



Doctoral Thesis

## Mid-latitude cirrus properties derived from lidar measurements

**Author(s):**

Kienast-Sjögren, Erika

**Publication Date:**

2015

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010592828> →

**Rights / License:**

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22492

# MID-LATITUDE CIRRUS PROPERTIES DERIVED FROM LIDAR MEASUREMENTS

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

presented by

ERIKA ASTRID KIENAST-SJÖGREN

MSc ETH in Atmos. Clim. Sci., ETH Zurich

born on 21.09.1979

citizen of

Zürich ZH, Oberwil-Lieli AG, Winterthur ZH, Aarau AG and Sweden

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Thomas Peter, examiner  
Dr. Martina Krämer, co-examiner  
PD Dr. Albert Ansmann, co-examiner

2015

## Abstract

Cirrus clouds play an important role in the Earth's climate system. They consist of ice particles with different number densities and sizes and are typically situated in the upper troposphere, where they influence the water vapor budget as well as the radiative properties of the atmosphere. Cirrus clouds generally have a global warming effect on the Earth's climate as they are able to absorb the Earth's outgoing long wave radiation. However, low cirrus as well as optically thick cirrus may have a cooling effect, as they scatter incoming solar radiation back to space. As the climate changes, the occurrence and properties of cloud types may also change, leading to shifts in the Earth's radiation budget. To understand the possible future effect of clouds on climate, it is essential to understand the current clouds and their effect on the climate system.

In this thesis, the focus is on mid-latitude cirrus clouds. We performed ground-based LIDAR (Light Detection And Ranging) measurements of cirrus clouds at our institute roof in Zürich and on the high-alpine Research Station Jungfraujoch, using an ALS 450 cloud lidar from Leosphere. We collaborate with colleagues in Jülich, who used the same type of lidar at their institute. In this study, we developed the Fast Lidar Cirrus Algorithm "FLICA", which automatically evaluates lidar measurements, enabling the rapid analysis of large lidar data sets. FLICA combines a cloud detection scheme with classical lidar evaluation. Using FLICA, we present a mid-latitude cirrus climatology based on 13000 hours of lidar measurements. We find similar cirrus cloud properties at our measurement sites, with thinner clouds being observed at Jungfraujoch than at the other measurement sites. Differences may be due to the higher measurement site enabling the detection of thinner clouds, or due to real differences in cloud properties, e.g. because of the special

orography above the mountainous measurement site. Using the retrieved optical depths and top temperatures of the cirrus clouds, we use a radiation model to estimate their radiative effect. The estimated warming due to the cirrus clouds of approximately  $1 \text{ Wm}^{-2}$  is in agreement with the findings of previous studies.

We have also assessed the sensitivity of Lagrangian cirrus modeling to uncertainties in the input data. We used a microphysical boxmodel to simulate a cirrus cloud measured by our lidar over Jungfraujoch. The assessed uncertainties include the temporal resolution of input wind fields, the temporal resolution of the trajectories, the representation of small-scale temperature fluctuations that cannot be resolved by the underlying numerical weather prediction (NWP), the initial humidity provided by the NWP model, and the number density of heterogeneous ice nuclei.

The main focus of the study is the sensitivity of the temporal resolution of NWP and trajectory data on the simulated cirrus profile. We used trajectories calculated from the NWP model COSMO-2 using data with temporal resolutions between 20 s and one hour. The accuracy of the simulations improves significantly when data with a higher temporal resolution are used. For this case study, trajectories with a temporal resolution of 20 s were able to reproduce the measured cirrus cloud without superimposing small-scale temperature fluctuations. For coarser temporal resolutions, small-scale temperature fluctuations need to be superimposed onto the trajectories. The small-scale temperature fluctuations are obtained by scaling the power spectral densities (PSDs) of temperature, measured by aircrafts, to the COSMO-2 intensity at lower frequencies. For future Lagrangian modeling studies, if using NWP data with a spatial resolution of 2.2 km, we suggest using trajectories based on NWP data with a temporal

resolution of better than 5 min to account for the variability present in the NWP model.

Furthermore, we show that the simulated case was a time period with very weak wave activities, so that the necessity of using high time resolution modeling is likely to be even more pressing under more active conditions. Moreover, the sensitivities on initial humidity and number of ice nuclei were assessed. Shifting the initial humidity values results in differences in cloud altitude and magnitude. The sensitivity studies suggest that the number density of heterogeneous ice nuclei is most likely less than  $50 \text{ L}^{-1}$ , which agrees with measurements of background IN concentrations in the mid-latitudes.

Finally, a closure study of aerosol properties over the Swiss Alps is presented. Our lidar was installed at Kleine Scheidegg and tilted in the direction of Jungfraujoch. Extinction was measured in-situ at Jungfraujoch by a humidified nephelometer, and compared with remote-sensing of the same air mass measured by our lidar from the position further down in the troposphere. We find good agreement of the different measurement techniques which confirms the reliability of our lidar data evaluation.

## Zusammenfassung

Zirruswolken spielen eine wichtige Rolle im Klimasystem der Erde. Sie bestehen aus Partikeln mit unterschiedlichen Anzahldichten und Grössen und sind typischerweise in der oberen Troposphäre gelegen, wo sie den Wasserdampfhaushalt als auch die Strahlungshaushalt der Atmosphäre beeinflussen. Zirruswolken haben im Mittel einen wärmenden Effekt auf das Klima der Erde, aber warme und optisch dicke Zirren können auch kühlen. In einem zukünftigen veränderten Klima können sich die Auftretenshäufigkeit sowie die optischen Eigenschaften aller Wolkentypen ändern, was zu Änderungen im Strahlungshaushalt der Erde führen wird. Um den zukünftigen Effekt der Wolken aufs Klima zu verstehen, ist es unabdingbar die heutigen Wolken und deren Effekt aufs Klima zu verstehen.

In dieser Arbeit ist der Fokus auf Zirruswolken in den mittleren Breiten. Sie sind mit zwei Bodenlidars (Light Detection and Ranging) an drei unterschiedlichen Messorten in den mittleren Breiten; Zürich, Jülich und Jungfraujoch. Jülich liegt im westlichen Teil von Nordrhein-Westfalen, Deutschland und am Jungfraujoch in den Schweizer Alpen gibt es auf 3580 m.ü.M. eine Forschungsstation. Die gemessenen Daten werden automatisch ausgewertet von dem hier entwickelten FLICA-Algorithmus, der eine schnelle Analyse von grossen Lidar datenmengen ermöglicht.

Wir benützen FLICA und präsentieren eine Klimatologie von Zirren aus den mittleren Breiten gestützt auf 13 000 Stunden Lidar Messdaten. Wir beobachten ähnliche Zirruseigenschaften an allen Messstationen in den mittleren Breiten, jedoch werden auf dem Jungfraujoch dünnere Zirruswolken gemessen als bei den zwei anderen Messstationen. Die unterschiedlichen Eigenschaften der Zirruswolken können durch

unterschiedliche Topografie sowie verschiedene Wetterlagen entstehen. Der geschätzte wärmende Effekt der Zirruswolken stimmen mit vorherigen Studien überein.

Ferner haben wir die Sensitivität von langrangsche Modellierung auf Unsicherheiten in den Eingabetrajektorien Daten untersucht. Die beurteilten Unsicherheiten beinhalten die zeitliche Auflösung der Eingabewindfelder, die ursprüngliche Feuchte berechnet von einem numerischen Wettermodell, die Anzahldichte der heterogenen Keime, die zeitliche Auflösung der Trajektorien als auch die Repräsentation von kleinskaligen Temperaturfluktuationen, die von dem Wettermodell nicht aufgelöst werden kann. Wir benützen Trajektorien, die vom numerischen Wettermodell COSMO-2 stammen mit einer zeitlichen Auflösung zwischen 20 s und eine Stunde. Die Genauigkeit der Simulationen wird markant verbessert wenn zeitlich hochaufgelöstere Daten benützt werden. Für diese Fallstudie konnten wir mit Trajektorien, die eine zeitliche Auflösung von 20 s haben, die gemessene Zirruswolke simulieren ohne kleinskalige Temperaturfluktuationen hinzufügen zu müssen für ein Zeitabschnitt mit sehr schwachen Wellenaktivität. Für grobere zeitliche Auflösung müssen die kleinskaligen Temperaturfluktuationen immer noch berücksichtigt werden.

Die spektrale Leistungsdichte der Vertikalwinde werden anhand von Flugzeugmessungen berechnet. Die von Flugzeug gemessenen spektralen Leistungsdichten werden skaliert auf die tieferen Frequenzen der Werte aus COSMO-2 um die kleinskaligen Temperaturfluktuationen zu berechnen. Für weitere langrangsche Modellierstudien, schlagen wir vor eine zeitliche Auflösung der Trajektorien, die besser als 5 min ist, zu benützen um die Variabilität, die im numerischen Wettermodell vorhanden ist, besser zu repräsentieren. Die Sensitivitätsstudie kommt zum Schluss, dass die Anzahldichte der

heterogenen Keime höchstwahrscheinlich weniger als 50 pro Liter sind.

Schliesslich zeigen wir eine umfassende Studie der Aerosoleigenschaften über die Schweizer Alpen. Extinktion wurde gemessen in-situ von einem befeuchtenden Nephelometer und via Fernerkundung, Lidar, von einem Ort weiter unten in der Troposphäre. Wir zeigen eine gute Übereinstimmung der verschiedenen Messungen was die Verlässlichkeit unserer Datenauswertung zeigt.