzentrationen und Wolkenwassergehälte mit hoher räumlicher Auflösung messen kann. Mit diesen Ergebnissen können Schwankungen in mikrophysikalischen Wolkenparametern auf einer Größenskala von 25 m untersucht werden und Unsicherheiten in der Bestimmung von Eiskonzentrationsmessungen reduziert werden.

Aus den Daten, wurden über 60 h von 14 Tagen analysiert. Dies ist der längste Zeitraum, der bisher mit einem holographischen Gerät in der Atmosphärenwissenschaft untersucht wurde. In einer Fallstudie über 8 h wird der Übergang einer Wasserwolke zu einer Mischphasenwolke untersucht. Während dieser Messung, wurde über mindestens 4 h eine Mischphasenwolke gemessen und es konnte keine Vereisung der Wolke festgestellt werden.

Aufgrund der speziellen Topografie des JFJ konnten in den zwei Hauptwindrichtungen unterschiedliche Wolkeneigenschaften gemessen werden. Bei südlicher Anströmung erfahren die Luftmassen einen flacheren Aufstieg und die gemessenen Mischphasenwolken ähneln in ihren Eigenschaften arktischen stratiformen Mischphasenwolken. Eine Anströmung von

Norden ist verbunden mit einem steileren Aufstieg und es wurden öfters mittlere Werte des Verhältnisses von Eiswassergehalt zum totalen Wassergehalt und eine höhere absolute Eispartikelkonzentration gemessen. Da bei dieser hohen Eispartikelkonzentration die Wolke schnell vereisen sollte, kann daraus gefolgert werden, dass die hohen Vertikalgeschwindigkeiten bei Wind aus nördlichen Richtungen den Anteil des Eiswassers am totalen Wassergehalt bei mittleren Werten stabilisiert.