

Wissenschaftliche Mitteilungen

**aus dem
Institut für Meteorologie der Universität Leipzig**



ISBN 978-3-9814401-4-0

**Meteorologische Arbeiten (XXI) und
Jahresbericht 2015 des Instituts für
Meteorologie der Universität Leipzig**

Hrsg.: Armin Raabe

Leipzig 2016

Band 54

Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig Bd. 54

F. Lauermann, F. Finger, A. Ehrlich, M. Wendisch:	1
Analysis of Water Content Profiles in Arctic Mixed-Phase Clouds during VERDI <i>Analyse von Wassergehaltsprofilen in arktischen Mischphasenwolken während VERDI</i>	
T. Donth, E. Jäkel, B. Mey, M. Wendisch:	9
Derivation of aerosol optical properties using ground-based radiation measurements <i>Ableitung aerosol-optischer Eigenschaften unter Verwendung von bodengebundenen Strahlungsmessungen</i>	
K. Wolf, A. Ehrlich, M. Wendisch:	23
Temperature profiles from airborne pyrgeometer measurements of broadband terrestrial radiation. <i>Temperaturprofile aus flugzeuggetragenen Pyrgeometer-Messungen der breitbandigen terrestrischen Strahlung</i>	
Jacobi, Ch., Lilienthal, F., Schmidt, T., de la Torre, A.:	37
Modeling the Southern Hemisphere winter circulation using realistic zonal mean gravity wave information in the lower atmosphere <i>Modellierung der Winterzirkulation in der Südhemisphäre unter Verwendung von realistischen zonal gemittelten Schwerewelleninformationen der unteren Atmosphäre</i>	
Jacobi, Ch., Krug, A., Merzlyakov, E.G.:	47
Radar wind climatology of the quarterdiurnal tide in the mesopause region over Central and Eastern Europe <i>Eine Windradarklimatologie der vierteltäglichen Gezeiten in der Mesopausenregion über Zentral- und Osteuropa</i>	
F. Lilienthal, Ch. Jacobi:	57
The Role of Solar Heating in the Forcing of the Terdiurnal Tide <i>Die Bedeutung der solaren Erwärmung für die Anregung dritteltägiger Gezeiten</i>	
R. Göhler, A. Raabe, J. Zimmer:	67
Darstellung und Einfluss von durchbrochener Bewölkung auf den Ertrag von Photovoltaik-Anlagen und dessen Prognose <i>Representation and influence of broken clouds on the yield of photovoltaic systems and its forecast</i>	
Börngen, M., Deutsch, M.:	81
Curt Weikinn (1888–1966) – ein Leben für die Erforschung der Witterungsgeschichte Europas <i>Curt Weikinn (1888-1966) - a life for the Exploration of Weather History of Europe</i>	
Börngen, M., Deutsch, M.:	93
Curt Weikinns Sammlung von Berichten zu sehr starken bzw. verbreiteten Hagelfällen im 15. Jahrhundert <i>Curt Weikinns collection of reports to strong or spread Hail events in the 15th century</i>	
Jahresbericht des Instituts für Meteorologie 2015	107

Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig Bd. 54

Analysis of Water Content Profiles in Arctic Mixed-Phase Clouds during VERDI

F. Lauermann¹, F. Finger^{1,2}, A. Ehrlich¹, M. Wendisch¹

¹ Leipzig Institute for Meteorology, Stephanstraße 3, 04103 Leipzig
E-Mail: felix.lauermann@uni-leipzig.de

² now at: Dr. Födisch Umweltmesstechnik AG, Zwenkauer Straße 159, 04420 Markranstädt

Summary: Airborne measurements of liquid water content (LWC) and ice water content (IWC) were performed in mixed-phase clouds during the field campaign VERDI in Canada in April and May 2012. In single-layer and multi-layer clouds different vertical profiles of LWC and IWC could be observed. For single-layer clouds the maximum LWC occurred in the upper half of the clouds while the IWC had a maximum near the cloud base. This pattern was attributed to the sedimentation of ice particles. In the lowest cloud layer of a multi-layer system both LWC and IWC reached a maximum near cloud top. Together with measured particles size distributions this suggests the presence of the seeder-feeder-process described by Fleishauer et al. (2012) for mid-level clouds.

Zusammenfassung: Im Rahmen der VERDI-Kampagne im April und Mai 2012 in Kanada wurden flugzeuggetragene Messungen von Flüssigwassergehalt (LWC) und Eiswassergehalt (IWC) durchgeführt. Für Einschicht- und Mehrschichtwolkensysteme konnten unterschiedliche Vertikalprofile von LWC und IWC nachgewiesen werden. In Einschichtsystemen wurden die größten Flüssigwassergehalte in der oberen Wolkenhälfte und die größten Eiswassergehalte nahe der Wolkenunterkante gemessen. Diese Verteilung wurde auf die Sedimentation von Eispartikeln zurückgeführt. In der untersten Wolkenschicht eines Mehrschichtsystems befanden sich die Maxima von LWC und IWC nahe der Wolkenoberkante. Diese Beobachtung deutet zusammen mit gemessenen Partikelgrößenverteilungen auf das Vorhandensein des Seeder-Feeder-Prozesses hin, welcher von Fleishauer et al. (2012) für mittelhohe Wolken beschrieben wurde.

1. Motivation and Introduction

To study structure and properties of mixed-phase clouds was the aim of several research projects in the past years (ASTAR 2007, SORPIC 2010, VERDI 2012). There are various reasons for it. One important aspect is the parametrization of clouds in weather and climate models. Among other things the ratio of the two phases solid and liquid affects the growth rate of cloud particles (Korolev et al., 1999) and the formation of

precipitation in the clouds (Tremblay et al., 1996). Model simulations performed by Sun and Shine (1994) have shown a bigger calculation error for ice particles assumed as liquid droplets than for neglecting the ice in the model. This suggests that cloud droplets and ice particles have significantly different properties. Another aspect is the large geographical extension of mixed-phase clouds. Spectral measurements from MODIS in April 2003 showed mixed-phase clouds occurring worldwide with a maximum frequency in middle and polar latitudes (Nasiri et al., 2005). Containing supercooled droplets, mixed-phase clouds can also affect aviation due to glaciation of the aircraft. Thus knowing the composition of clouds is also important for air traffic.

Mixed-phase clouds consist of liquid droplets and ice crystals. For equal shape and temperature the saturated vapor pressure over ice is smaller than over liquid water. Thus ice particles can grow at the expense of the water droplets, because the liquid water of the droplets evaporates and sublimates on the ice particles. This process is called the Wegener-Bergeron-Findeisen process (WBF, by Wegener 1911, Bergeron 1935, Findeisen 1938). Consequently a mixed-phase cloud is colloidal unstable, the composition of the clouds changes towards a higher ice amount with time. The glaciation of the cloud is slowed down by several processes. Due to the adiabatic increase of the LWC with height the largest LWC typically occurs in the upper part of a cloud. Because of the WBF ice particles can grow very fast in this region. The gain in weight leads to a subsidence of the particles down into lower cloud parts. Thus the ice particle concentration in the upper parts of the cloud is limited and the LWC-maximum remains in this region. In the lower parts of the cloud, the WBF reduces the already low LWC further. So mixed-phase clouds typically show an increase in LWC and a decrease IWC with height. Besides the sedimentation of ice particles, small ice nuclei concentrations can delay cloud glaciation. Korolev et al. (2003) found that even the vertical wind velocity affects the glaciation time, because the probability for simultaneous saturation over liquid droplets and ice particles increases for decreasing temperature.

2. VERDI field campaign

The analysed data were measured during the VERTical Distribution of Ice in arctic clouds campaign (VERDI) in April and May 2012. During the campaign 16 measuring flights were performed with the research aircraft Polar-5 from the Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven (AWI). The aircraft was based at the airport of the north Canadian city Inuvik ($68^{\circ} 19' N$, $133^{\circ} 37' W$).

During the campaign a Nevezorov probe (Korolev et al., 1998) was used to measure the water content in the clouds. The instrument uses the evaporative cooling which is proportional to the mass of the evaporated water. It consists of two separate sensors for measuring liquid water content and total water content (TWC) simultaneously employing equally tempered hot-wires. Hitting particles evaporate and cool the wire. Additionally the wire loses temperature by convection. This temperature loss is proportional to the aircraft speed. Thus, for every sensor a reference sensor is installed, which is aerodynamically protected against the impact of cloud particles. Thereby the temperature loss due to convection can be separated from the overall temperature loss of the wire. The water content can then be calculated from the power needed for holding the wire at constant temperature. The TWC-wire is mounted in a hollow cone, so both

droplets and ice particles are caught and melted. The LWC-wire is coiled around a copper rod. Ice particles hitting the convex sensor surface break away from the sensor and so causing only a small temperature loss. Korolev et al. (1998) stated that in a pure ice cloud the water content measured by the LWC-sensor does not exceed 15% of the value measured by the TWC-sensor.

For cloud particle size analysis a Cloud Combination Probe (CCP) composed of a Cloud Droplet Probe (CDP) and a Cloud Imaging Probe (CIP) was used. The CDP captures particles with a diameter of 2 - 50 μm representing mainly the size range of cloud droplets. The probe measures the scattered light to determine the particle size. The CIP captures particles in the size range of 12.5 - 2000 μm , which mainly belongs to ice particles. The size is determined by the shading of a photo diode array.

3. Data evaluation

This section contains the measurement results. For vertical profiles of LWC and TWC the data from the Nevezorov probe were vertically averaged over 5 m. Particle size distributions were determined from the CDP and CIP data. The respective ice corrected data are provided by the University of Mainz.

3.1. Vertical profile of temperature

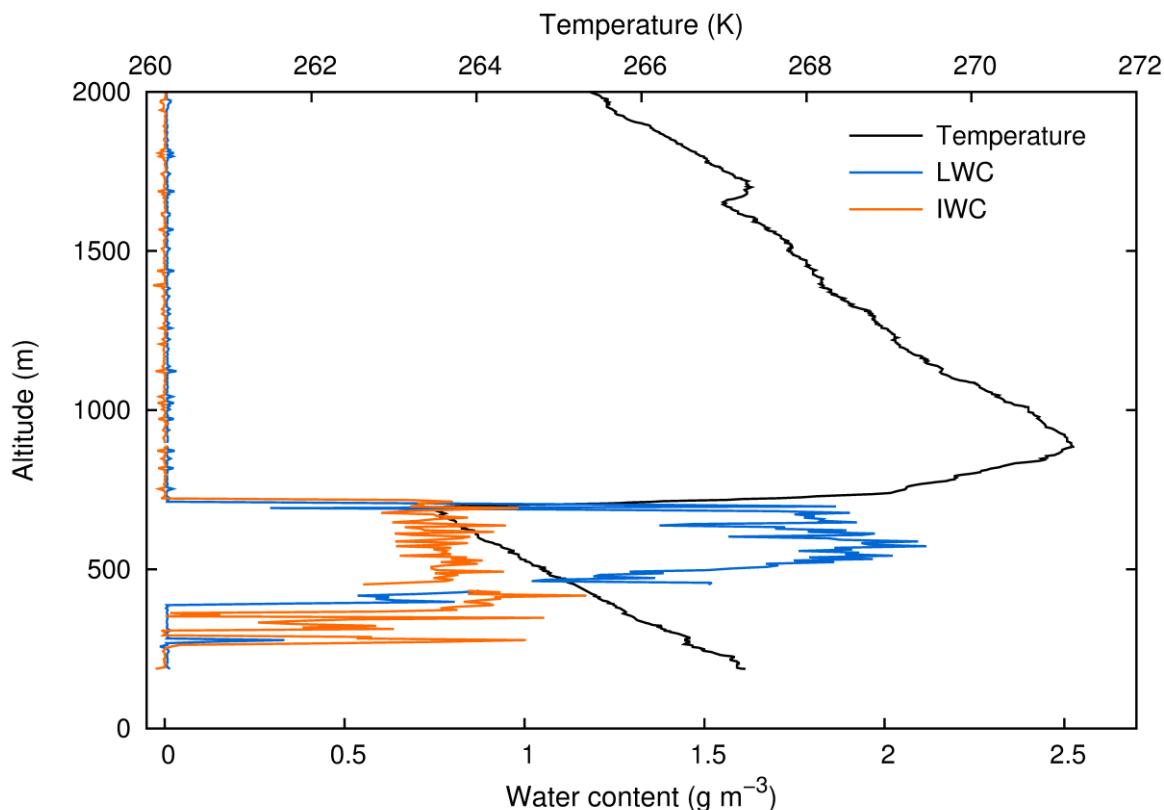


Fig. 1: Vertical profiles of temperature, LWC and IWC observed on 10.05.2012. Above 700 m a boundary layer inversion of 7.7 K is present. LWC and IWC indicate a 300 m thick mixed-phase cloud below the inversion.

A strong boundary layer inversion often exists in the Arctic. Wetzel and Brümmer (2011) mentioned four mechanisms leading to the formation of a temperature inversion. 1) Cooling of air near the surface due to emission of longwave radiation in clear nights, 2) large scale subsidence in high pressure areas, 3) advection of warm air over a cold surface, and 4) overriding of cold air by warm air in association with a warm front. Arctic inversions mainly form due to longwave radiative cooling and subsidence motion in the atmosphere. A temperature profile measured on 10.05.2012 is shown in Figure 1. After a uniform temperature decrease in the lowest 700 m, the temperature increases in the boundary layer inversion by 5.5 K over a distance of 50 m. The whole temperature increase is 7.7 K. Among others Albrecht et al. (1988) observed such strong temperature inversions of 7 - 8 K over marine stratocumulus clouds. In Figure 1 the observed stratocumulus cloud layer is represented by the profiles of LWC and IWC. The cloud top height is limited by the inversion as the stable layer suppresses the vertical motion. Thus, a stratocumulus cloud only forms under a temperature inversion, otherwise ascent motions will lead to deep convection.

3.2. Vertical profiles of LWC and IWC

3.2.1. Single-layer clouds

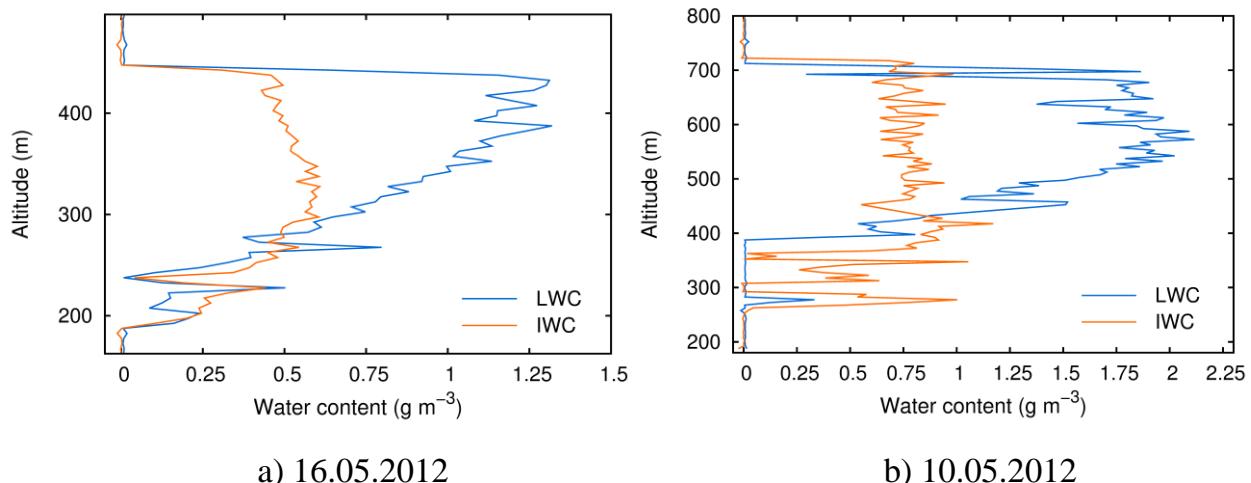


Fig. 2: Examples of single-layer mixed phase clouds observed during VERDI. The maximum LWC occurs in the upper half of the clouds while the maximum IWC can be found near cloud base.

Figure 2 shows the vertical profiles of LWC and IWC for two single-layer clouds. The cloud in case a) was observed on 16.05.2012 and extends from approx. 200 m up to 440 m. The LWC increases almost adiabatically with height, the maximum of approx. 1.3 g m^{-3} is located near cloud top. The maximum IWC of approx. 0.6 g m^{-3} occurs in the middle of the cloud layer. Up to the cloud top the IWC slightly decreases. The cloud in case b) was observed on 10.05.2012 and extends from 425 m up to 725 m. The LWC first increases with height, but the maximum of approx. 2.1 g m^{-3} occurs in the middle of the cloud. Above the maximum the LWC slightly decreases with height. The IWC is almost constant over the whole cloud, the maximum is located near cloud base with

approx. 1.2 g m^{-3} . Ice particles were also detected below the cloud base down to 250 m altitude. Besides a narrow layer containing liquid water at approx. 270 m, no liquid water was detected in this region. Thus the detected ice corresponds to particles falling through cloud base (virga). During the campaign observed profiles of LWC and IWC coincide with the results of other authors such as Pinto et al. (1998), Zuidema et al. (2005), Verlinde et al. (2007) and McFarquhar et al. (2007).

3.2.2. Multi-layer clouds

In addition to single-layer clouds also multi-layer clouds were probed during the campaign. One example is shown in Figure 3. The lowest cloud layer extends from 250 m up to 500 m. The LWC increases nearly adiabatically with height. The maximum LWC of approx. 1.6 g m^{-3} is located at the cloud top. Differing from the single-layer cases the IWC also increases with altitude and reach a maximum of approx. 0.6 g m^{-3} near the cloud top. A second liquid water containing cloud layer with a maximum LWC of approx. 0.25 g m^{-3} was detected at 1500 m, between both layers only ice particles were observed. A third cloud layer with a maximum LWC of around 0.4 g m^{-3} extends from 2100 to 2450 m. Ice particles are also detected between these layers.

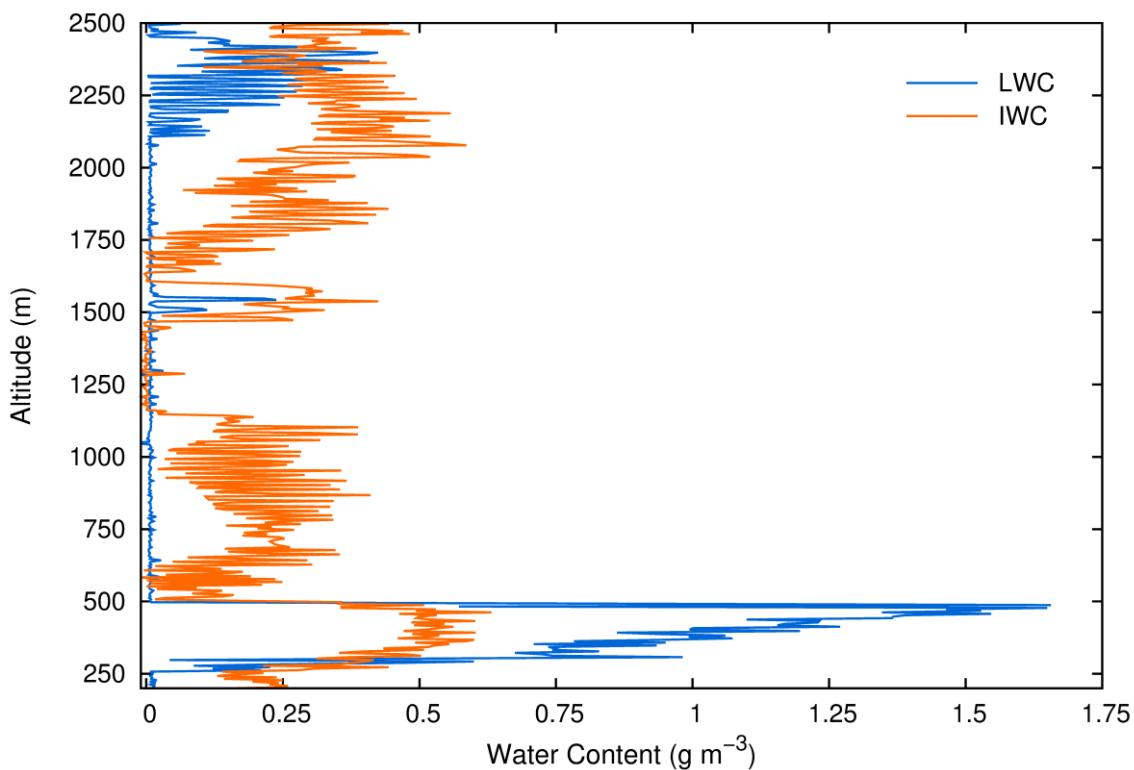


Fig. 3: Multi-layer cloud system observed on 27.04.2012. In the lowest cloud layer between 250 and 500 m LWC and IWC increase with height. Two more clouds layers are located in 1500 m and above 2100 m, between the layers only ice was detected.

Fleishauer et al. (2002) reports similar distributions of LWC and IWC for mid-level clouds. They attribute the observed profiles to a so called seeder-feeder-process. Ice crystals grow in the upper parts of a cloud layer and then sediment. After leaving the upper cloud layer the particles fall as virga through the air between the cloud layers and

finally reach the top of a lower cloud layer. Thus the IWC in this layer increases and can exceed the value from lower parts of the cloud. As a result the IWC increases with height in the lowest cloud layer.

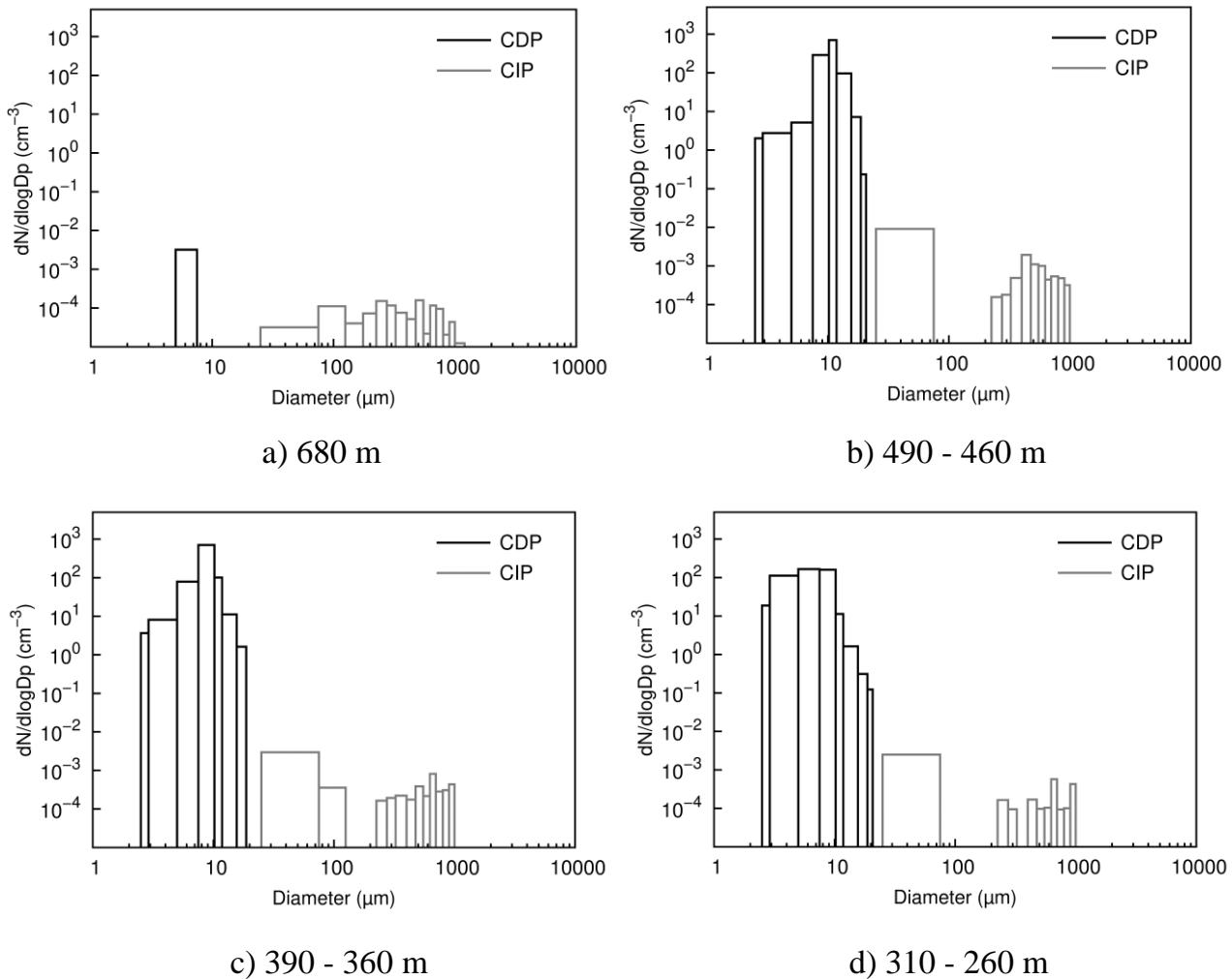


Fig. 4: Particle size distributions for the multi-layer cloud on 27.04.2012. Distribution a) is from above the lowest cloud layer, distributions b), c) and d) represent the top, middle and bottom region of the cloud layer.

To verify the seeder-feeder-process, Figure 4 shows particle size distributions for the multi-layer case from Figure 3. The distributions are created from the CDP and CIP data and represent four different altitude ranges. For distribution a) the data were averaged over 100 s, for the distributions b), c) and d) the data were averaged over 20 s as consequence of the steady descent of the aircraft in this altitude range. Thus a) shows the particle distribution for a constant altitude and the other three distributions for altitude ranges (see Figure 4). Above the cloud top in 680 m (a) the CCP only detected particles with sizes of 5.0 - 7.5 μm and above 15.0 μm . The number concentrations are quite small for all sizes compared to the concentrations in the other distributions. Figure (b) represents the cloud top region. Particles were detected in the size ranges 1.5 - 75.0 μm and 220.0 - 1000.0 μm . The distribution has a maximum at 10 μm particle size. The maximum number concentration is for small particles more than five magnitudes

and for bigger particles one magnitude bigger than in Figure (a). In the size range of 75.0 - 220.0 μm no particles were detected. Even in the distributions (c) and (d) no or only few particles were detected in this size range. A continuous size distribution should be present for growing ice particles. This suggests that the bigger ice particles are not grown but rather sedimented from above the cloud into the probed altitude ranges. This coincides with the theory of the seeder-feeder-effect from Fleishauer et al. (2002).

4. Conclusion

Airborne measurements of LWC and IWC in mixed-phase clouds were performed during the field campaign VERDI in Inuvik, Canada, in April and May 2012. For single-layer clouds the maximum LWC was observed in the upper half of the clouds whereas the maximum IWC occurred near the cloud base. These observations are consistent with previous studies such as Pinto et al. (1998) and Verlinde et al. (2007). The observed profiles are the result of the sedimentation of ice particles and the adiabatically increase of the LWC with height. For the lowest cloud layer of a multi-layer cloud the maxima of both LWC and IWC were observed near the cloud top. This is consistent with observations for mid-level clouds from Fleishauer et al. (2002). They attribute the profiles to a seeder-feeder-process. Ice particles fall through the cloud base of one layer and reach the cloud top of a lower cloud layer. Thus the IWC in the lower cloud layer increases. To test this hypothesis, particle size distributions for the multi-layer case were analysed. The size distributions in the lowest cloud layer showed a gap between 75 μm and 220 μm . For growing ice particles a continuous distribution would be expected. Hence, the bigger particles are possibly grown in higher altitudes and a seeder-feeder process seems possible for the observed IWC profile of the lowest cloud layer.

5. References

- Albrecht, B. A., Randall, D. A, Nicholls, S., 1988: *Observations of marine stratocumulus clouds during FIRE*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 69, 618 - 626
- Fleishauer, R. P., Larson, V. E., Vonder Haar, T. H., 2002: *Observed Microphysical Structure of Midlevel, Mixed-Phase Clouds*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 59, 1779 - 1804
- Korolev, A. V., Strapp, J. W., Isaac, G. A., 1998: *The Nevezorov Airborne Hot-Wire LWC-TWC Probe: Principle of Operation and Performance Characteristics*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 59, 1495 - 1510
- Korolev, A. V., Isaac, G. A., Hallett, J., 1999: *Ice particle habits in arctic clouds*, Geophys. Res. Lett., 26, 1299 - 1302
- Korolev, A. V., Isaac, G. A., Cober, S. G., Strapp, J. W., Hallett, J., 2003: *Microphysical characterization of mixed-phase clouds*, Q. J. R. Meteorol. Soc., 129, 39 - 65

McFarquhar, G. M., Zhang, G., Poellot, M. R., Kok, G. L., McCoy, R., Tooman, T., Frindlind, A. and Heymsfield, A. J. (2007), *Ice properties of single-layer stratocumulus during the Mixed-Phase Arctic Cloud Experiment: 1. Observations*, J. Geophys. Res., 112, D24201, doi: 10.1029/2007JD008633

Nasiri, S., Kahn, B.: *MODIS, AIRS, and Midlevel Cloud Phase*, http://cimss.ssec.wisc.edu/muri/documents/presentations/workshop5/muri_20_nasiri.ppt (accessed on 24.07.2013)

Pinto, J. O., 1998: *Autumnal mixed-phase cloudy boundary layers in the Arctic*, J. Atmos., Sci., 55, 2016 - 2037

Sun, Z., and Shine, K. P., 1994: *Studies of the radiative properties of ice and mixed-phase clouds*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 120, 111 - 137

Tremblay, A., Glazer, A., Benoit, W., Yu, R., 1996: *A mixed-phase cloud scheme based on a single prognostic equation*, Techn., 14, 483 - 500

Verlinde, J. and Coauthors, 2007: *The Mixed-Phase Arctic Cloud Experiment*, Bull. Amer. Meteor. Soc, 88, 205 - 221

Wetzel, C. and Brümmer, B., 2011: *An Arctic inversion climatology based on the European Centre Reanalysis ERA-40*, Meteorologische Zeitschrift, 20, 589 - 600

Zuidema, P., Baker, B., Han, Y., Intrieri, J., Key, J., Lawson, P., Matrosov, S., Shupe, M., Stone, R., Uttal, T., 2005: *An Arctic Springtime Mixed-Phase Cloudy Boundary Layer Observed during SHEBA*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 62, 160 - 176

Derivation of aerosol optical properties using ground-based radiation measurements

T. Donth¹, E. Jäkel¹, B. Mey², M. Wendisch¹

¹*Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig*

²*Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology, Königstor 59, 34119 Kassel*

Abstract

The knowledge of the optical and microphysical properties of aerosol particles in the atmosphere is relevant in various scientific fields from public health issues to climate modeling. A retrieval method is presented that estimates the single scattering albedo and asymmetry parameter of aerosol particles in regions of high pollution using spectral ground-based radiance and irradiance measurements, radiative transfer simulations, and a priori knowledge of the aerosol optical depth (AOD) derived from sun photometer observations. The used measurement data originated from the Pearl River Delta in China. The results are compared with sun photometer data and show a high agreement for AODs larger than 0.5. For low AODs and for cloudy conditions the method did not work due to the strong sensitivity of the initial parameters.

Zusammenfassung

Kenntnisse über optische und mikrophysikalische Eigenschaften von Aerosolpartikeln in der Atmosphäre werden in vielen verschiedenen wissenschaftlichen Gebieten benötigt. Diese reichen vom Gesundheitswesen bis hin zur Klimamodellierung. Deswegen wird im Folgenden eine Ableitungsmethode vorgestellt, die die Einfachstreualbedo und Asymmetrieparameter von Aerosolpartikeln bestimmt. Diese Methode wurde dabei für Messungen im Pearl River Delta, China, in denen oft hohe Luftverschmutzungen auftreten, angewandt. Es werden dazu bodengebundene Messungen der spektralen abwärtsgerichteten Strahlungsflussdichte und Strahldichte, gekoppelt mit Strahlungsübertragungsrechnungen durchgeführt. Um die aerosol-optischen Parameter ableiten zu können, wird als zusätzliche Randbedingung die aerosol-optische Dicke (AOD) benötigt. Sonnenphotometermessungen liefern dabei zum einen die AOD und zum anderen die aerosoloptische Eigenschaften, die mit den Ergebnissen der Ableitungsmethode verglichen werden. Dabei wurden für große AOD-Werte (über 0.5) gute Übereinstimmungen zwischen beiden Methoden festgestellt werden. Für AOD-Werte kleiner als 0.5 und bei bewölkten Bedingungen zeigt die Methode große Unsicherheiten, weil die Parameter zu empfindlich auf diese Begebenheiten reagieren.

1. Introduction

Aerosol particles have an impact on various aspects of the Earth's ecosystem. By scattering or absorption of solar radiation, aerosol particles influence the Earth's radiation budget, but may also alter cloud processes (Boucher et al., 2013). Megacities are a significant source for anthropogenic aerosol particles (Alpert et al., 2012; Cassiani et al., 2013), in particular black carbon particles which show significant uncertainties in the estimation of their radiative forcing (Boucher et al., 2013).

Megacities are cities with a population of over ten million. In the last decades the number of megacities and their inhabitants has increased faster than ever before (Molina and Molina, 2004). Especially health problems for the inhabitants of these major cities can appear during strong smog situations. A major region with heavy smog events are megacities in Asia (Tie and Cao, 2009; Lelieveld et al., 2015).

Aerosol particles show large inhomogeneities in time and space. Therefore, it is important to have algorithms, which derive the aerosol optical properties with high resolution. Ground-based irradiance and radiance measurements were performed, during the "Megacities – Megachallenges" project. Out of it, a new algorithm to derive the aerosol optical properties as asymmetry parameter and single scattering albedo were developed and validated against sun photometer data.

2. Basics

The spectral irradiance describes the flux of radiant energy, which incents on a flat (horizontal) surface. Every single photon reaching the horizontal surface contributes to the irradiance with a weight that is determined by the cosine of its incident angle. The unit of the spectral irradiance is $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$. In contrast to the irradiance, the radiance refers only to a certain solid-angle rather than an entire hemisphere. Consequently the unit of the spectral radiance is $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}^{-1}$. The attenuation of solar radiation by atmospheric constituents is described by the Beer-Lambert-Bouguer law. Fig. 1 shows the schematics for a slant path through the atmosphere.

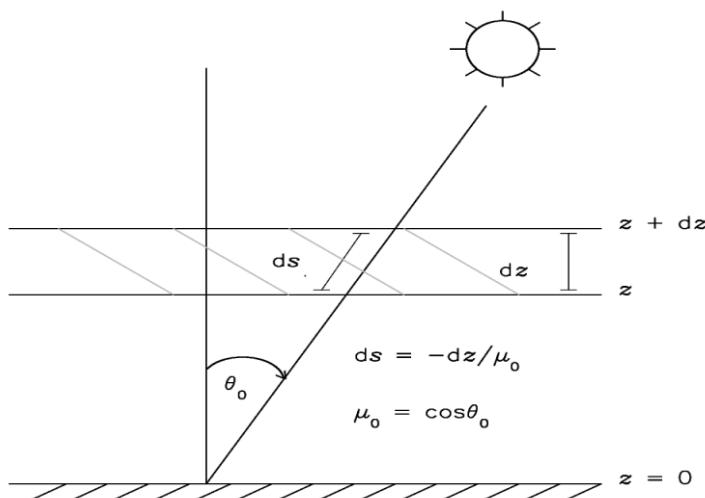


Fig. 1: Description of the geometry in a plane parallel atmosphere after Wendisch and Yang, (2012).

The AOD describes the column integral of the atmospheric extinction of solar radiation by aerosol particles. Θ_0 denotes the solar zenith angle (SZA). The extinction coefficient is composed of the absorption and the scattering coefficient. The single scattering albedo (SSA) is the ratio of scattering to extinction coefficient. That means if the single scattering albedo is equal to 1, then there is only scattering, and if the single scattering albedo is equal to 0, then there is only absorption.

The phase function describes the probability of a scattering event dependent on the scattering angle. The asymmetry parameter (g) can be described as a parametrization of the scattering phase function as an integral about all solid angles. The asymmetry parameter states in which direction the radiation will be mainly scattered. An asymmetry parameter of +1 means only forward scattering and -1 means only backward scattering. If the asymmetry parameter is equal to 0, then the scattering is isotropic, i.e., for every direction the amount of scattered radiation is equal (Wendisch and Yang, 2012). SSA, g and AOD are important quantities to describe the extinction of radiation by aerosol particles (Ruiz-Arias et al., 2014). Present methods to derive these properties are based on measurements of the direct and diffuse irradiance. The currently most common methods to derive the quantities are satellite observations (Remer et al., 2005, Levy et al., 2007) and sun photometer measurements (Holben et al., 1998). But these methods have restrictions. The sun photometer measurements have a low spatial coverage and the satellite measurements still have large uncertainties, especially over land and urban surfaces. Therefore is it important to investigate new approaches to derive aerosol optical properties.

3. Project “Megacities – Megachallenges”

The “Megacities – Megachallenges” project was initiated to answer upcoming questions due to the dynamic expansion of megacities. The project included several different disciplines to cover all important aspects of the development of megacities (as Dhaka in Bangladesh, and Guangzhou in the Pearl River Delta in China).

The data, as described below, were measured in Guangzhou, the capital city of the province Guangdong in the Pearl River Delta. More than eleven million people are living within the megacity Guangzhou.

Ground-based measurements were performed in Guangzhou from November 3, 2011 until January 2, 2012 on the roof of a hotel, unaffected from shadowing by vegetation or buildings. The main instrument for this study, the Compact Radiation Measurement System (CORAS) was deployed together with a sun photometer (Holben et al., 1998), a LIDAR (Althausen et al., 2009) and the imaging spectroradiometer AisaEagle (Schäfer et al., 2013).

4. Instrumentation

CORAS measures spectral downward irradiance and radiance covering a wavelength range between 350 and 2000 nm (Brückner et al., 2014). Each optical inlet is

connected to a system of two grating photodiode array spectrometers via optical fibers. While the irradiance optical inlet measures radiation from the entire upper hemisphere, the upward looking radiance inlet has a field of view of 2° .

CORAS was calibrated with a 1000 W standard calibration lamp and a hemispheric sphere traceable to NIST (National Institute of Standards and Technology). Different corrections are necessary in order to derive calibrated radiation data in physical units from the raw signal. The steps are a dark current correction, the pixel-wavelengths assignment (based on spectral calibration), a transfer calibration in order to account for radiometric differences between laboratory and field, and a cosine correction of the irradiance optical inlet.

The different corrections result in a total measurement uncertainty of 5 % for the irradiance and 10 % for the radiance. Detailed descriptions of the measurement system are provided by Mey (2012) and Brückner et al. (2014). To verify the CORAS measurements, radiative transfer simulations using the “library of radiative transfer routines and programs” (libRadtran) (Mayer and Kylling, 2005) were performed. A cloud free situation was chosen to minimize the uncertainty of the input variables. The vertical extinction profile of the aerosol particles was determined by concurrent LIDAR measurements. The sun photometer delivered the aerosol optical properties as the AOD, the single scattering albedo and the asymmetry parameter for the simulation. Profiles of temperature, pressure, and gases like water vapour, ozone, nitrous oxide, carbon monoxide and methane were taken from Anderson et al. (1986). Further input variables were the extraterrestrial solar spectrum from Gueymard (2003) and the solar zenith and azimuth angles. The used radiative transfer solver was disort2 (Nakajima and Tanaka, 1988; Stammes et al., 2000). The simulated spectral range was from 300 to 1100 nm, and the simulated quantities were the spectral radiance and irradiance.

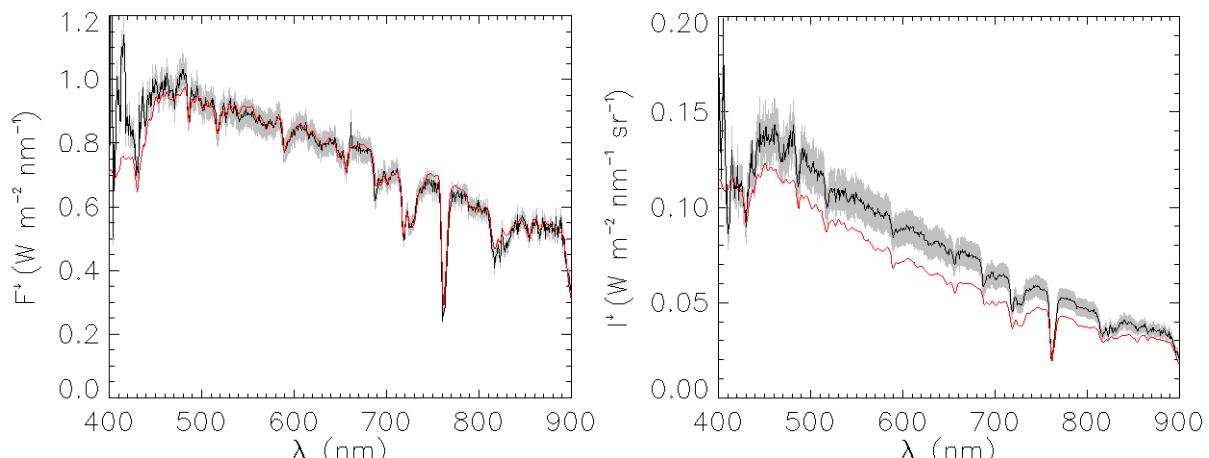


Fig. 2: Comparison between simulation (red) and measurement (black) of the downward irradiance (left) and radiance (right).

Fig. 2 shows measured and simulated irradiance and radiance spectra for clear sky condition on the December 31, 2011, 11:23 local time with a zenith angle of 53° . Local time is UTC+8 hours. The irradiance shows a good agreement between the simulation (red) and the measurement (black) within the measurement uncertainty. The mean deviation is below 3 %. The deviation between the simulated and measured radiance is larger with 15 % with a systematic bias, probably because of high

sensitivity to the model input parameter. Therefore the radiance values are additionally compared to measurements of AisaEagle.

Fig. 3 shows a comparison between CORAS (black) and AisaEagle (red) data. The opening angle of the AisaEagle of 36° distributed over 1024 spatial pixels is much larger than the opening angle of CORAS (2°). For the comparability only the center spatial pixel of the AisaEagle pointing in zenith direction was chosen. The AisaEagle spectra are within the error bars of CORAS (grey) indicating good agreement between both instruments. The mean derivation for the whole case is about 5 %. The derivation for the shown example is 3 %. This shows that also the radiance values are sufficiently accurate to use them for the derivation algorithm.

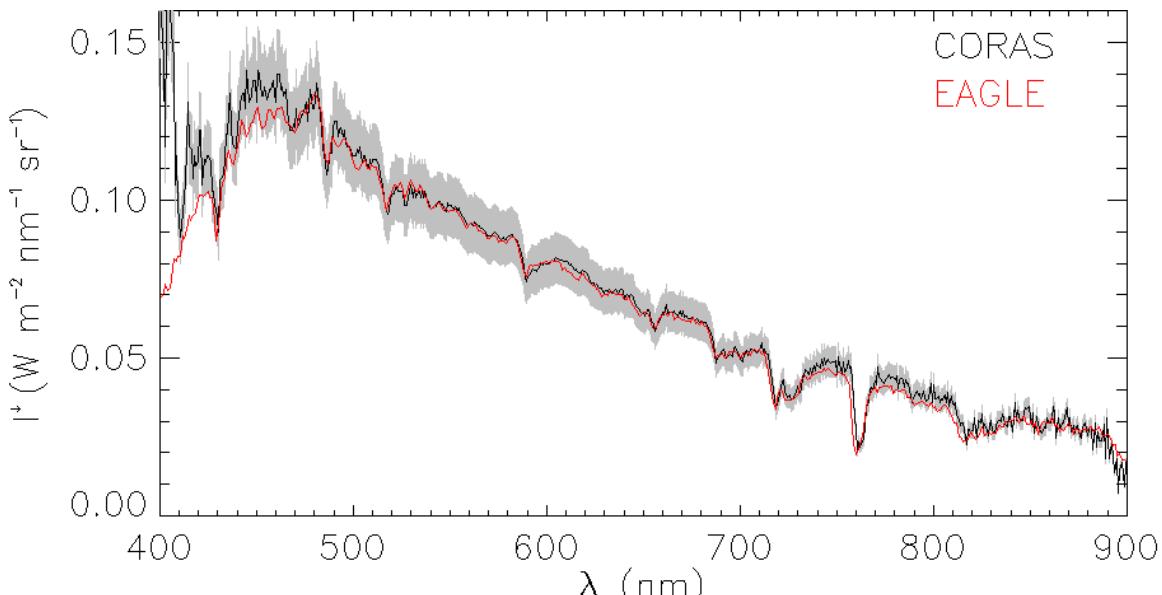


Fig. 3: Comparison between AisaEagle (red) and CORAS (black) of the downward radiance from November 15, 2011 at 5:03 UTC.

5. Derivation of aerosol optical properties

The extinction of solar radiation by aerosol particles depends on the amount of aerosol particles and their scattering/absorption properties. With knowledge of the AOD the directional dependence of the extinction (in terms of the asymmetry parameter) and the fraction of scattering on the total extinction (single scattering albedo) can be estimated from concurrent irradiance and radiance data which are highly sensitive to these parameters.

Radiative transfer calculations using libRadtran were performed for a set of single scattering albedos and asymmetry parameters to create lookup tables (LUTs). In general the optical parameters are spectral dependent. Here only results for the 500 nm wavelengths are shown. The single scattering albedo was varied from 0.8 to 1.0 and the asymmetry parameter from 0.6 to 0.9 in steps of 0.02. Each grid was interpolated, because of the fact that small changes result in larger uncertainties. The steps of the aerosol optical properties were interpolated to 0.005. The model input was additionally adapted to the solar zenith and solar azimuth angle (SZA, SAA) for each time step of the selected radiation measurement. Finally, the lookup tables were searched for the

best match of the radiance and irradiance pairs. For better illustration the LUTs were plotted as grids as shown in Figure 4.

The grid is calculated for a certain SZA and AOD, for a variable set of asymmetry parameter (g) and single scattering albedo values (SSA). If the SSA raises both radiation quantities also become larger. That is because larger SSA values mean less absorption. For variations in g the properties of the radiation values is not as clear as for SSA. Larger values of g lead to larger values of the irradiance but smaller values of the radiance. That is because larger values of g leads to less scattering in the sideward direction and less scattering in the 2° opening angle of the sensor. The irradiance values become larger because of less scattering in the backward direction. Additionally, a radiance/irradiance measurement pair and its uncertainty range (red bars) are plotted. Each pair of SSA and g within this range is a possible solution. Instead of taking the mean over all values within this area, the median is calculated as the most likely solution. As can be seen in Fig. 5, the histograms of both parameters do not follow a symmetric distribution but a shift of the maximum to the right. The reason for this is that there is no equidistant distance between the isolines of constant SSA and g . As a measure of the width of the distribution the standard deviation is given.

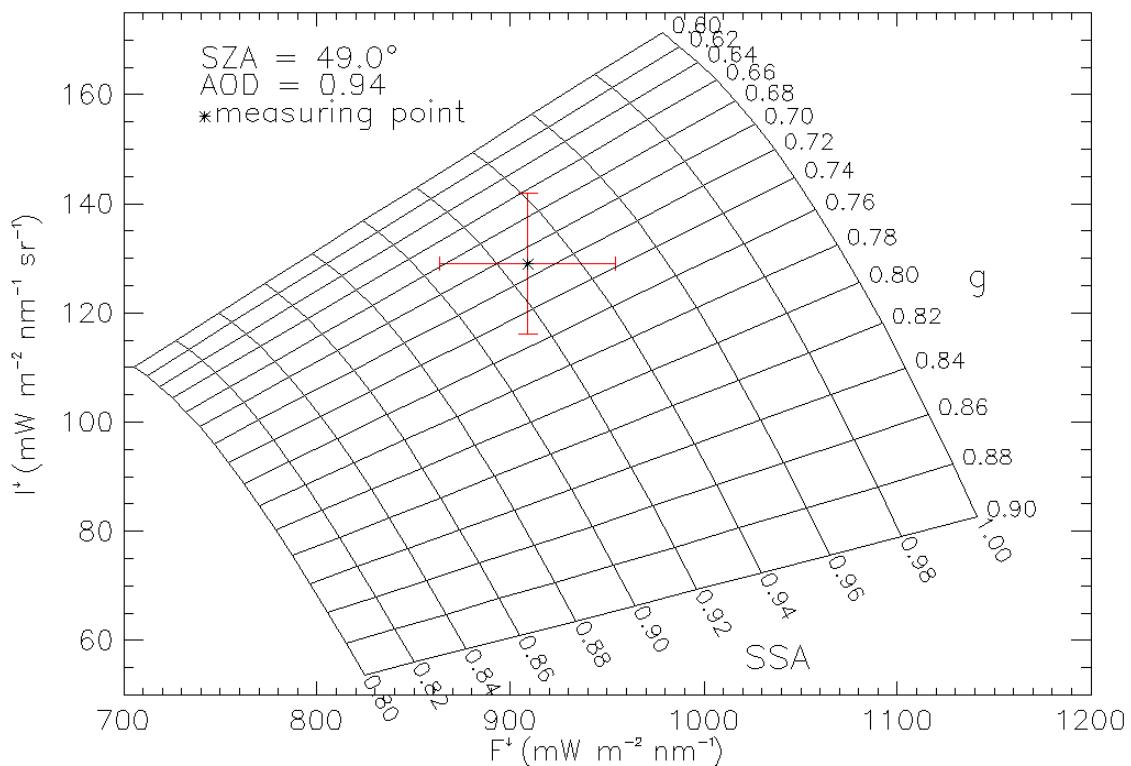


Fig. 4: Simulated grid of down welling radiance vs. irradiance as function of single scattering albedo (SSA) and asymmetry parameter (g) with a measurement point (black star) and the corresponding range of uncertainty (red bars) for a fixed point of time.

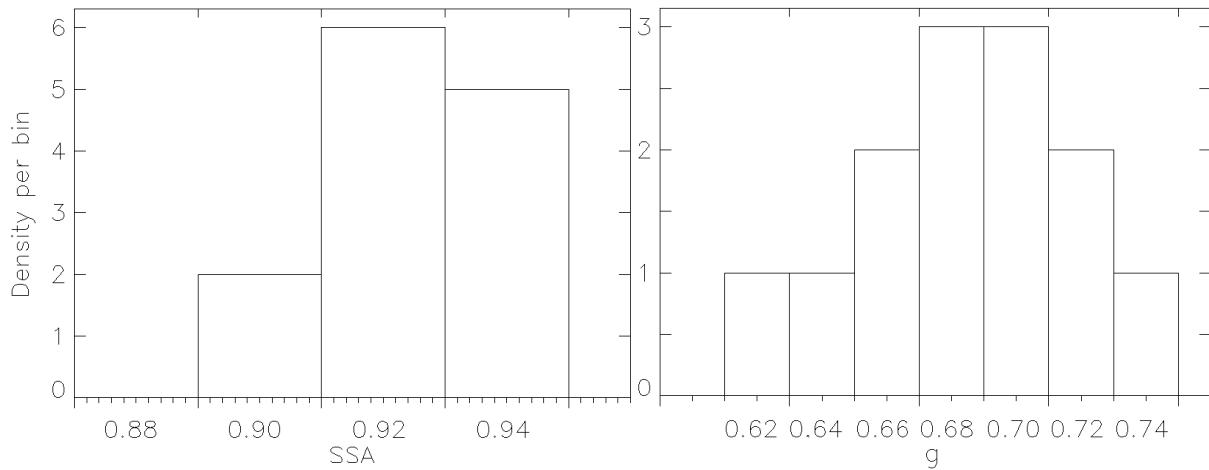


Fig. 5: Example histograms of the aerosol optical properties (a) SSA and (b) g which are lying within the range of uncertainty.

6. Measurement examples

Different measurement cases were analyzed by using the algorithm presented in Section 5. The aerosol optical properties derived with the algorithm were compared with the concurrent sun photometer measurements. All radiation data were filtered with respect to atmospheric conditions and availability of supplement datasets as from the sun photometer and the LIDAR. A broad spectrum of different conditions was found with AODs between 0.1 and 1.1. The single cases cover time intervals from 30 minutes up to more than two hours. For better comparison the AOD had to be as constant as possible within this time intervals. The measurements of the sun photometer were quite irregular. Hence, the mean over the period was used. The resolution for the single CORAS measurements are 20s and for the LIDAR 30s. Cloud cases were excluded with the help of the sun photometer and LIDAR data. Two examples of the analyzed cases are shown in the following.

6.1 Example with high AOD

The first case is dated from November 29, 2011 for a period between 0:47 and 1:30 UTC. The measured AOD was 1.14 ± 0.025 , the largest aerosol optical depth of all analyzed cases. The sun photometer value for the single scattering albedo amounted to 0.922 ± 0.028 and the value of the asymmetry parameter was 0.74 ± 0.022 . The solar zenith angle ranged between 67° at the beginning and 59° at the end of the period.

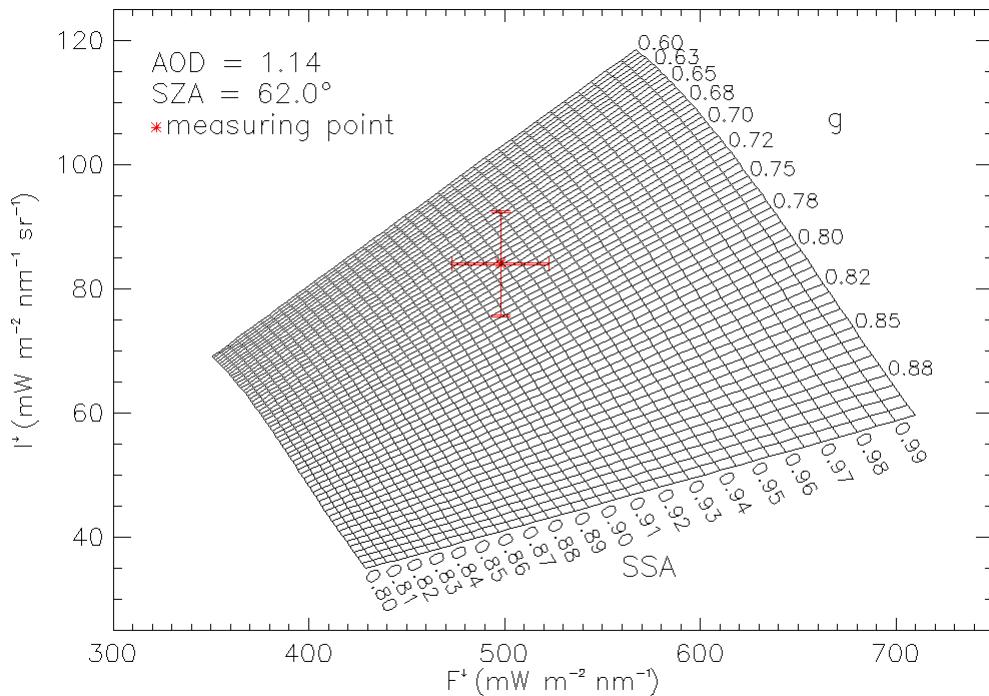


Fig. 6: A LUT grid for the derivation of the aerosol optical properties with two measurement points (red) from November 29, 2011 at 1:16 UTC, similar to Fig. 4.

Fig. 6 shows, that the measurements fall into the grid with realistic values of g and SSA. The derived single scattering albedo was 0.92 ± 0.01 and the derived asymmetry parameter was 0.72 ± 0.029 . For this particular case all data points sampled within the time period were falling in the LUT grid and show good agreement with concurrent sun photometer data within the range of uncertainty. Also other studies (Alam et al., 2011) have shown similar results for typical SSA-values (0.92) in megacities in winter months.

This proves that the algorithm is operating well for this case. Fig. 7 shows the time series of g and SSA with a temporal resolution of 20 s, as a function of time and SZA. The derived values of the single scattering albedo are plotted as plus signs and the asymmetry parameter values as stars. Furthermore, the uncertainty of the derived parameters is given as a grey area around the measurement points which is larger for the asymmetry parameter than for the single scattering albedo due to larger measurement uncertainty of the radiances (10 %) compared to that of the irradiance (5 %).

The single scattering albedo is quite constant over the entire period. The small fluctuations are indicators for inhomogeneities within the atmosphere, either by aerosol particles or subvisible clouds. The asymmetry parameter shows a larger variation over the same time. A possible reason might be that small changes of the radiance values have a larger influence on the derived asymmetry parameter than on the SSA, because the radiance is a strongly directional dependent measure of radiation. However, the algorithm works quite well in this case and all derived values are within a realistic range and are quite near to the values of the sun photometer measurements.

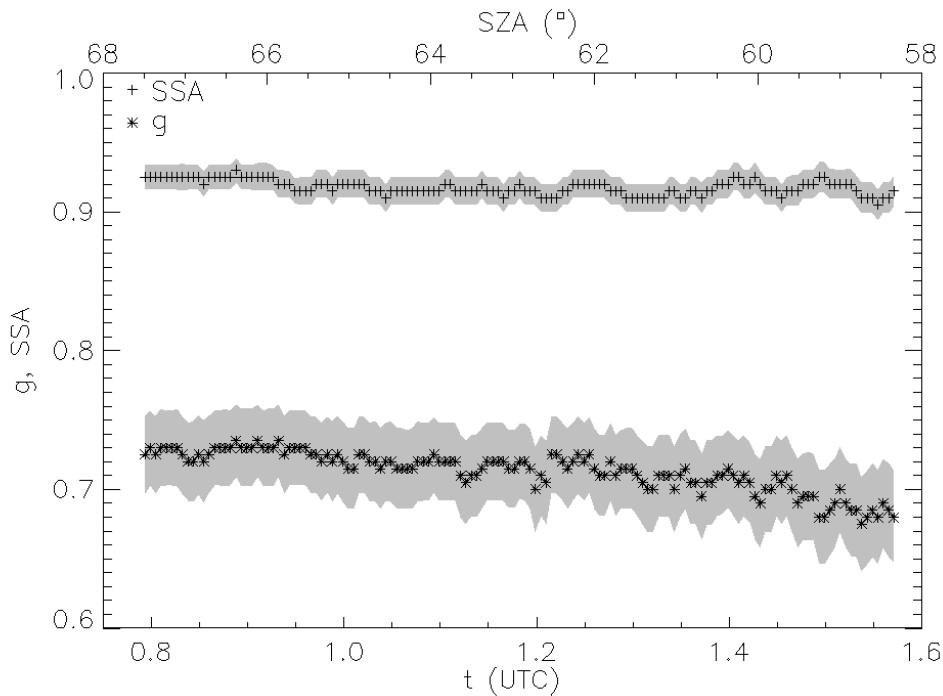


Fig. 7: Time series of the aerosol optical properties g and SSA with their retrieval uncertainties from November 29, 2011.

6.2 Example with low AOD

The second case illustrates the limitation of the method for low AODs. Data from December 11, 2011 between 5:56 and 8:36 UTC were evaluated. The SZA varied from 51° to 76° in this period. Sun photometer measurements resulted in a mean AOD of 0.251 ± 0.005 , a mean single scattering albedo of 0.866 ± 0.007 and a mean asymmetry parameter of 0.668 ± 0.008 .

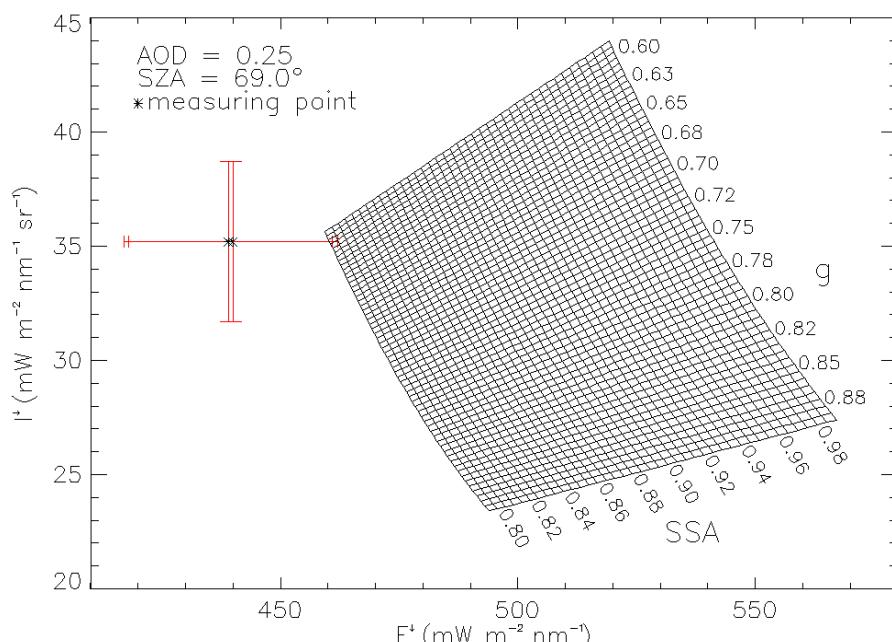


Fig. 8: A LUT grid for the derivation of the aerosol optical properties with two measurement points (red) from December 11, 2011 at 7:51 UTC.

Fig. 8 presents the corresponding LUT-grid for measurements at 7:51 UTC. Obviously the radiance/irradiance pairs are not within the grid. This issue occurred for the entire period increasing the number of g and SSA parameters to lower values to match the measured data would lead to unrealistic retrieval results. The algorithm does not work for this example. Similar results have been found for all cases with low AOD values. Possible reasons will be discussed in Section 7.

7. Error discussion

The used algorithm underlies several restrictions and is prone to errors. It is necessary to proceed cautiously to reduce the retrieval uncertainty. One restriction to derive the aerosol optical properties by the method is the selection of cloudless conditions. The radiative transfer simulations, which were used to calculate the LUTs, were only performed for cloudless conditions. The angular distribution of the radiance is highly sensitive to the presence of clouds which directly has an effect on the derived asymmetry parameter.

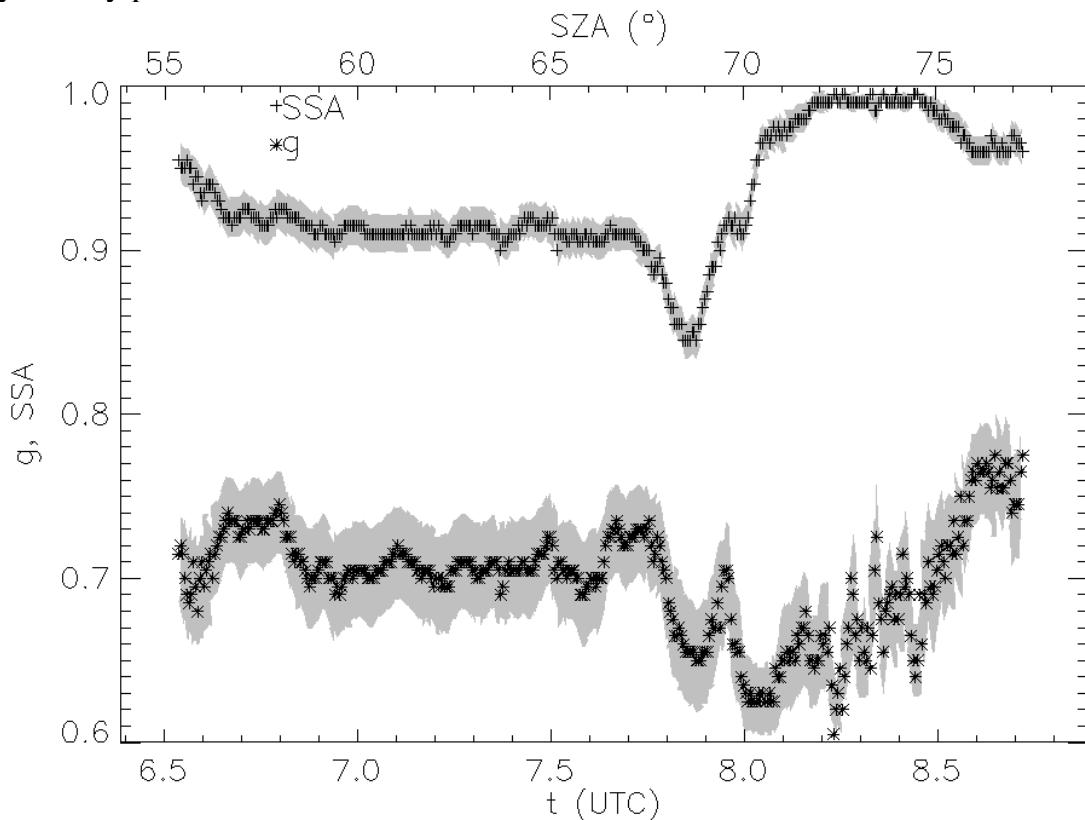


Fig. 9: Time series of the aerosol optical properties with their estimated uncertainty from January 1, 2012.

Fig. 9 shows a time series of the aerosol optical properties with an approaching cloud. Quite constant values of the aerosol optical properties could be derived in the first half of the time series during clear sky conditions. After the cloud is approaching g and SSA is first decreasing and increasing afterwards, probably related to the directional distribution of the clouds.

Besides the careful selection of cloudless cases also other constraints have to be considered to gain reliable retrieval results. In general, the relation of irradiance and radiance must not be too sensitive to changes of the aerosol properties, because the measurement uncertainties of both radiative quantities can result in large deviations of the retrieved g and SSA. Mainly two parameters determine the sensitivity of the irradiance – radiance relation on the aerosol properties, namely, the SZA and the AOD. Fig. 10 shows the variation of the LUT-grids for different SZAs for the same scaling of the abscissa and ordinate. The difference in the size of the two LUT-grids is distinctive. The higher the SZA the less radiation reaches the optical inlets, and small uncertainties in the radiance and the irradiance lead to broad distributions of the estimated g or SSA values. Since the SZA has a considerably effect on the LUT-grid, the horizontal alignment of the optical inlets has to be as accurate as possible. The comparison of the measurements with radiative transfer simulations as presented in Section 3 did not show any evidence for a misalignment of the optical inlets. An offset angle in direction towards the sun would lead to an enhancement of radiation or to a decrease of radiation in case the sensor is misaligned away from the sun.

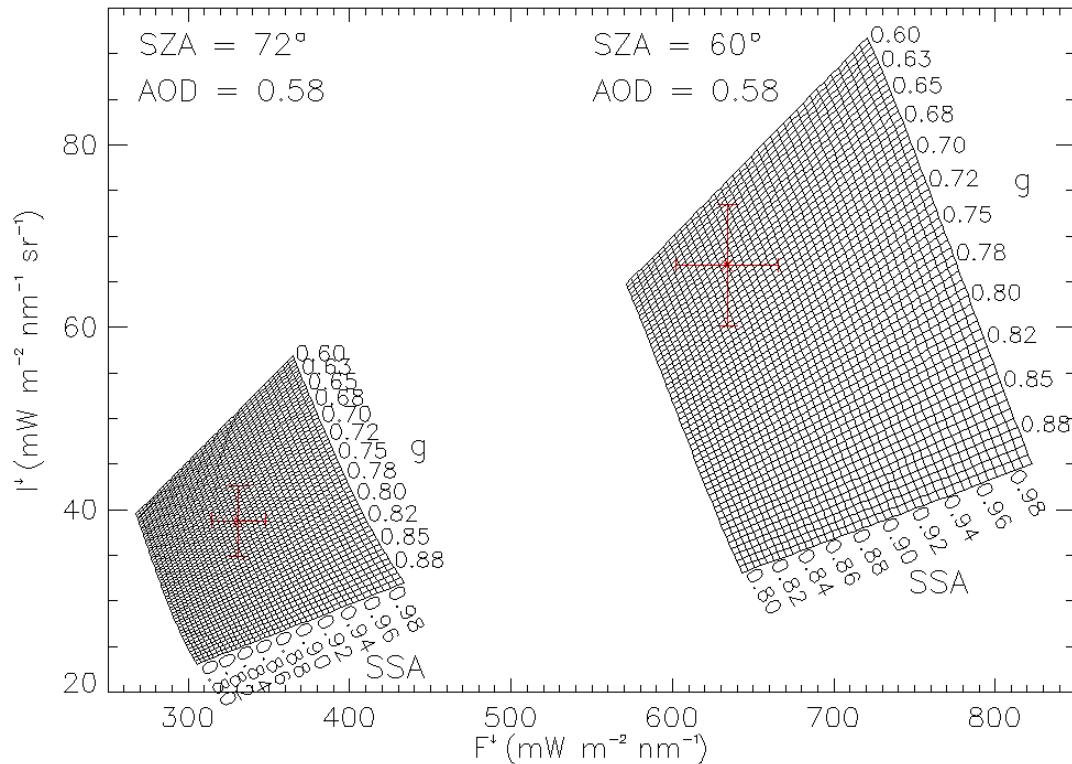


Fig. 10: Two different LUT-grids for the derivation of the aerosol optical properties with measurement points (red) from November 28, 2011. The left grid is from 0:20 UTC ($SZA = 72^\circ$) and the right one from 1:27 UTC ($SZA = 60^\circ$).

The second crucial parameter for the retrieval method is the AOD, which is delivered by a sun photometer. The measurement uncertainty of 5 % also leads to an additional source of the retrieval uncertainty, in particular for low AODs as shown in one of the measurement examples above.

Fig. 11 shows the influence of the AOD on the LUT-grid for three AOD-values ranging between 0.1 and 1.0. The three LUT-grids were calculated with the same conditions for all three cases, except a variation of the AOD. It is also noticeable that

the absolute values of the irradiance are largest for lower AODs, while the radiances are largest for high AODs. The reason for this is simple; if there are fewer particles then less radiation is scattered in the direction of the opening angle of the radiance's optical inlet. On the other hand a lower AOD results in less extinction and consequently in larger values of the irradiance.

The larger the AOD, the larger becomes the distance between the values in the LUTs as visualized in the LUT-grids. For large AODs the LUT-grids are more stretched than for lower AODs. Consequently, the influence of the measurement uncertainties on the retrieval accuracy gets lower since the spacing between the grid points increases. But for small AODs the measurements have to be much more precise than given. Therefore, it is not possible to derive realistic aerosol optical properties with the help of the algorithm for AODs smaller than about 0.5.

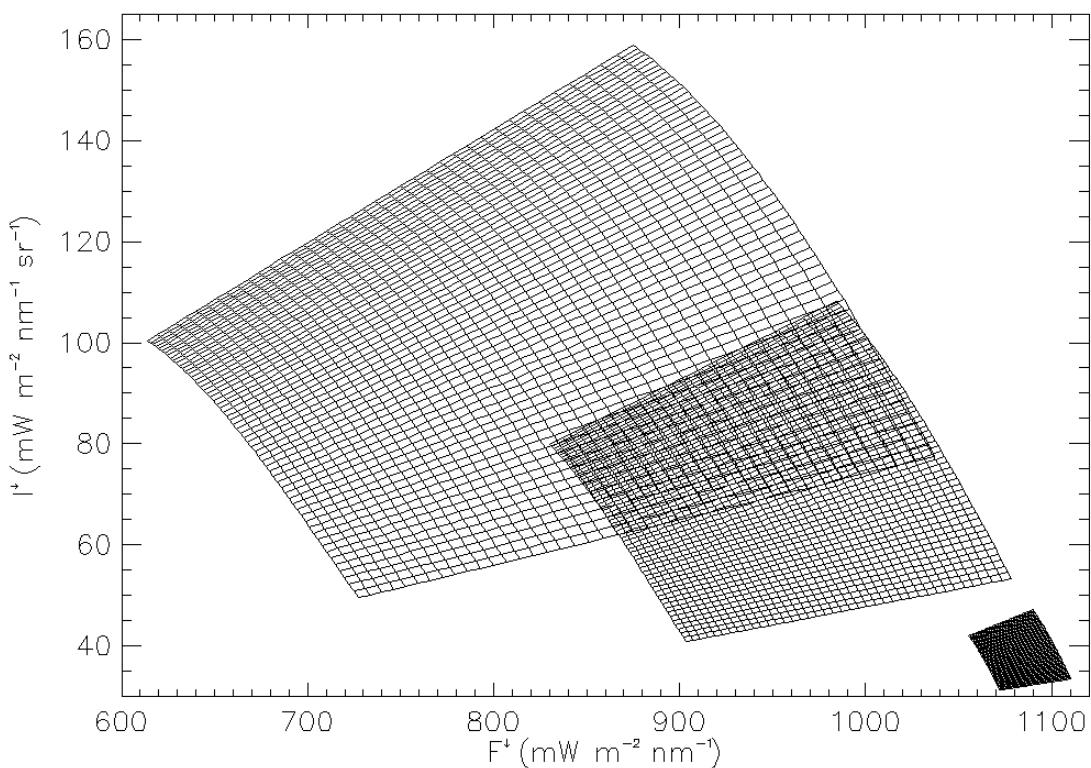


Fig. 11: Three grids for the derivation of the aerosol optical properties at different AODs: large LUT-grid, AOD=1.0; medium LUT-grid, AOD=0.5; small LUT-grid, AOD=0.1.

8. Summary and outlook

The present study has used a new approach to derive aerosol optical properties (asymmetry parameter and single scattering albedo) with ground-based radiation measurements. Concurrent observations of the downward radiance and irradiance were used to test the new approach for data gained during the “Megacities – Megachallenges” project in the Pearl River Delta, China. First of all, the CORAS measurements were compared to radiative transfer simulations for clear sky conditions to validate the data quality. For this comparison the model input of the aerosol properties was taken from LIDAR and sun photometer measurements. It was shown

that irradiance data could be reproduced by the simulation. The radiance data was additionally compared to AisaEagle measurements. A high consistency between the two data sets could be shown.

In a next step LUTs were created out of given AODs from the sun photometer and SZAs for a set of aerosol properties. These LUTs were applied to selected clear sky cases. It has been shown that the relation of both radiative quantities significantly depends on the aerosol properties, but its sensitivity is highly variable with AOD and SZA. On the one hand the retrieval uncertainty is influenced by the measurement uncertainty of the irradiance, radiance, and the AOD but also on the sensitivity of the parameters.

Examples with high and low AODs were presented showing that only for high AODs (larger than 0.5) the aerosol optical properties could be derived in a comparable range to the sun photometer measurements of g and SSA.

In order to improve the algorithm, it is necessary to raise the accuracy of the measurements. Especially the AODs have to be measured with a higher temporal resolution. Furthermore, it is recommended to use an all-sky-camera to identify clear sky cases better. The LUTs have to be calculated for individual conditions adapted more precisely with respect to extinction by gases and molecules. More measurements are necessary to get a more test the applicability of the method. In general the method can be applied for cases where only AODs are available instead of full information of the aerosol properties (e.g., satellite or sun photometer measurements).

In conclusion, the algorithm provides good results for large AODs now, but further investigations are necessary for cases of small AODs to estimate the restrictions of the method more systematically.

9. References

- Alam, K., Trautmann, T., and Blaschke, T., 2011: Aerosol optical properties and radiative forcing over mega-city Karachi, *Atmos. Res.*, 101, 773–782, doi: 10.1016/j.atmosres.2011.05.007.
- Althausen, D., Engelmann, R., Baars, H., Heese, B., Ansmann, A., Müller, D., and Komppula, M., 2009: Portable Raman Lidar Polly^{XT} for Automated Profiling on Aerosol Backscatter, Extinction, and Depolarization, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26, 2366–2378, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2009JTECHA1304.1>.
- Alpert, H. R., Connolly, G. N., Biener, L., 2012: A prospective cohort study challenging the effectiveness of population-based medical intervention for smoking cessation, *Tob. Control*, 22, Issue 1, 32-37, doi: 10.1136/tobaccocontrol-2011-050129.
- Anderson, G. P., Clough, S. A., Kneizys, F. X., Chetwynd, J. H., Shettle, E. P., 1986: AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0-120km), Optical Physic Division, Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, MA 01731, Environ. Res. Paper, No. 954.
- Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., Feingold, G., Forster, P., Kerminen, V.-M., Kondo, Y., Liao, H., Lohmann, U., Rasch, P., Satheesh, S. K., Sherwood, S., Stevens, B., and Zhang, X. Y., 2013: Clouds and Aerosols. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Brückner, M., Pospichal, B., Macke, A., and Wendisch, M., 2014: A new multispectral cloud retrieval method for ship-based solar transmissivity measurements, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, Issue 19, Pages 11, 338–11,354, doi: 10.1002/2014JD021775.

Cassiani, M., Stohl, A., and Eckhardt, S., 2013: The dispersion characteristics of air pollution from the world's megacities, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 9975–9996, doi: 10.5194/acp-13-9975-2013.

Gueymard, C., 2003: The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models, *Solar Energy*, 76, 4, 423-453, doi: 10.1016/j.solener.2003.08.039.

Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak I., and Smirnov, A., 1998: AERONET - A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization, *Remote Sens. Environ.*, 66, 1-16, doi: 10.1016/S0034-4257(98)00031-5.

Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., and Pozzer, A., 2015: The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale, *Nature*, 525, 367–371, doi: 10.1038/nature15371.

Levy, R. C., Remer, L. A., Mattoo, S., Vermote, E. F., and Kaufman, Y. J., 2007: Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer spectral reflectance, *J. Geophys. Res.*, 112, D13211, doi: 10.1029/2006JD007811.

Mayer, B., and Kylling, A., 2005: Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1855–1877, doi: 10.5194/acp-5-1855-2005.

Mey, B. S., 2012: Einfluss der Bodenalbedo und Bodenreflektivität von urbanen Oberflächen auf die Ableitung der optischen Dicke von Aerosolpartikeln aus Satellitenmessungen, Dissertation, Qucosa, 135, nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa-113056.

Molina, M. J., and Molina, L. T., 2004: Megacities and Atmospheric Pollution, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 54, 644–680.

Nakajima, T., and Tanaka, M., 1988: Algorithms for radiative intensity calculations in moderately thick atmospheres using a truncation approximation, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 40 (1), 51–69, doi: 10.1016/0022-4073(88)90031-3.

Remer, L. A., Kaufman, Y., Tanré, D., Mattoo, S., Chu, D., Martins, J., Li, R.-R., Ichoku, C., Levy, R., Kleidman, R., Eck, T., Vermote, E., and Holben, B., 2005: The MODIS aerosol algorithm, products, and validation, *J. Atmos. Sci.*, 62, 947–973, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS3385.1>.

Ruiz-Arias, J. A., Dudhia, J., and Gueymard, C. A., 2014: A simple parameterization of the short-wave aerosol optical properties for surface direct and diffuse irradiances assessment in a numerical weather model, *Geosci. Model Dev.*, 7, 1159–1174, doi: 10.5194/gmd-7-1159-2014.

Schäfer, M., Bierwirth, E., Ehrlich, A., Heyner, F., and Wendisch, M., 2013: Retrieval of cirrus optical thickness and assessment of ice crystal shape from ground-based imaging spectrometry, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 1855–1868, doi: 10.5194/amt-6-1855-2013.

Stamnes, K., Tsay, S.-C., Wiscombe, W. J., and Laszlo, I., 2000: DISORT, a general-purpose fortran program for discrete-ordinate-method radiative transfer in scattering and emitting layered media: documentation of methodology. DISORT Report, version 1.1.

Tie, X., and Cao, J., 2009: Aerosol pollution in China: Present and future impact on environment, *Particuology*, 7, 426–431, doi: 10.1016/j.partic.2009.09.003.

Wendisch, M., and Yang, P., 2012: Theory of Atmospheric Radiative Transfer, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Deutschland, ISBN: 978-3-527-40836-8, p. 70-72, p. 146-174.

Temperature profiles from airborne pyrgeometer measurements of broadband terrestrial radiation.

K. Wolf, A. Ehrlich, M. Wendisch

Institute of Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, E-Mail: kevin.wolf@uni-leipzig.de

Summary

Profiles of broadband terrestrial radiation from airborne pyrgeometer measurements aboard research aircraft Polar 5 obtained during the VERDI campaign in 2012 were used to derive vertical temperature profiles. The retrievals were performed utilizing radiative transfer simulations by libRadtran (Mayer and Kylling, 2005). Manually changing the temperature of the input file for the simulations resulting calculated profiles of terrestrial irradiance were compared with measured profiles and iterated until best agreement. The selected test case shows the possibility of this technique and reveals several possible improvements. The algorithm has to be optimized to adapt the modelling temperature profile automatically using least-square error minimization between measured and modelled irradiance profiles. Additionally the vertical resolution has to be increased to consider small-scale variations. Using humidity and pressure profiles from ground-based observations and nearby radiosoundings significantly improves the retrieved temperature profiles.

Zusammenfassung

Vertikalprofile der breitbandigen terrestrischen Strahlung von flugzeuggetragenen Pyrgeometermessungen an Bord des Forschungsflugzeugs Polar 5 während der VERDI Kampagne in 2012 wurden genutzt, um Vertikalprofile der Temperatur abzuleiten. Das Retrieval erfolgte mit Hilfe von Strahlungstransfersimulationen unter der Verwendung von libRadtran (Mayer and Kylling, 2005). Dazu wurde die Temperatur der Modellatmosphäre variiert, bis eine bestmögliche Übereinstimmung von gemessenem und modellierten Irradianzprofil erzielt wurde.

Der ausgesuchte Testfall zeigt das Potential dieser Technik und mögliche Verbesserungsansätze. So muss der verwendete Algorithmus automatisiert werden, indem das modellierte Strahlungsprofil mit Hilfe eines Iterationsverfahrens und der Methode der kleinsten Fehlerquadrate an das gemessene Profil angepasst wird. Zusätzlich ist eine Erhöhung der vertikalen Auflösung von 50 m auf 10 m Schritte nötig, um kleinskalige Fluktuationen zu berücksichtigen. Die Verwendung von bodengebundenen Beobachtungen und nahegelegenen Radiosondenaufstiegen in der Modellatmosphäre führt zu einer weiteren signifikanten Verbesserung der abgeleiteten Temperaturprofile.

1 Introduction

The vertical temperature profile of the atmosphere is of importance for processes like convection and turbulence. During summertime in the midlatitudes the temperature profile determines the development of strong vertical motions and corresponding thunderstorms which can cause massive destruction to buildings and infrastructure. Storm development mostly results from unstable atmospheric conditions which are present when the temperature decreases with more than $\Gamma_d = 0.98 \text{ K } 100\text{m}^{-1}$ which is the dry-adiabatic temperature gradient. A lifted air-parcel will be warmer than the surrounding air resulting in a density gradient which implies an additional force accelerating the air-parcel upwards. In an unstable atmosphere small-scale vertical deflections from the initial position result in self-intensifying upward motions increasing the chance of severe weather development. In case of neutral layering the temperature of the atmosphere decreases with the dry-adiabatic temperature gradient. The temperature of the air-parcel and the surrounding air is similar and no external force accelerates the air-parcel. Air-parcels in such atmospheric conditions will remain at a constant height. If the atmosphere is stable the temperature of the air is decreasing faster than Γ_d . Every air-parcel which is forced out of the inertial position will return to the same height level.

Despite the mentioned influence on convection the vertical temperature profile is of major importance for thermodynamic processes and the radiative budget of the Earth. The temperature of each atmospheric layer mainly determines the intensity of emitted terrestrial radiation. In Arctic regions terrestrial radiation dominates the radiation budget because the solar part is less resulting from low solar incident radiation due to low Sun elevations. Investigation of temperature profiles under different atmospheric conditions is important to establish long-term trends of the Arctic climate and global climate modelling. In recent times there are a lot of efforts trying to explain Arctic Amplification which can be caused by Laps-rate and Planck feedback mechanisms where the temperature profile is the driving factor (Pithan and Mauritsen, 2014). The method of deriving vertical temperature profiles from irradiation measurements can also be inverted to determine the change of the radiation budget of the Earth's atmosphere in Arctic regions due to climate change and changing temperature profiles.

Up to now several methods exist to derive vertical temperature profiles. One of them are radiosoundings which provide a low-cost and easy way to measure. Such measurements are performed all over the world in a continuous way but are restricted to land. An other possibility are active and passive remote sensing instruments like microwave profilers which can derive vertical profiles of temperature and humidity. These instruments have to be operated with assumptions and parametrizations which can cause large errors (Pospichal, 2011). Microwave profilers can be operated as ground-base instruments or on satellites like the Aqua satellite which is part of the A-Train-constellation operated by the National Aeronautics and Space Administration (NASA). Utilizing several infrared channels this satellite is able to derive a daily average of the vertical temperature profile with an accuracy of 1 K for an atmospheric layer with a thickness of about 1 000 m (Kempler, 2013). This vertical resolution is not sufficient for climate modelling. All mentioned techniques have the disadvantage that they are restricted to continents or have low spatial resolution. In contrast, airborne measurements can be a suitable tool allowing large-scale measurements in regions which can not be probed in any other way. Furthermore many regions of the Arctic are hard to reach and only accessible by air-

craft. Up to now measurements over oceans and in the polar regions which cover nearly 70 % of the Earth are rare resulting in a lack of data for climate modelling. To increase global data set results of the water and ice covered regions airborne measurements are necessary. They can provide in-situ measurements from regions of interest which are not accessible by other methods like observations from the ground. Improving airborne remote sensing techniques opens a new opportunity to derive vertical temperature profiles in remote areas.

2 Radiation properties

Every body with a temperature above 0 K emits radiation with a specific intensity and a maximum at a specific wavelength which depends on the bodies temperature. Both can be calculated by Plancks law and Wiens displacement law. The emitted radiance in dependence of temperature and wavelength is calculated by:

$$I_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (2.1)$$

$I_\lambda(T)$ is the spectral radiance, h the Planck constant, k_B the Boltzmann constant, c the speed of light, λ the selected wavelength and T the temperature. The radiance is given in units of $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1} \text{sr}^{-1}$. This equation is valid for black bodies in thermodynamic equilibrium only. Calculating the first derivation of the Plancks law one get Wiens displacement which gives the wavelength position of the maximum emitted radiance. With a surface temperature of about 6 000 K the maximum of emitted radiation of the Sun is in the range of the shortwave electromagnetic spectrum. Contrarily the Earth emits radiation mainly in the terrestrial spectrum because of an average surface temperature between 250 K and 300 K. One distinguish between shortwave, solar radiation and long-wave, terrestrial radiation at a wavelength of 4 μm . This threshold was selected because 99 % of the solar radiation from the Sun is emitted below 4 μm . Above this value the radiation is called longwave, terrestrial radiation (Petty, 2006).

The Stefan-Boltzmann law is obtained by integrating the Planck law over all wavelength and all solid angles resulting in:

$$F = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.2)$$

F is called irradiance, ε is the emissivity parameter, σ is the Stefan-Boltzmann-constant and T is the temperature of the black body. The irradiance is given in W m^{-2} . The Stefan-Boltzmann-law is important for calculation of the broadband, terrestrial radiation transport. Rearranging the equation the brightness temperature T_b can be calculated by:

$$T_b = \sqrt[4]{\frac{F}{\varepsilon \sigma}} \quad (2.3)$$

T_b is the temperature an idealized black body in thermal equilibrium would have when emitting the same amount of radiation a grey body does at a specific frequency. The brightness temperature is frequently used in investigations of the terrestrial radiation budget of the Earth. The black body is a simplification in radiation transfer theory. It is defined as an object which emits and absorbs radiation completely. Therefore emission coefficient and absorption coefficient are equal to one. With this assumption the irradiance can directly transformed into the corresponding brightness temperature and vice versa. Objects with emission and absorption coefficients lower than one are called grey bodies.

Another assumption about emission of terrestrial radiation is isotropy meaning that radiation is emitted in all directions evenly. Therefore the azimuthal dependence of emitted radiation is negligible and attitude corrections of optical inlets can be neglected.

2.1 Absorption and emission by gas molecules

For simplification the Earth atmosphere can be regarded as a black body. Therefore, Wiens displacement-law and the Stefan-Boltzmann-law can be utilized. Measurements of broadband, terrestrial radiation are possible due to absorption and emission by gas molecules. In the following section mechanisms will be explained which cause absorption and emission.

Atoms and molecules are able to store energy. This can be done in discrete, quantized amounts only which causes specific emission and absorption lines in the spectra of gases. Due to the Kirchhoff-law absorption lines are equal to emission lines. When atoms or molecules receive energy from photons (absorption) the electrons of the atoms change to an excited state with higher energy level than in the inertial position. This results in an unstable situation and the electron returns to its initial state within milliseconds emitting the same amount of energy. If the incident energy is too high or too low for electron state transitions, then the electron remains at the current electron level and no absorption occurs. Because only discrete amounts of energy can be absorbed and emitted each atom and molecule has its own signature of absorption and emission lines in the electromagnetic spectrum. Due to overlapping and broadening of these lines absorption and emission bands develop.

Absorption and emission lines in the UV spectrum are caused by electron transitions because of the high amounts of energy needed to change the state of an electron. Gases which are important for UV absorption are oxygen and ozone which absorb nearly all incoming UV radiation. Oxygen mainly absorbs in the wavelength range between 100 nm and 242 nm as well as 690 nm and 760 nm. Ozone shows an absorption band between 200 nm and 850 nm (Wendisch and Yang, 2012).

In contrast to atoms absorption by molecules is much more complex due to the combination of different types of atoms and possible covalent bondings between atoms. Additionally molecules can transform absorbed energy into translation movements, vibration (periodic change of bonding distance) and rotation around itself. This enhances the number of possible absorption and emission lines and creates spectral bands.

The amount of energy stored in vibration, translation movements and rotation of the molecules is much less compared to electron transitions and appears at longer wavelength in the visible and infrared range of the electromagnetic spectrum.

For atmospheric radiation processes three gases are of major importance. These are water vapour, carbon dioxide and ozone. Water vapour is nearly 100 % transparent for the UV, the visible and far infrared wavelength region. Most of the absorption takes place in the near infrared. Water vapour absorbs about 70 % of the total amount of absorbed incoming solar radiation. Terrestrial radiation emitted from the Earth is absorbed by water vapour in the range of 60 %. This indicates the importance of water vapour for radiation in the near infrared wavelength region. Carbon dioxide and ozone are two gases which cause some absorption and emission in the near infrared.

Absorption and emission is present all the time and is a continuous process. Because of the density of the air the free path length for infrared radiation is in the range of several meters up to 100 meters (Geiger et al., 1995). Therefore pyrgeometer receive radiation from the nearest air layers only and measurements of vertical brightness temperature profiles of such layers are possible.

3 Measurement

Utilized measurements were taken during the VERDI campaign in the year 2012. Research flights started at Inuvik, Canada and were performed using the Polar 5 (P5) research aircraft of the Alfred Wegener Institute (AWI). For this case study one flight from the 22nd of April between 17:55 UTC and 23:20 UTC was selected. To derive vertical temperature profiles an appropriate flight pattern has to be chosen. This was present between 21:12 UTC and 21:26 UTC when the aircraft changed flight altitude performing a constant ascent rate. During this time period the aircraft flew over the Beaufort Sea northern the Northwest Territories.

For this case datasets of two pyrgeometers are analyzed. The pyrgeometers are CGR4 made by Kipp & Zonen. Details about installation, performance and operation of these instruments can be found at (Kipp & Zonen, 2006). Both were mounted at the outside of the aircraft lower and upper fuselage for measuring upward and downward terrestrial radiation. Additionally the temperature, humidity and pressure was recorded by the on-board meteorological instrumentation. Utilizing Global Positioning System (GPS) the position and hight of the aircraft was determined.

3.1 Pyrgeometer

Pyrgeometers are used to measure infrared radiation in the wavelength region between $4.5 \mu\text{m}$ and up to $100 \mu\text{m}$. The housing is made out of aluminium to provide good temperature and mechanical stability for ground and airborne measurements. The spectral coverage of the Kipp & Zonen CGR4 ranges between $4.5 \mu\text{m}$ and $42 \mu\text{m}$. The CGR4 has a flat dome which allows a field of view of 180° and a good cosine characteristic of the sensor inlet. A flat dome can be coated much more even and reduces measurement uncertainties. The coating acts as an interference filter which transmits radiation in the wavelength region of interest and cuts off radiation below $4.5 \mu\text{m}$. The dome is made out of silicon which allows transmittance up to $42 \mu\text{m}$. Because every sensor shows different response the instrument has to be calibrated to a reference instrument situated at the World Radiation Center in Davos, Switzerland.

The irradiance is calculated by the following equation:

$$F_d = \frac{U}{S} + 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \quad (3.1)$$

with U the output voltage of the pyrgeometer, T the temperature of the housing and F_d the measured irradiance by the reference pyrgeometer. To determine the calibration constant S the equation is transformed to:

$$S = \frac{U}{F_d - 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4} \quad (3.2)$$

Measurement errors result from the temperature dependence of the sensor, the response time and the intensity of the incoming radiation because of non-linearity of sensor sensitivity. The sensitivity of the sensor depends on the absolute temperature. Therefore all calibrations are performed at 20°C. For the CGR4 the temperature sensitivity is reduced by an integrated circuit which additionally compensated temperature changes of the housing. External corrections do not have to be applied. The deviation from temperature linearity for the CGR4 is reported to be lower than 1% between –20°C and 50°C and below 5% between –40°C and –20°C (Kipp & Zonen, 2006).

Non-linearity of the sensor means that high / low irradiances may be underestimated or vice versa. To characterize the deviation from linearity the pyrgeometer is illuminated with a standardized lamp with 250 W m^{-2} . Then the measurement is subtracted from the theoretic value of the standardized lamp and normalized to 100 W m^{-2} getting the deviation from linearity. For the CGR4 the deviation is reported to be lower than 1% (Kipp & Zonen, 2006).

The response time τ is the duration the instrument needs to react to sudden changes of environmental conditions because of sensor inertia. It is defined as the time until the difference of the signal is below $1 e^{-1}$ ($\approx 33\%$) of the absolute signal. Kipp & Zonen, 2006 reports τ to be under 6 s. Because of the good temperature stability, constant sensor sensitivity and high temporal resolution the CGR4 is feasible to be operated on aircraft for measuring vertical profiles.

3.1.1 Meteorological Parameters

For deriving vertical temperature profiles radiative transfer models are used. These need vertical profiles of humidity and pressure. Therefore, measurements of the aircraft are applied in the models. Additional measurements of dropsondes and radiosondes from Inuvik, Canada are available. Vertical temperature profiles measured by the aircraft are used to validate the modelled vertical temperature profile. Dropsonde measurements were performed with the VAISALA AVAPS Dropsonde-System (Vaisala, 2010).

Temperature

The temperature measurement was performed with a total temperature probe manufactured by Goodrich. The sensor includes a Pt-100 resistance wire mounted inside a special designed housing to avoid condensation, impact of ice on the sensor wire and to

reduce the influence of radiation on the measurement. The P5 aircraft is equipped with the Model 102 configuration B which supports deicing making it possible to be utilized in Arctic and subarctic regions. The time constant is specified under 1 s and measurement uncertainties are reported to be within $\pm 0.25^\circ\text{C}$ (Stickney et al., 1994). Together with a climbing rate of 2.88 m s^{-1} of the aircraft the resolution of the vertical temperature profile is about 2.8 m.

Airborne temperature measurements are effected by two components. One are dynamic effects caused by the airflow around the sensor. Air hitting the sensor housing is stopped immediately to zero velocity and kinetic energy is transformed into thermal energy heating up the sensor. This results in systematically overestimation of the temperature. This biased temperature is called Total Air Temperature (TAT). It is assumed that all kinetic energy is transformed into thermal energy. With regard to the relative velocity difference between the horizontal wind vector and the aircraft and the density of the air the so called Static Air Temperature (SAT) is calculated. This is the temperature of the undisturbed air. With increasing aircraft velocity and flight level the difference between TAT and SAT increases and corrections have to be applied. Under simplified conditions equation 3.3 can be used to determine the SAT.

$$SAT = \frac{TAT}{\left(\frac{\kappa - 1}{2}\right)M^2 + 1} \quad (3.3)$$

In this equation the aircraft velocity M in the unit Mach is considered only. For transforming kinetic energy into thermal energy the adiabatic exponent κ is needed.

The second factor which influences temperature measurements is the deicing of the sensor. Inside clouds with supercooled droplets this function is activated to avoid internal icing. This causes a temperature offset of 0.5°C . Temperature measurements during an activated de-icing have to be corrected for this offset. Fig. 1 shows vertical temperature profiles measured by the aircraft P5 (solid line), the dropsonde (dotted line) and the radiosounding (dashed line). The grey area shows the uncertainty range of the aircraft measurement. Additionally the temperature profile of the modelling atmosphere (afglsw) for subarctic winter regions provided by Anderson et al. (1986) of the radiative transfer model is included by the dash-dotted line. The plot shows, that the temperature of the modelling atmosphere is systematically lower than the measured profile by P5 and the dropsonde. In contrast the temperature of the radiosonde is much larger than the P5 measurement. This is mainly cause by spatial difference of 500 km between the measurement area and Inuvik where the radiosonde was launched. Furthermore a temporal difference of 2.5 h has to be considered. Best agreement is visible between the measurement of the P5 sensor and the dropsonde. Beginning at 300 m and reaching up to 1 000 m a strong inversion is present. The strongest gradient appears between 300 m and 500 m. Above 1 000 m the temperature decreases constantly.

Water Vapour

Water vapour is the mayor constituent in the atmosphere which causes absorption and emission of terrestrial radiation. Therefore measurements of humidity taken onboard

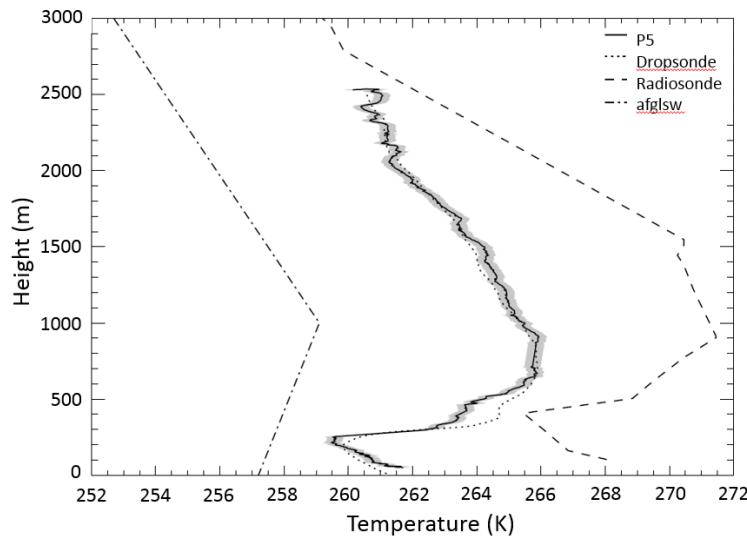


Figure 1: *Measured vertical temperature profile by P5 aircraft (solid line), dropsonde (dotted line) and radiosonde (dash dashed). Uncertainty range of P5 sensor is marked by the grey area. Temperature profile of afglsw standard atmosphere is given by dash-dotted line.*

the P5 aircraft were used in the radiative transfer model. The data were obtained by a CR-2 of Buck Research Instruments which is developed for airborne applications. It bases on a dew-point mirror which is cooled until condensation begins. This results in a decreased reflection of the mirror and can be registered by photo-diode sensors. Using the temperature and density of the surrounding air the absolute and relative humidity is calculated. The instrument can be operated between -80°C and 40°C with an accuracy of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ corresponding to an accuracy of $\pm 1\%$ in relative humidity. The time constant is specified to be lower than 1 s (Buck Research Instruments, 2009) resulting in a vertical resolution of the profile of 2.8 m considering the accent rate of the aircraft. The obtained vertical humidity profile is shown in Fig. 2. Below 400 m the radiosonde registered lower values of humidity compared to the CR-2 and the dropsonde. Above this hight the radiosonde measured systematically higher relative humidities compared to the other instruments. Beginning at 1 500 m the difference increases significantly. Below, the vertical profile of radiosonde and dropsonde have similar patterns and differences can be explained by the spatial and temporal difference between the measurement. Furthermore humidity is strongly variable and can change significantly within short distances. It is possible that the radiosonde was launched inside a completely different airmass.

Humidity measured by CR-2 and dropsonde agree in most hight levels showing a similar pattern. Differences of 10 % relative humidity are reported few meters above surface. The decrease of humidity at 300 m hight is not registered by the CR-2 as the dropsonde does. An even larger difference appears between 600 m and 1 600 m when the dropsonde measures up to 15 % less than the CR-2. A reasonable explanation could be a cloud or very humid layer which was probed by the CR-2 aboard the aircraft but not by the dropsonde.

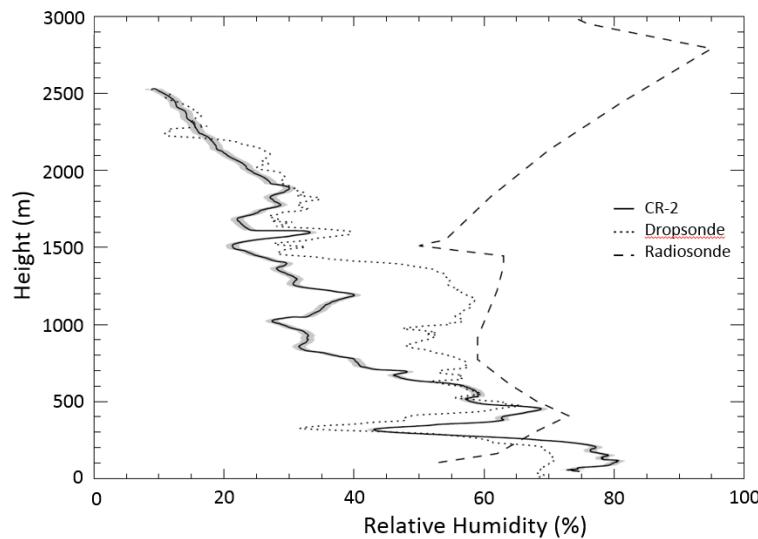


Figure 2: *Measured vertical humidity profile by CR-2 onboard the aircraft (solid line), dropsonde (dotted line) and radiosonde (dash dashed). Uncertainty range of CR-2 sensor is marked by the grey area.*

Pressure

Air pressure was measured by basic meteorology of the research aircraft and recorded together with all flight parameters by the Air Data Computer. Analysing this data a systematic positive offset was detected. Therefore the dropsonde measurements are implemented in the radiative transfer simulations. Fig. 3 shows vertical pressure profiles measured by the dropsonde and radiosonde. Additionally the profile of the afglsw standard atmosphere is included. In contrast to temperature and humidity the pressure profiles agree well and only slight deviations are visible.

Depending on atmospheric pressure the amount of molecules in an imaginary air parcel changes. Higher pressure increases the number of particles per air parcel which can interact with radiation resulting in increased absorption and emission. Therefore the air pressure must be regarded in models for temperature profile retrieval.

4 Retrieval of Vertical Temperature-Profile

In the following section all measured and simulated irradiances are converted into brightness temperatures by applying the Stefan-Boltzmann-law. The simulation were performed with libRadtran (Mayer and Kylling, 2005). With these libraries and programs it is possible to simulate solar and terrestrial radiation in the Earth atmosphere and interactions with aerosols and gas molecules.

First simulations were performed with the standard profile for humidity and pressure for subarctic regions during winter (afglsw) which is adequate to the location of Inuvik and the time of year the measurements were performed (model A). Later these standard parameters were substituted by the humidity measurements of the CR-2 (model B) and the pressure measurement of the dropsonde (model C) to ensure simulations which represent the actual situation during the flight. Using measured profiles instead of standardized profiles better retrieval results are assumed especially for high variable parameters

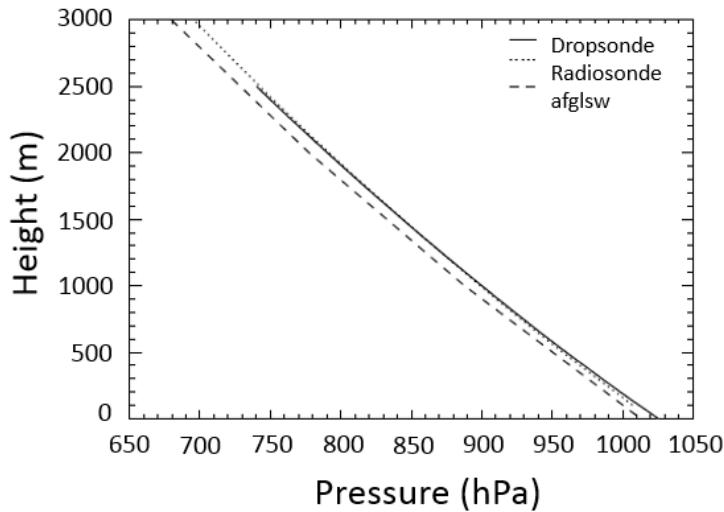


Figure 3: *Measured vertical pressure profile by dropsonde (solid line) and radiosonde (dotted line). Additionally the pressure profile of the standard atmosphere (dashed line) is included as a reference.*

Table 1: *Model name and implemented measurements used in the radiative transfer simulations.*

Model name	Parameters	Short name
afglsw	standard atmosphere	A
Dropsonde	A + pressure form dropsonde	B
Dropsonde + humidity	B + humidity of CR-2	C

like water vapour. Table 1 lists the three different models and corresponding parameters. The vertical resolution of the model was increased to 50 m steps between 0 m and 500 m and to 100 m between 500 m and 1 000 m. Above 1 000 m the difference between the model layers is set to 200 m. Concentrations of ozone, oxygen, carbon dioxide and nitrogen dioxide are adapted from the standard atmosphere profile and interpolated to the hight levels considering the model temperature and pressure profile. The composition of gases in the atmosphere do not change significantly which justifies linear interpolation. For surface temperature a value of 260.50 K was set corresponding to -12.56°C which was measured by a ground based station at Inuvik.

For temperature retrieval the calculations were started and resulting simulation were compared with the measured profiles of upward / downward brightness temperature for the first hight level. Changing the temperature in the model atmosphere the modelled brightness temperature was fitted to the converted brightness temperature from the irradiance measurement. This process was repeated until best agreement between simulation and measurement for all hight levels was achieved. This was performed for upward and downward brightness temperature separately. In Fig. 4 a) measured upward brightness temperature is plotted (solid line). The grey highlighted area marks the uncertainty range of the pyrgeometer with $\pm 1.2\text{ K}$. The other lines show simulated profiles of brightness temperature resulting from the adapted modelling temperature profile. The model temperature was changed beginning at the bottom and going upward. In Fig. 4 b) the dif-

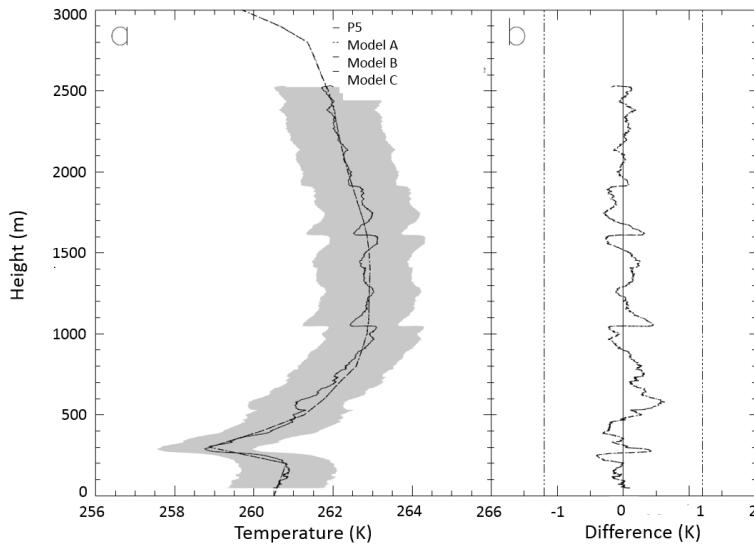


Figure 4: *Left: Measured vertical profile of brightness temperature (solid line) using the upward irradiance. The uncertainty range of the CGR4 is indicated by the grey area. Resulting modelled profiles of brightness temperature by the models are indicated by the dashed and dotted lines. Right: Differences of measured and modelled brightness temperature.*

ferences between measured and modelled brightness temperature are plotted. All three simulations are fitted close to the measurement. The differences are always within the uncertainty range. Only between 250 m and 300 m a spike of 1.7 K exceeds the uncertainty range. This is caused by an inversion and the resulting gradient which could not be represented in the model completely. Between 400 m and 1 000 m the differences are small. Below 1 000 m the simulations systematically overestimate the measurement. Contrarily, above 1 000 m the measurement is underestimated by the models. Similar to Fig. 4, Fig. 5 shows the vertical brightness temperature profile calculated from the downward irradiance measurements. The adaption of the model temperature profile started at 3 000 m going to the bottom. Much larger differences between model and measurement are obvious compared to Fig. 4. Model A and B agree well with the measurement and are mostly inside of the uncertainty range of the pyrgeometer. The plot of model B is fitting slightly better indicating the importance of utilizing pressure measurements in the simulations. In contrast, model C completely disagrees with the other models and the measurement. Additionally applying humidity measurements in model C instead of assumptions the results should agree best which is not the case. One possible reason are the different profiles of relative humidity measured by CR-2 and the dropsonde. As shown in Fig. 2 the humidity profile of the CR-2 is lower compared to the dropsonde measurement. Nevertheless, model C follows the general pattern with a negative offset which has to be considered with respect to low relative humidity. This indicates that for retrievals utilizing downward irradiance precise measurements of pressure and humidity are needed. Furthermore, measured profiles of humidity and pressure above the retrieval height have to be available. This is most important for retrievals using the downward irradiance because upper laying atmospheric layers influence the radiation profile of the atmosphere below. Using the downward irradiance the temperature retrieval shows significant disagreement between model and measurement. For all heights a systematically

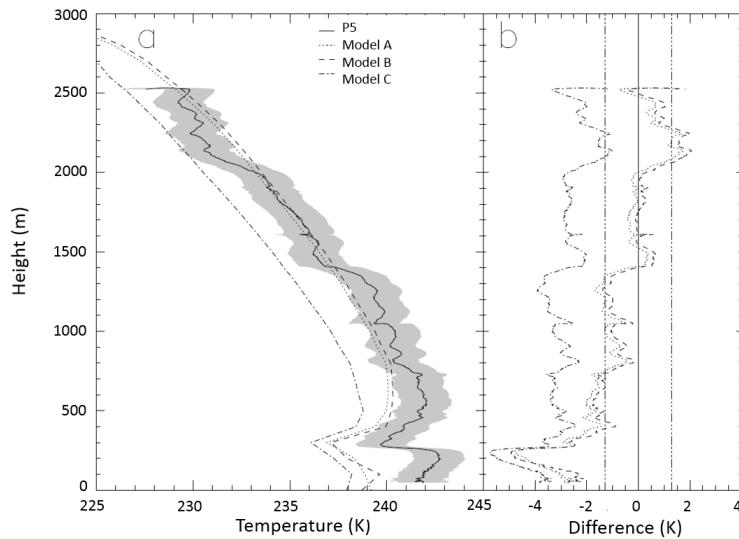


Figure 5: Left: Measured vertical profile of brightness temperature (solid line) using the downward irradiance. The uncertainty range of the CGR4 is indicated by the grey area. Resulting modelled profiles of brightness temperature by the models are indicated by the dashed and dotted lines. Right: Differences of measured and modelled brightness temperature.

underestimation of the temperature profile is present. This indicates that measurements of upward irradiance are suited better for retrieval of vertical temperature profiles from irradiance measurements. Therefore the following retrieved temperature profile was obtained from upward irradiance measurements.

Fig. 6 a) shows the measurement of the P5 sensor (solid line) and the retrieved vertical temperature profiles of the three different models (dashed lines). Fig. 6 b) shows the deviation between modelled and measured temperature. The uncertainty range of $\pm 0.25^\circ\text{C}$ of the P5 sensor is highlighted by the grey area in a) and the dash-dotted vertical lines in b). All three model profiles show the same pattern. The largest discrepancy appears between 0 m and 500 m because of the strong gradient in irradiance resulting from the inversion layer and corresponding stratiform clouds. This could not be represented in the model simulations because of low height resolution. Between 500 m and 1 100 m the modelled profiles are within the uncertainty range of the P5 sensor and therefore in good agreement. Above 1 100 m all three models overestimate the measured temperature with increasing difference with height but not exceeding 2 K.

It is assumed that the strong differences between modelled and measured temperature profile around 300 m are due to clouds which influence the radiative transfer significantly and have to be considered in the model. This shows that the temperature does not determine the profile of terrestrial radiation alone. In addition the humidity profile has to be considered as realized in this case by CR-2 and dropsonde measurement. Another possible reason is condensation on the pyrgeometer domes resulting from flying in suddenly changing air masses. Climbing out of cool and dry air into a more humid and warmer airmass water droplets may condensate on the pyrgeometer dome causing a sudden increase of irradiance and resulting higher brightness temperature. Also spatial differences between the different measured profiles have to be considered. In the presented case the ascent from 50 m to 2 500 m took 14 minutes. The aircraft flew with

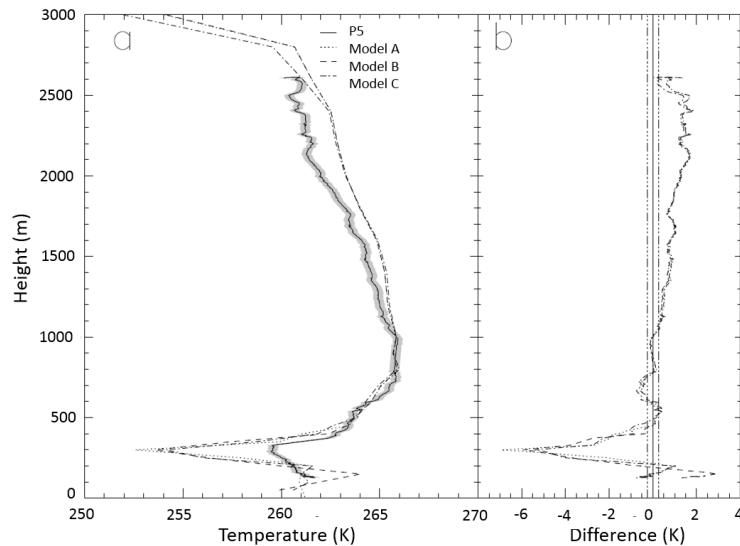


Figure 6: Left: Profile of vertical temperature measured by P5 (solid line) and corresponding uncertainty range (grey). The retrieved temperature profiles of the models are indicated by the dashed and dotted lines. Right: Difference between measured and modelled temperature profiles.

55 m s^{-1} and covered a distance of 48 km. Therefore environmental conditions like surface albedo, surface temperature and humidity change which also influence the upward and downward radiative profiles.

5 Conclusion

A retrieval of vertical temperature profiles from measured upward and downward irradiances in the infrared wavelength region was performed. The radiative transfer simulations include the meteorological parameters humidity and pressure measured during the flight. These measurements have to be supported by ground-based data from observation sites and nearby radiosonde launches. Comparison of derived temperature profiles from upward and downward irradiance revealed that the upward profile leads to better results because it is not influenced by the overlying atmospheric layers. Downward irradiance can be influenced by clouds and supersaturated atmospheric layers and causes bias in the temperature retrieval. Therefore, humid layers have to be implemented in the model simulations to avoid temperature profiles with strong gradients as happened in the presented case. Additionally the surface temperature has to be considered when using upward irradiance because this influences the vertical temperature profile. Therefore ground-based measurements of the surface temperature are crucial and must be implemented in the models. First simulations using upward irradiance show good agreement between model output and measured temperature profile being inside the measurement uncertainty. Furthermore stable atmospheric conditions are preferred and situations with inversions should be avoided.

To improve this retrieval technique further investigation is necessary. Applying an advanced iterative algorithm which changes the input temperature of the model automatically will accelerate the retrieval process. An increase of the vertical resolution of the radiative transfer model from 50 m to 10 m is suggested to obtain temperature profiles

with higher resolution. This also reduces deviations between retrieved and measured temperature profile resulting from gradients in the radiation profile.

References

- Anderson, G., Clough, S., Kneizys, F., Chetwynd, J., and Shettle, E.: AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0–120 km), Tech. Rep. AFGL-TR-86-0110, AFGL (OPI), Hanscom AFB, MA 01736, 1986.
- Buck Research Instruments, L.: Model CR-2 Hygrometer Operating Manual, Boulder, 2009.
- Geiger, R., Aron, R. H., and Todhunter, P.: The climate near the ground, Vieweg, 1995.
- Kempler, S.: AIRS Atmospheric InfraRed Sounder, URL disc.gsfc.nasa.gov/AIRS, 2013.
- Kipp & Zonen: CGR4 Pyrgeometer Operations Manual, Delft, 2006.
- Mayer, B. and Kylling, A.: Technical note: The *libRadtran* software package for radiative transfer calculations - description and examples of use, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1855–1877, 2005.
- Petty, G.: A First Course in Atmospheric Radiation, 2nd Edition, Sundog Publishing, Madison, Wisconsin, 2006.
- Pithan, F. and Mauritsen, T.: Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models, *Nature*, 7, 181–184, doi:10.1038/ngeo2071, 2014.
- Pospichal, B.: Bodengebundene Messgeräte zur Fernerkundung der Atmosphäre am Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (IfT) in Leipzig, 2011.
- Stickney, T. M., Shedlov, M. W., and Thompson, D. I.: Goodrich Total Temperature Sensors Technical Report 5755, Rosemount Aerospace Inc., 1994.
- Vaisala: Vaisala Dropsonde RD94 Manual, 2010.
- Wendisch, M. and Yang, P.: Theory of Atmospheric Radiative Transfer - A Comprehensive Introduction, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, ISBN: 978-3-527-40836-8, 2012.

Modeling the Southern Hemisphere winter circulation using realistic zonal mean gravity wave information in the lower atmosphere

Jacobi, Ch.⁺, Lilienthal, F.⁺, Schmidt, T.*[,], de la Torre, A.^x

⁺) Institute for Meteorology, Universität Leipzig, Stephanstr. 3 04103 Leipzig,

E-Mail: jacobi@uni-leipzig.de

^{*}) Department 1: Geodesy, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

^x) Facultad de Ingeniería, Universidad Austral and CONICET, Buenos Aires, Argentina

Summary: A mechanistic global circulation model is used to simulate the mesospheric and lower thermospheric circulation during austral winter. The model includes a gravity wave (GW) parameterization that is initiated by prescribed GW parameters in the troposphere. In standard configuration, these waves are described by a simple distribution with large amplitudes in the winter hemisphere and small ones in summer. Here we replace this distribution by a more realistic one, which is based on observations of potential GW energy using GPS radio occultations, but which is normalized to the same global mean amplitude. The model experiment shows that this new gravity wave distribution leads to weaker zonal winds in the mesosphere, a downward shift of the meridional poleward mesospheric wind jet, enhanced downwelling in the mid-to-high-latitude winter mesosphere and warming of the polar stratopause.

Zusammenfassung: Ein globales mechanistisches Zirkulationsmodell wird verwendet um die Dynamik der Mesosphäre und unteren Thermosphäre im Südwinter zu simulieren. Das Modell beinhaltet eine Schwerewellenparametrisierung die durch eine vorgeschriebene Schwerewellenverteilung in der oberen Troposphäre angetrieben wird. In der Standardkonfiguration besteht diese aus einer einfachen zonal gemittelten Verteilung mit größeren Amplituden im Winter als im Sommer. Wir ersetzen diese Verteilung durch eine realistischere, die auf der beobachteten globalen Verteilung der potentiellen Energie von Schwerewellen basiert und auf die gleiche global gemittelte Amplitude normiert wird. Das Modellexperiment zeigt, dass die neue Schwerewellenverteilung zu schwächeren zonalen Winden in der Mesosphäre, einer Verschiebung des meridionalen Jets nach unten, verstärkten Abwinden in der Mesosphäre mittlerer und höherer Breiten im Winter, und einer Erwärmung der polaren Winterstratopause führt.

1. Introduction

The dynamics of the mesosphere and lower thermosphere (MLT) are determined by the mesospheric zonal jets and the influence of gravity waves (GWs). GWs are mainly forced in the troposphere, the major sources being orography and convection. Propagating upward, they may encounter critical lines or break selectively depending on their intrinsic phase speed so that waves with phase speeds close to the background wind may only propagate if their amplitudes are small. Thus, in the upper mesosphere mainly GWs with phase speeds in the opposite direction of the mean flow are remaining. If these break they deposit momentum on the mean flow in opposite direction of the latter, leading to the observed MLT wind reversal.

GWs have horizontal wavelengths of tens to hundreds of km. Therefore they are at least partly of subgrid scale in global circulation models. This means that the waves have to be parameterized and also their sources have to be described adequately. Climate or weather-forecasting models traditionally parameterize GW sources in the troposphere especially by mountain-wave parameterizations e.g. to improve i.e. tropospheric wind jets (Alexander et al. 2010; Geller et al., 2013). Models for the middle atmosphere, however, focus on parameterizations not necessarily driven by source parameterization with regard to stratospheric and mesospheric dynamics. Initializing GW can be done by introducing some prescribed GW distribution in the lower atmosphere. In mechanistic models that are primarily used for sensitivity experiments, this distribution may be described by a simple function. Alternatively, one may describe the GW source distribution based on observed GW fields.

Such observed fields can be obtained from radio occultation (RO) measurements based on radio links between a GPS satellite and a low-earth orbiting (LEO) satellite (Kursinski et al., 1997). Since GPS ROs deliver temperature profiles in the upper troposphere and lower stratosphere, temperature fluctuations can be obtained by removing the background either through vertical or horizontal detrending (e.g. Tsuda et al., 2000; Ern et al., 2011; Schmidt et al., 2016). Then, potential energy E_p can be obtained from the temperature fluctuations, which is one measure for GW activity. The first climatology of GPS RO E_p has been presented by Tsuda et al. (2000) using GPS-MET satellite observations, but starting with CHAMP a much larger data base is available (e.g. Ratnam et al., 2004; de la Torre et al., 2006) and high-resolution observations from the 6-satellite constellation FORMOSAT-3/COSMIC and additional datasets are available now.

In this paper, we use a zonal mean GW distribution based on GPS RO E_p as input for the GW parameterization in a mechanistic circulation model. We focus on austral winter, because the strong SH polar vortex together with characteristic GW enhancements especially over South American and Antarctic mountains leads to significant deviations of GW from a simple, horizontally isotropic distribution. This GW distribution may have significant influence also for the upper atmosphere (de la Torre et al., 2014).

2. Model description

The Middle and Upper Atmosphere Model MUAM (Pogoreltsev et al., 2007) is a 3D mechanistic model of the neutral atmospheric circulation extended from the 1000 hPa surface up to the thermosphere. It based on the Cologne Model of the Middle Atmosphere-Leipzig Institute for Meteorology (COMMA-LIM, Fröhlich et al., 2003; Jacobi et al., 2006). The MUAM is a grid-point model with horizontal (latitude/longitude) resolution of $5^\circ \times 5.625^\circ$, and with up to 60 levels evenly spaced in the non-dimensional log-pressure height $x = \ln(p_s/p)$ with p as pressure, $p_s = 1000$ hPa as a reference pressure. The step-size is constant with $\Delta x = 0.4$, which corresponds to 2.842 km in log-pressure height $h = x \cdot H$ and H as the scale height of 7 km. The model allows using an arbitrary number of levels (ranging from 48 to 60) with the same vertical resolution. In the 56-level version used here the upper boundary is placed at $x = 22.4$ which corresponds to a log-pressure height of about 150 km and a geopotential height of about 300 km depending on the thermospheric temperature. However, in the analysis we restrict ourselves to the mesosphere and lowermost thermosphere because we are interested in the GW mean flow interaction in the mesosphere here.

The model solves the primitive equations in flux form at a time step of 225 s in the 56-level version following a Matsuno integration scheme (Matsuno, 1966). The model equations are given, e.g., by Jakobs et al. (1986). MUAM includes infrared and solar radiation parameterizations to enable the forcing of solar tides through ozone and water vapor absorption. Ozone and water vapor fields are prescribed. Because the model does not include a detailed troposphere, zonal mean reanalysis data are assimilated in the troposphere and lower stratosphere below 30 km. Stationary planetary waves also taken from reanalyses are assimilated at the lower boundary. In addition, traveling planetary waves can be forced depending on the respective scientific question.

The GW parameterization currently used in MUAM is based on the linear one by Jakobs (1986) but extended especially for multiple breaking levels (Fröhlich et al., 2003; Jacobi et al., 2006; Pogoreltsev et al., 2007). The GWs are included in the model in the upper troposphere at 10 km, and the global amplitude distribution is prescribed. This is usually realized using a simple zonal mean amplitude distribution weighted meridionally by a hyperbolic tangent and with maximum in the winter hemisphere. It is adjusted in such a way that the global mean vertical wind amplitude at the forcing level is 1 cm/s (see also Fig. 3 below). In the GW parameterization, 48 waves are initialized with six different phase speeds in eight directions.

Zonal mean monthly mean temperatures and winds simulated with a model run using the standard configuration are shown in Fig. 1. We show zonal mean background temperatures (a), zonal (b), meridional (c) and vertical winds (d), and gravity wave fluxes (e) and acceleration of the mean wind by GW (f). We note a relatively strong zonal mesospheric wind jet, compared to earlier empirical climatologies like CIRA86 (Fleming et al., 1990) or the radar based GEWM (Portnyagin et al., 2004). However, CIRA winds are gradient winds calculated from geopotential heights and therefore may deviate from observed winds in the presence of strong GW acceleration on the mean flow, and the GEWM does not include radar winds between 44°S (Christchurch) and 68°S (Mawson) and therefore cannot be used for a validation of the MUAM results at 50-60°S. However, also UARS Reference Atmosphere Project (URAP) winds

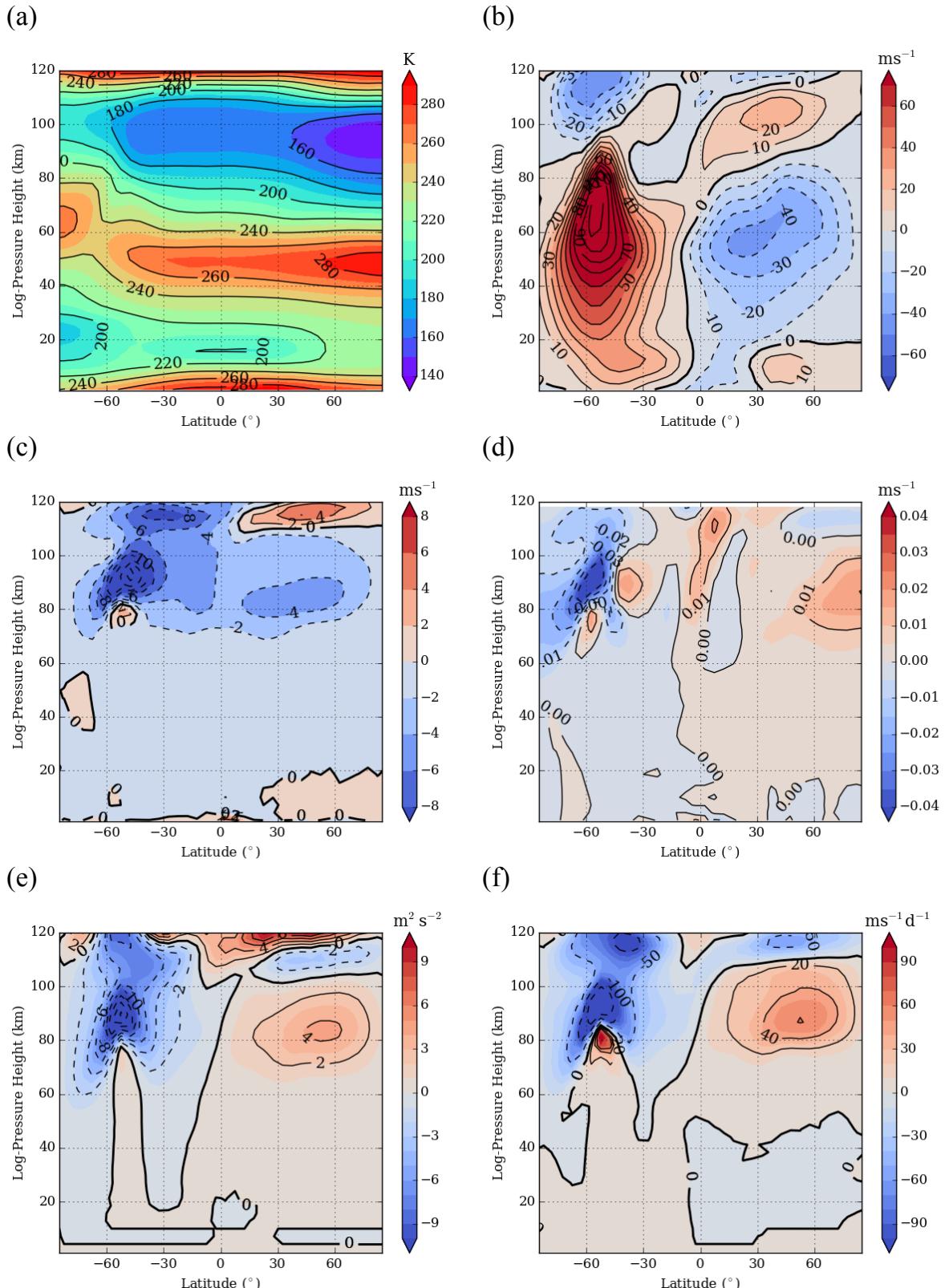


Fig. 1: Middle atmosphere (a) temperature (b) zonal wind (c) meridional wind and (d) vertical wind as simulated by MUAM for July using standard configuration of the gravity wave routine. Temperature is given in K and winds in m/s. The lower panels display (e) zonal GW flux in $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ and (f) zonal mean flow acceleration through GW in m/s/day . Parameters are shown as zonal means.

derived from satellite observations (Swinbank and Ortland, 2013; see also Smith, 2012) do not show such a strong maximum near 60°S, although a small zonal wind maximum is observed at the mesopause near 60°S which is partly seen in the CIRA climatology but very weak in the GEWM. The very strong wind jet up to the MLT at 50-60°S in MUAM is a consequence of the very strong, although realistic, polar night jet introduced into the model by the ERA climatology used below 30 km. This eastward jet leads to very large intrinsic phase speeds of westward traveling GW and consequently high breaking levels, so that the eastward jet in the mesosphere is decelerated only above 80 km. This also leads to a relatively high and strong poleward meridional jet in particular at higher midlatitudes. Temperatures near the mesopause in Fig 1 (a) are slightly lower than reported from satellite observations (e.g., Xu et al., 2007; Smith, 2012).

3. Austral winter long-term mean gravity waves

Instead of the zonal mean arbitrary GW fields in the standard run, we now apply a realistic, but still zonal mean GW climatology that is based on GPS RO E_p distributions. E_p is calculated using temperature profiles in the stratosphere derived from RO using FORMOSAT-3/COSMIC and MetOP satellites. The method bases on temperature anomalies in grids of $5^\circ \times 10^\circ$ in latitude and longitude that have been calculated after horizontal detrending, i.e. removing mean and wavenumbers 1-6 (Schmidt et al., 2016). Data from 2007-2013 with vertical steps of 100 m have been used, which have been averaged over 25-35 km altitude. E_p from the troposphere at 10 km, i.e. directly from the launch level of GW in MUAM, cannot be used because after detrending temperature residuals there are not only due to GW but also to mesoscale circulation systems. The map for July is shown in Fig. 2. One can see an enhancement of E_p near the equator that is due to convective GWs, and large E_p around 60°S, connected with the polar vortex. Further enhancement is visible east of the Andes and above all around the Antarctic Peninsula.

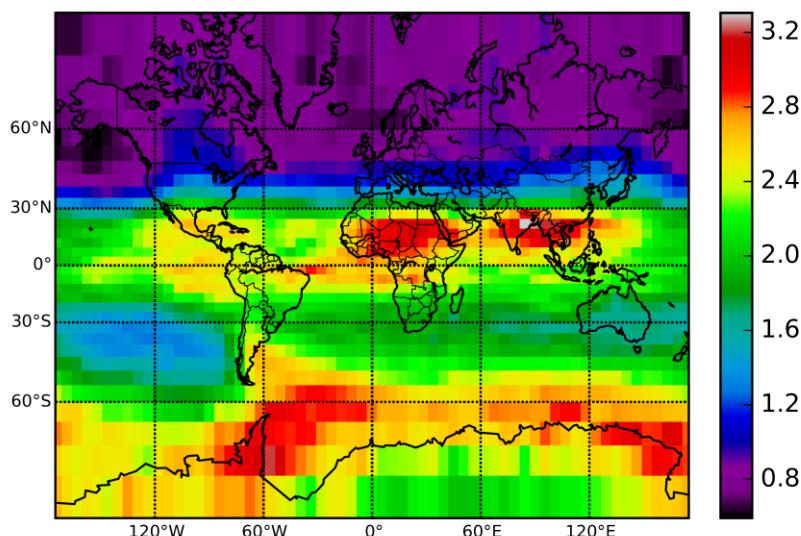


Fig. 2: Global map of 2007-2013 mean E_p (in J/kg) in July averaged between 25 and 35 km altitude.

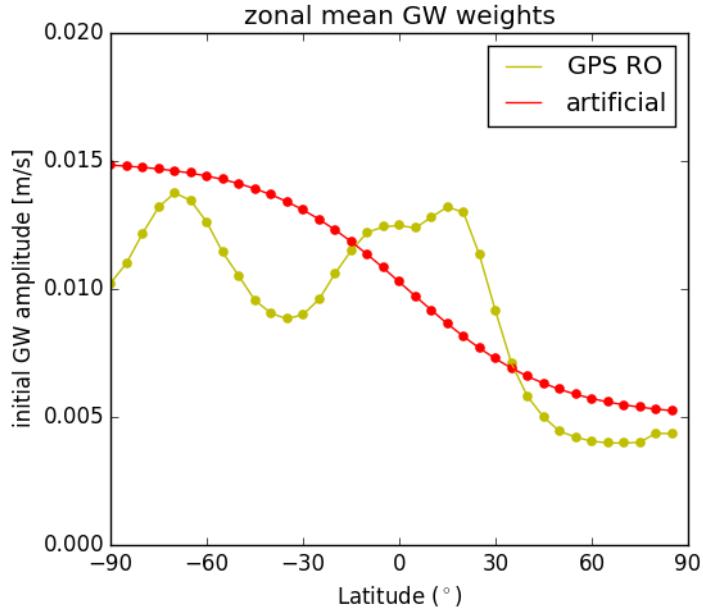


Fig. 3: GW vertical wind amplitudes for the standard run (red) and based on the GPS RO E_p distribution shown in Fig. 2.

In our model experiment we use a zonal mean GW distribution based on the long-term observations shown in Fig. 2 normalized by their E_p global average. In Fig. 3 the zonal mean vertical wind amplitudes of the launched GW are shown. The zonal mean data have been adjusted in such a way that the global mean GW amplitude again is 1 cm/s so that the results can be directly compared. One can see from Fig. 3 that between 10°S and 30°N the new amplitudes are enhanced due to the equatorial GW maximum, while for the other regions they are slightly smaller. In the Southern Hemisphere there is a modulation with a maximum at 60-70°S, which is due to GW forced by the polar vortex, the continental edge of Antarctica, and the Antarctic Peninsula.

4. MUAM results using realistic gravity wave distribution

Fig. 4 shows modeled temperatures, winds and GW fluxes and acceleration from the new run, and the differences between the new run and the reference run as isolines in the respective panels. Considering the summer hemisphere poleward of 30°N the GW acceleration (Fig. 4,f) in the upper mesosphere above 70 km is increased. This is due to the smaller amplitudes, so that GW may propagate to higher altitudes and increase the GW flux and then the GW acceleration there. At lower latitudes, GW fluxes and acceleration is increased in the stratosphere and lower mesosphere. Here the amplitudes of the new run are larger, so that the GW break earlier and at lower altitudes. This leads to a region of decreased zonal wind jet (Fig. 4,b) at its upper part (the zonal wind is negative so that positive values in Fig 4 (b) denote decreasing jet).

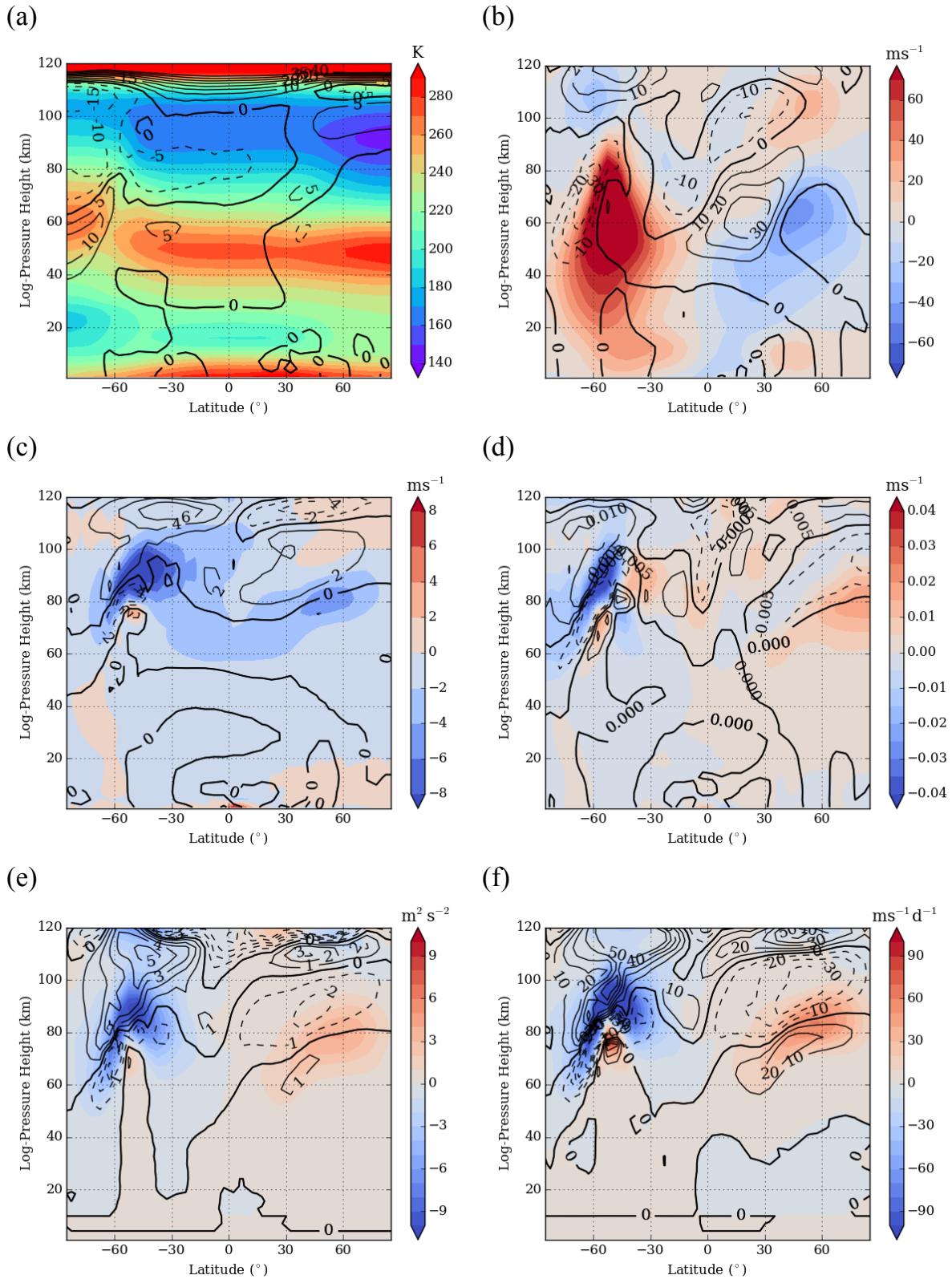


Fig. 4: Middle atmosphere (a) temperature (b) zonal wind (c) meridional wind and (d) vertical wind as simulated by MUAM for July using gravity wave amplitudes based on GPS RO potential energy. Temperature is given in K and winds in m/s. The lower panels display (e) zonal GW flux in $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$ and (f) zonal mean flow acceleration through GW in m/s/day . The differences w.r.t. the standard run are given as contour lines.

The effects in the Southern Hemisphere are even more dramatic. The generally smaller amplitudes of GW at the launch level mean that the waves can propagate easier through the stratosphere, and the GW flux is increased in the upper mesosphere (Fig. 4,e). Note that the flux is westward and therefore negative. Then, the GW acceleration at the upper part of the westerly wind jet is increased (Fig. 4 (f)), so that the zonal wind jet is decreased in particular at its zonal flank (Fig. 4 (b)), which leads to a better correspondence with URAP winds (Smith, 2012). This is connected with stronger poleward meridional wind (Fig. 4 (c)), stronger downward winds (Fig. 4 (d)) and more warming in the polar stratosphere and lowermost mesosphere (Fig. 4 (a)). Above the region of strongest GW interaction the situation is reversed. Because the westerly wind jet is reduced the intrinsic phase speeds of the GW decrease and the propagation conditions for GW become worse, resulting in less (positive differences because of the negative fluxes) GW and finally more cooling near the mesopause, in particular slightly below it. Since MUAM underestimates mesopause temperatures, this change does not lead to a more realistic description there, and in future experiments slightly larger GW amplitudes at the launch level should be used.

5. Conclusions

In this paper we replaced the simple GW source distribution in the GW parameterization of the MUAM model by a more realistic one, which is based on observations of potential GW energy using GPS RO E_p obtained from FORMOSAT-3/COSMIC and MetOP observations. Because in the Southern Hemisphere winter the GW distribution markedly deviates from an isotropic one, we focus on austral winter here.

The model experiment shows that using this new, more realistic, source GW distribution leads to weaker zonal winds in the mesosphere, a downward shift of the meridional poleward mesospheric wind jet especially at the flanks of the mesospheric jets, and enhanced downwelling in the mid-to-high-latitude winter mesosphere. This leads to a warming of the winter polar stratopause w.r.t. the model results in standard configuration. The results show that realistic GW sources lead to a significantly modified MLT circulation and that GW distributions as an input for circulation model GW parameterizations have to be chosen carefully.

Much of the effect on the mean circulation, however, is due to the general level of GW amplitudes. In the distribution based on E_p , the zonal mean amplitudes are smaller which leads to a deceleration of the mesospheric jet and finally to a cooling of the mesopause region in particular in its lower part. Since MUAM slightly overestimates mesopause temperatures, in future experiments slightly enhanced GW amplitudes at the launch levels should be considered.

Acknowledgements

This study has been supported by BMBF under grant # 01DN14001 and by MINCyT under BID-PICT 1097.

References

- Alexander, M. J., Geller, M., McLandress, C., Polavarapu, S., Preusse, P., Sassi, F., Sato, K., Eckermann, S., Ern, M., Hertzog, A., Kawatani, Y., Pulido, M., Shaw, T. A., Sigmond, M., Vincent, R., Watanabe, S., 2010: Recent developments in gravity-wave effects in climate models and the global distribution of gravity-wave momentum flux from observations and models, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 136, 1103–1124. doi: 10.1002/qj.637
- de la Torre, A., Schmidt, T., Wickert, J., 2006: A global analysis of wave potential energy in the lower stratosphere derived from 5 years of GPS radio occultation data with CHAMP, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L24809, doi:10.1029/2006GL027696.
- de la Torre, A., Alexander, P., Llamedo, P., Hierro, R., Nava, B., Radicella, S., Schmidt, T., Wickert, J., 2014: Wave activity at ionospheric heights above the Andes Mountains detected from FORMOSAT-3/COSMIC GPS radio occultation data, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 2046–2051, doi:10.1002/2013JA018870.
- Ern, M., Preusse, P., Gille, J. C., Hepplewhite, C. L., Mlynczak, M. G., Russell III, J. M., Riese, M., 2011: Implications for atmospheric dynamics derived from global observations of gravity wave momentum flux in stratosphere and mesosphere, *J. Geophys. Res.*, 116, D19107, doi:10.1029/2011JD015821.
- Fleming, E. L., Chandra, S., Barnett, J. J., Corney, M., 1990: Zonal mean temperature, pressure, zonal wind and geopotential height as function of latitude, *Adv. Space. Res.*, 10(12), 11-59.
- Fröhlich, K., Pogoreltsev, A., Jacobi, Ch., 2003: The 48-layer COMMA-LIM model, *Rep. Inst. Meteorol. Univ. Leipzig*, 30, 157-185.
- Geller, M. A., Alexander, M. J., Love, P. T., Bacmeister, J., Ern, M., Hertzog, A., Manzini, E., Preusse, P., Sato, K., Scaife, A. A., Zhou, T., 2013: A comparison between gravity wave momentum fluxes in observations and climate models, *J. Climate*, 26, 6383–6405, doi:<http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00545.1>
- Jakobs, H. J., Bischof, M., Ebel, A., Speth, P., 1986: Simulation of gravity wave effects under solstice conditions using a 3-D circulation model of the middle atmosphere, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 48, 1203-1223, doi:10.1016/0021-9169(86)90040-1.
- Kursinski, E. R., Hajj, G. A., Schofield, J. T., Linfield, R. P., Hardy, K. R., 1997: Observing Earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System, *J. Geophys. Res.*, 102, 23429–23465, doi:10.1029/97JD01569.
- Matsuno, T., 1966: Numerical Integrations of primitive equations by use of a simulated backward difference method, *J. Meteor. Soc. Japan, Ser. II*, 44, 76-84.
- Pogoreltsev, A. I., Vlasov, A. A., Fröhlich, K., Jacobi, Ch., 2007: Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 69, 2083-2101, doi: 10.1016/j.jastp.2007.05.014.
- Portnyagin, Yu., T. Solovjova, T., Merzlyakov, E., Forbes, J., Palo, S., Ortland, D., Hocking, W., MacDougall, J., Thayaparan, T., Manson, A., Meek, C., Hoffmann, P., Singer, W., Mitchell, N., Pancheva, D., Igarashi, K., Murayama, Y., Jacobi, Ch., Kürschner, D., Fahrutdinova, A., Korotyshkin, D., Clark, R., Tailor, M., Franke, S., Fritts, D., Tsuda, T., Nakamura, T., Gurubaran, S., Rajaram, R., Vincent, R., Kovalam, S., Batista, P., Poole, G., Malinga, S., Fraser, G., Murphy, D., Riggan, D., Aso,

- T., Tsutsumi, M., 2004: Mesosphere/lower thermosphere prevailing wind model, *Adv. Space Res.*, 34, 1755-1762, doi:10.1016/j.asr.2003.04.058.
- Ratnam, M. V., Tetzlaff, G., Jacobi, Ch., 2004: Global and seasonal variations of stratospheric gravity wave activity deduced from the CHAllenging Minisatellite Payload (CHAMP)-GPS Satellite. *J. Atmos. Sci.* 61, 1610-1620.
- Schmidt, T., Alexander, P., de la Torre, A., 2016: Stratospheric gravity wave momentum flux from radio occultations, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 4443–4467, doi:10.1002/2015JD024135.
- Smith, A. K., 2012: Global dynamics of the MLT, *Surv. Geophys.*, 33, 1177–1230, doi:10.1007/s10712-012-9196-9.
- Swinbank, R., Ortland, D. A., 2003: Compilation of wind data for the Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) Reference Atmosphere Project, *J. Geophys. Res.*, 108, 4615, doi:10.1029/2002JD003135.
- Tsuda, T., Nishida, M., Rocken, C., Ware, R. H., 2000: A global morphology of gravity wave activity in the stratosphere revealed by the GPS Occultation data (GPS/MET), *J. Geophys. Res.*, 105, 7257–7273, doi:10.1029/1999JD901005.
- Xu, J., Smith, A. K., Yuan, W., Liu, H.-L., Wu, Q., Mlynczak, M. G., Russell III, J. M., 2007: Global structure and long-term variations of zonal mean temperature observed by TIMED/SABER, *J. Geophys. Res.*, 112, D24106, doi:10.1029/2007JD008546.

Radar wind climatology of the quarterdiurnal tide in the mesopause region over Central and Eastern Europe

Jacobi, Ch.⁺, Krug, A.⁺, Merzlyakov, E. G.*

⁺) Institute for Meteorology, Universität Leipzig, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, E-Mail:
jacobi@uni-leipzig.de

^{*}) Institute for Experimental Meteorology, Obninsk, Russia

Summary: While the diurnal, semidiurnal and terdiurnal tides in the mesosphere/lower thermosphere (MLT) have been observed from the ground and from satellites, the quarterdiurnal tide (QDT), with a period of 6 hours, has been investigated on a few occasions only. Therefore, meteor radar observations of horizontal winds in the MLT near 90 km at Collm (51°N, 13°E) and Obninsk (55°N, 37°E) have been used to analyse the seasonal variability of the QDT at middle latitudes. At both sites the zonal amplitudes show a clear maximum in winter and another one during spring. The meridional amplitudes are weaker, but show a similar seasonal cycle. Generally amplitudes are not large and maximise at 3.5 m/s for the zonal amplitude on a climatological mean. Amplitudes and phases, the latter expressed in local time, at Collm and Obninsk are similar, indicating that most of the observed 6-hour oscillation at higher midlatitudes is due to the migrating QDT. Obninsk amplitudes show an interdecadal variation with smaller values during the 1990s and larger ones during the 2000s.

Zusammenfassung: Während die ganztägigen, halbtägigen und dritteltägigen Gezeiten in der Mesosphäre und unteren Thermosphäre (mesosphere/lower thermosphere, MLT) vergleichsweise häufig durch bodengebundene und Satellitenmessungen untersucht wurden, gilt dies nur sehr eingeschränkt für die vierteltägigen Gezeiten (quarterdiurnal tides, QDT). Daher werden hier Radarmessungen des horizontalen Windes über Collm (51°N, 13°E) und Obninsk (55°N, 37°E) bei 90 km Höhe herangezogen, um den mittleren Jahresgang der QDT in mittleren Breiten zu analysieren. Es zeigt sich, dass an beiden Messstationen ein Maximum der Amplituden im Zonalwind auftritt, begleitet von einem weiteren im Frühjahr. Die Amplituden sind nicht sehr groß, und betragen für den Zonalwind 3-4 m/s im langzeitigen Mittel im Winter. Die Amplituden im meridionalen Wind sind etwas geringer, zeigen aber einen ähnlichen Jahresgang. Amplituden und Phasen, letztere ausgedrückt in lokaler Zeit, sind über Collm und Obninsk ähnlich, was auf einen bedeutenden Anteil der migrierenden QDT hinweist. Die Amplituden über Obninsk weisen eine interdekadische Variation auf, mit geringeren Amplituden in den 1990ern und größeren nach den Jahr 2000.

1. Introduction

The dynamics of the mesosphere and lower thermosphere (MLT) are strongly influenced by atmospheric waves, including the solar tides with periods of a solar day and its harmonics. Their wind amplitudes usually maximise around 100-120 km. In these regions, their amplitudes are of the order of magnitude of the mean wind. As a result, the solar tides drive the global circulation and more accurate knowledge leads to a better understanding of the wind fields in the MLT. Shorter period waves often have smaller amplitudes, so that in the past the diurnal tide (DT), the semidiurnal tide (SDT), and also the terdiurnal tide (TDT) has been considered. The quarterdiurnal tide (QDT), however, although it also forms an integral part of the middle and upper atmosphere dynamics, has attained much less attention, mainly due to its small amplitude in the MLT.

While near the surface the 6 hr-oscillation at times can be a major component e.g. in barographic records (e.g., Warburton and Goodkind, 1977), the QDT amplitude in the MLT is generally substantially smaller than the one of the DT, SDT and also the TDT. Consequently, only few attempts to determine the QDT characteristics from radar or satellite has been made so far, and very few studies included the modelling of the QDT global structure and its sources. Considerable amplitudes have been reported by Walterscheid and Sivjee (1996, 2001) in the high-latitude winter, but they concluded that these were zonally symmetric tides and not migrating ones. Kovalam and Vincent (2003) analysed medium frequency (MF) radar winds over Adelaide, Australia and Davis, Antarctica. They found signatures of 6- and 8-hr tides, but belonging to a wavenumber 1 so that they concluded that these oscillations are not thermally forced but may be owing to non-linear interactions. Smith et al. (2004) analysed the QDT over Esrange, Sweden, and found that the QDT wind amplitudes on a monthly average may exceed 5 m/s at 97 km altitude and maximise in winter. They also performed numerical simulations that revealed that much of the wintertime QDT is forced by the 6-hour harmonic of solar heating, but without direct forcing the tide still appears and also maximises in winter. Liu et al. (2006) noted a 6-hr signature in MF radar data over Wuhan, China, but mainly in their upper height gates above 90 km. 6-hr waves have also been reported in Lidar temperatures (She et al., 2002), but their amplitudes are also small.

The 6-hr harmonics of ozone heating rates have been calculated from Aura/MLS observations by Xu et al. (2012), who noted that the main 6-hr forcing during solstice is in the winter hemisphere. Xu et al. (2014) analysed nonmigrating tides from TIMED/SABER observations. They confirmed earlier results that the QDT is largest in winter, and found indications that the nonmigrating QDT is likely to be forced by nonlinear interaction between the DT and TDT, while the interaction between stationary planetary waves and the QDT is weak, likely because of the small amplitudes of the migrating QDT. In a further study, Liu et al. (2015), again using TIMED/SABER data, analysed the migrating QDT between 50°S and 50°N in the middle atmosphere. From their analyses they considered both direct heating and tidal interaction as possible sources of the QDT. The seasonal/latitudinal structure of their QDT is complex; generally, the seasonal cycle exhibits a maximum in winter and also in spring. Con-

cerning the latitudinal distribution, there are three maxima between 50°S and 50°N. Such a complex structure (and another maximum near 60° of the winter hemisphere, which cannot be seen by SABER) has also been modelled by Smith et al. (2004).

To summarise, to date there are rather few analyses of the QDT both locally and on a global scale, and available datasets should be used to contribute to our knowledge of the climatology of the QDT in the MLT. In addition, more information on the contribution of migrating and nonmigrating waves to the QDT is required. Furthermore, the forcing mechanisms of the QDT are still unclear and have to be investigated further. In this paper we analyse the QDT signature in midlatitude MLT winds at about 90 km altitude using two radars at Collm (51°N, 13°E) and Obninsk (55°N, 37°E). In section 2 the radar systems are briefly described, the climatology of the QDT based on these measurements is presented in section 3, and in section 4 the interannual and decadal variability of QDT amplitudes is analysed. Section 5 concludes the paper.

2. Description of the measurements

2.1 Obninsk meteor radar

Measurements of the horizontal winds in the MLT region over Obninsk from 1980 to 2012, with some data gaps, have been analysed. The measurements have been performed using the meteor radar technique and they were described in several papers (e.g., Portnyagin et al., 2006) in detail. The horizontally pointing meteor radar installed at Obninsk does not provide height information of the meteor echo, and the results of measurements are referred to an average height of 90 km. This is justified since the daily average height of the underdense sporadic meteors is quite stable for radars with frequencies from 30 to 50 MHz. The Obninsk radar delivers 1000-3000 useful radio echoes per day for sounding in the zonal direction.

The meteor radar at Obninsk provides results of wind measurements for two zonal directions (radar beams pointing towards the west and the east). We used arithmetic means of the corresponding values. The technique of these measurements was the same until autumn 2007 (for more details see Merzlyakov et al., 2009, 2015), when the radar frequency was changed from 33.6 MHz to 46.3 MHz. During three months (August-October 2007) both radars measured winds simultaneously. Only a small shift in the zonal wind speeds was seen after replacement of a receiver, transmitter and antennas, which should not affect tidal amplitudes and phases.

The original data are hourly mean horizontal wind speeds. The QDT zonal and meridional amplitudes A_z and A_m , as well as their phases T_z and T_m were calculated for monthly data with a least squares fit with a monthly mean and 24-, 12-, 8-, and 6-hour tidal harmonics. The phases are given as the local time of the eastward or northward wind maximum, respectively. Monthly mean 6-hr amplitudes are presented in Figure 1. From 1998 through 2012 a continuous time series is available. One may also see that the amplitudes during the 1990s tend to be smaller than before and after that time interval.

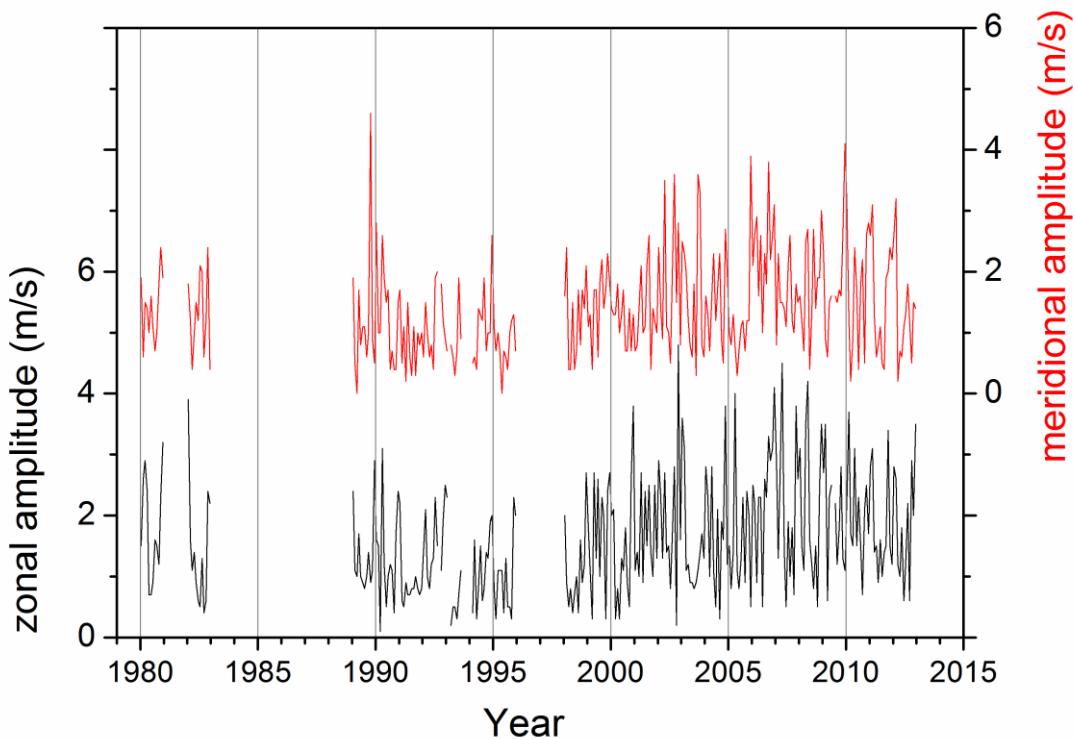


Fig. 1: Monthly zonal (black) and meridional (red) amplitudes of the 6-hour oscillation over Obninsk.

2.2 Collm SKiYMET meteor radar

The VHF SKiYMET meteor radar located at Collm has been operated nearly continuously since the summer of 2004. The radar uses the Doppler shift of the reflected radio wave from ionized meteor trails to obtain radial velocities along the line of sight of the radio wave. The radar operates at a frequency of 36.2 MHz. The transmitting antenna is a vertically pointing 3-element Yagi so that meteor echoes are registered for each azimuth angle. The receiving interferometer consists of five 2-element Yagi antennas arranged as an asymmetric cross to allow determination of azimuth and elevation angle from phase comparisons of the individual receiver antenna pairs. Together with range measurements the meteor trail position is detected. The radar and the data collection procedure are described in Hocking et al. (2001) and Jacobi et al. (2015).

The radar delivers half hourly mean horizontal wind values through projection of the horizontal half-hourly wind components to the individual radial winds under the assumption that vertical winds are small. Meteors at altitudes between 80 and 100 km are used here to calculate half-hourly winds. Since only very few meteors are registered outside this height range, this approach practically leads to winds measured without height finding, and the results are comparable to those measured with the Obninsk configuration. Note that the meteor radar standard analysis procedure delivers vertical profiles of wind parameters (e.g. Jacobi, 2012). Through the effective vertical averaging performed here there is a tendency of reducing especially solar tides owing

to their vertical phase gradient. Monthly mean prevailing winds and tidal parameters are calculated by a least squares fit of one month of half-hourly mean winds on model winds including the mean (prevailing) wind and 24-, 12-, 8-, and 6-hour tidal harmonics.

3. Climatology of the quarterdiurnal tide

8-year means including data from 2005 through 2012 have been constructed by arithmetic averaging of QDT amplitudes, and vector averaging of the tidal phases. Arithmetic averaging of amplitudes has been preferred here against vector averaging, because in the presence of phase shifts vector averaging will result in underestimation of the “most probable” amplitudes (e.g., Manson et al., 1983; States and Gardner, 2000). The described procedure has been applied for both horizontal wind components. Zonal mean amplitudes are shown in Fig. 2, while meridional amplitudes are presented in Fig. 3. Relative tidal amplitude differences ΔA have been calculated from the monthly mean amplitudes:

$$\Delta A = 2 \frac{A_{\text{zonal}} - A_{\text{meridional}}}{A_{\text{zonal}} + A_{\text{meridional}}}, \quad (1)$$

while mean zonal-meridional phase differences $\Delta\varphi = T_z - T_m$, given in degrees, have been calculated from the monthly mean phases. Positive $\Delta\varphi$ values indicate that the meridional component leads the zonal one, and $\Delta\varphi = 90^\circ$ together with $\Delta A = 0$ indicate right-hand circular polarisation of the tidal wave. The amplitude and phase differences are shown in Fig. 4.

The zonal amplitudes (Fig. 2, left panel) show maxima during winter and during spring, which is seen for both Collm and Obninsk. Maximum amplitudes during winter have also been reported by Smith et al. (2004) for high northern latitudes. The maximum amplitudes over Collm amount to 3.5 m/s on a climatological average, which is slightly larger than those reported by Smith et al. (2004), however, their data refer to higher latitudes. The Collm winter zonal amplitudes are slightly smaller than Obninsk ones, while for late summer the Collm amplitudes are slightly larger than the ones over Obninsk. However, the amplitudes are small and the differences should not be overinterpreted. The meridional amplitudes (Fig. 3, right panel) show a similar behaviour over Collm and Obninsk, except for December.

For most months, the Collm and Obninsk amplitudes agree within one standard deviation. During winter, zonal amplitudes tend to be larger than meridional ones, which is also visible in the relative differences ΔA according to Eq. 1 (left panel of Fig. 4). In summer, ΔA is small and the zonal and meridional amplitudes are of similar magnitude.

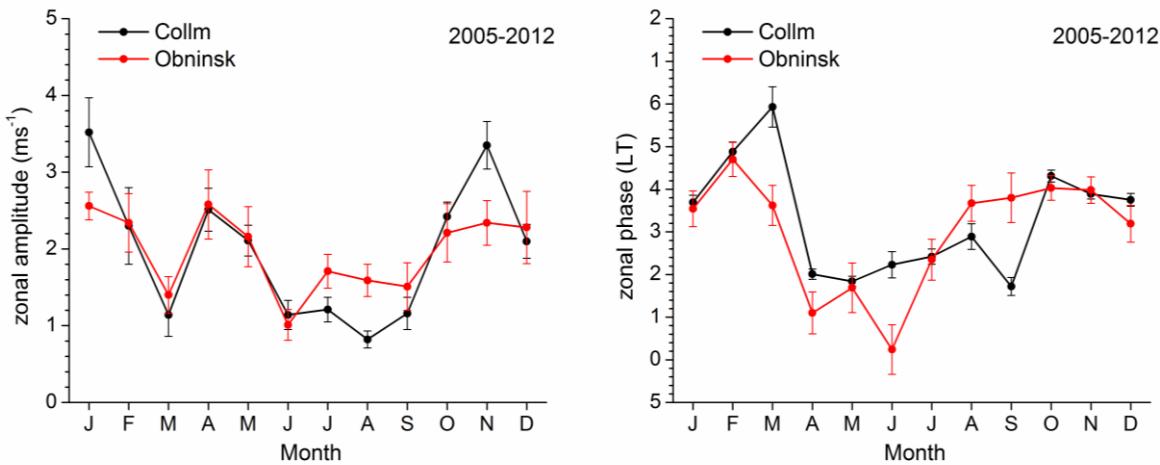


Fig. 2: 8-year mean monthly mean zonal amplitudes (left panel) and phases (right panel) at Collm and Obninsk. Error bars denote standard error of the monthly means.

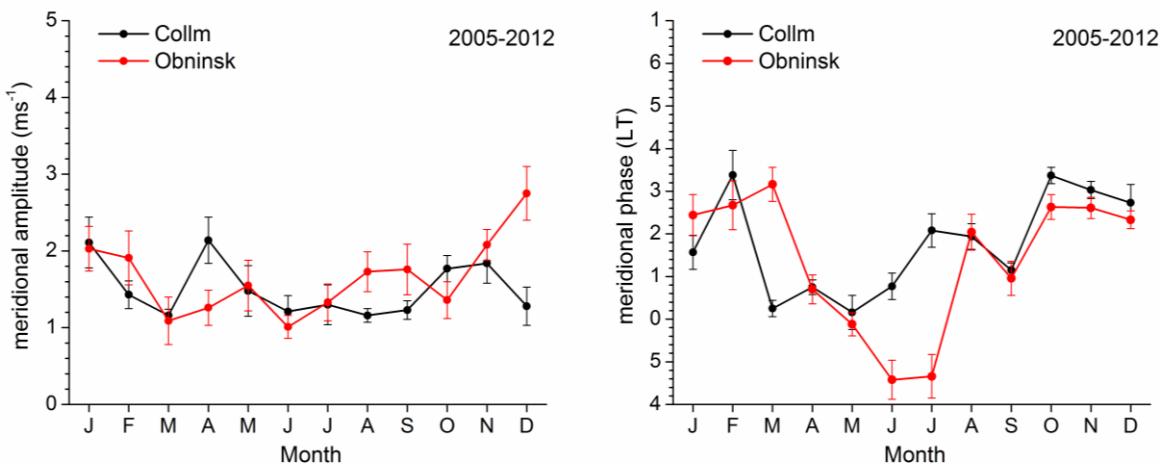


Fig. 3: As in Fig. 2, but for the meridional component.

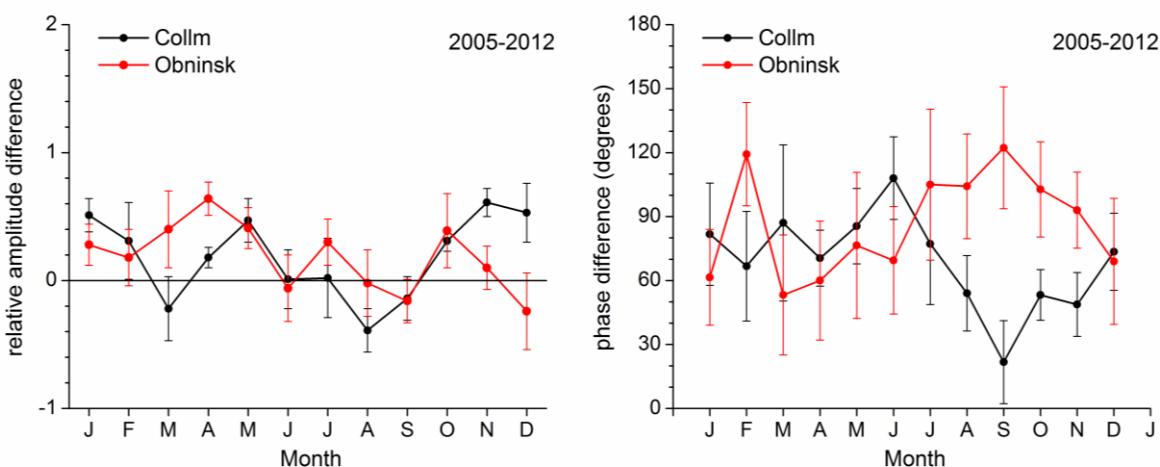


Fig. 4: Left panel: relative amplitude difference ΔA after Eq. 1. Right panel: Difference $\Delta\varphi$ between the zonal and meridional phases, positive values indicate that meridional oscillations lead the zonal ones. Data are 8-year means calculated from monthly means. Error bars denote standard error of the monthly means.

The zonal phases (right panel of Fig. 2) differ by about 2 hours between summer and winter. This behaviour is found for both Obninsk and Collm, and it is also visible for the meridional component (right panel of Fig. 3). Generally, phases over Collm and Obninsk agree well, larger differences are usually found when the amplitudes are small, e.g., in March or during summer. This, together with similar amplitudes, indicates that the major part of the 6-hour oscillations seen at Collm and Obninsk are owing to a migrating tide.

Comparison of the right panels of Figs. 2 and 3 shows that on an average meridional phases are earlier than the zonal ones, i.e. the meridional winds lead the zonal ones. Fig. 4 (right panel) shows that from December through July the phase difference is between 60 and 90 degrees which, together with not too large differences of the amplitudes, indicate a substantial circularly polarized component.

4. Interannual and long-term variability

To give an impression on the interannual variability of the 6-hour oscillation, in Fig. 5 we show 3-monthly means of the amplitude, which is the square-root of the sum of the squared zonal and meridional amplitudes. According to the climatological means in Figs. 2 and 3, maximum and minimum values are expected in November-January (NDJ) and June-August (JJA), respectively. Therefore, the NDJ/JJA values are highlighted by solid/open circles in Fig. 5.

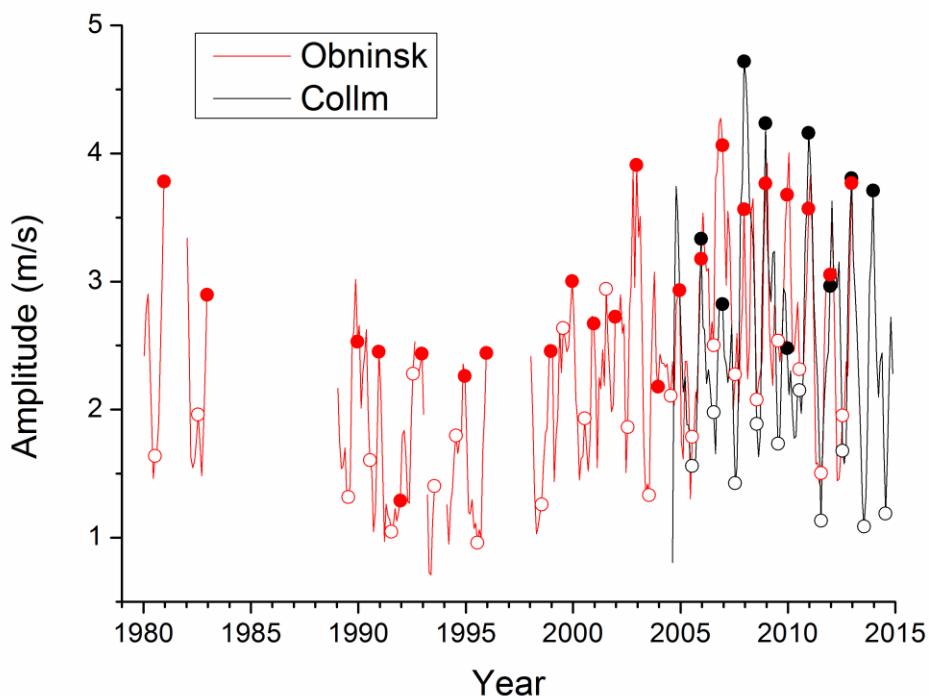


Fig. 5: 3-monthly mean amplitudes over Obninsk and Collm. November-January values are highlighted as solid circles, while June-August means are shown as open circles.

There is a data gap around the middle 1980s, and a smaller one in the 2nd half of the 1990s, nevertheless one can see a tendency for somewhat larger amplitudes in the early 1980s than in the 1990s. In the 1990s amplitudes both during winter and summer tend to be smaller than during the other time intervals under investigation. After 2000, amplitudes both in winter and summer tend to increase again, but there is some additional variability during winter, and in some cases the amplitudes are rather small. After 2000, there is a tendency that the summer amplitudes decrease again.

5. Conclusions

Meteor radar observations of horizontal winds in the MLT near 90 km at Collm and Obninsk have been used to analyse the seasonal variability of the QDT at middle latitudes. At both sites the zonal and meridional amplitudes show a maximum in winter and another one during spring. Collm amplitudes reach values of about 3.5 m/s in zonal wind and 2 m/s in meridional wind. At Obninsk zonal amplitudes are slightly smaller (up to 2.6 m/s). Obninsk meridional amplitudes exceed those in Collm in December with 3 m/s on a climatological average.

Generally, amplitudes and phases at Collm and Obninsk are similar, and larger phase differences are usually only found when the amplitudes are small (e.g., in March or during summer), indicating that much of the observed 6-hour oscillation at higher midlatitudes is due to the migrating QDT. Phase differences between zonal and meridional phase are near 60-90° for most months. This, together with small relative amplitude differences, indicates a substantial circularly polarized component.

Obninsk amplitudes show an interdecadal variation with smaller values during the 1990s and larger ones during the 2000s. Collm amplitudes indicate that after 2010 the amplitudes may decrease again.

Acknowledgements

The work has partly been supported by DFG under grant JA 836/30-1.

References

- Hocking, W. K., Fuller, B., Vandepeer, B., 2001: Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 63, 155-169, doi: 10.1016/S1364-6826(00)00138-3.
- Jacobi, Ch., 2012: 6 year mean prevailing winds and tides measured by VHF meteor radar over Collm (51.3°N, 13.0°E), *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 78–79, 8–18, doi: 10.1016/j.jastp.2011.04.010.

Jacobi, Ch., Lilienthal, F., Geißler, C., Krug, A., 2015: Long-term variability of mid-latitude mesosphere-lower thermosphere winds over Collm (51°N , 13°E), *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 136, B, 174–186, doi: 10.1016/j.jastp.2015.05.006.

Kovalam, S., Vincent, R. A., 2003: Intradiurnal wind variations in the midlatitude and high-latitude mesosphere and lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 108, 4135, doi: 10.1029/2002JD002500.

Liu, R., Lu, D., Yi, F., Hu, X., 2006: Quadratic nonlinear interactions between atmospheric tides in the mid-latitude winter lower thermosphere, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 68, 1245–1259, doi: 10.1016/j.jastp.2006.03.004.

Liu, M. H., Xu, J. Y., Yue, J., Jiang, G. Y., 2015: Global structure and seasonal variations of the migrating 6-h tide observed by SABER/TIMED, *Science China: Earth Sciences*, doi: 10.1007/s11430-014-5046-6.

Manson, A. H., Meek, C. E., Gregory, J. B., 1983: The semi-diurnal tide at the equinoxes - MF radar observations for 1978-1982 at Saskatoon (52°N , 107°W), *J. Atmos. Sci.*, 40, 969-976.

Merzlyakov, E. G., Jacobi, Ch., Portnyagin, Yu. I., Solovjova, T. V., 2009: Structural changes in trend parameters of the MLT winds based on wind measurements at Ochninsk (55°N , 37°E) and Collm (52°N , 15°E), *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 71, 1547-1557.

Merzlyakov, E. G., Jacobi, Ch., Solovjova, T. V., 2015: The year-to-year variability of the autumn transition dates in the mesosphere/lower thermosphere wind regime and its coupling with the dynamics of the stratosphere and troposphere, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 122, 9-17, doi:10.1016/j.jastp.2014.11.002.

Portnyagin, Yu. I., Merzlyakov, E. G., Solovjova, T. V., Jacobi, Ch., Kürschner, D., Manson, A., Meek, C., 2006: Long-term trends and year-to-year variability of mid-latitude mesosphere/lower thermosphere winds, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 68, 1890-1901.

She, C. Y., Chen, S., Williams, B. P., Hu, Z., Krueger, D. A., 2002: Tides in the mesopause region over Fort Collins, Colorado (41°N , 105°W) based on lidar temperature observations covering full diurnal cycles, *J. Geophys. Res.*, 107, D18, 4350, doi: 10.1029/2001JD001189.

Smith, A. K., Pancheva, D. V., Mitchell, N. J., 2004: Observations and modeling of the 6-hour tide in the upper mesosphere, *J. Geophys. Res.*, 109, D10105, doi: 10.1029/2003JD004421.

States, R. J., Gardner, C. S., 2000: Thermal structure of the mesopause region ($80\text{--}105$ km) at 40°N latitude. Part II: Diurnal variations, *J. Atmos. Sci.*, 57, 78-92.

Walterscheid, R. L., Sivjee, G. G., 1996: Very high frequency tides observed in the airglow over Eureka (80°), *Geophys. Res. Lett.*, 23, 3651–3654, doi: 10.1029/96GL03482.

Walterscheid, R. L., Sivjee, G. G., 2001: Zonally symmetric oscillations observed in the airglow from South Pole station, *J. Geophys. Res.*, 106A, 3645–3654, doi: 10.1029/2000JA000128.

Warburton, R. J., Goodkind, J. M., 1977: The influence of barometric-pressure variations on gravity, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 48, 281–292.

Xu, J., Smith, A. K., Jiang, G., Yuan, W., Gao, H., 2012: Features of the seasonal variation of the semidiurnal, terdiurnal and 6-h components of ozone heating evaluated from Aura/MLS observations, *Ann. Geophys.*, 30, 259–281, 2012, doi: 10.5194/angeo-30-259-2012.

Xu, J., Smith, A. K., Liu, M., Liu, X., Gao, H., Jiang, G., Yuan, W., 2014: Evidence for nonmigrating tides produced by the interaction between tides and stationary planetary waves in the stratosphere and lower mesosphere, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 471–489, doi: 10.1002/2013JD020150.

The Role of Solar Heating in the Forcing of the Terdiurnal Tide

F. Lilienthal, Ch. Jacobi

*Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig,
E-Mail: friedericke.lilienthal@uni-leipzig.de*

Summary: We use the middle and upper atmosphere model (MUAM) to analyze forcing mechanisms of the terdiurnal tide (TDT) in the middle atmosphere, namely solar heating and nonlinear wave-wave interactions. First, we present model amplitudes of the TDT during January conditions as a validation and for reference. By switching off single forcings for wavenumber 3 in different model runs we are able to separate the solar and nonlinear forcing contribution. The simulations suggest that solar forcing is the major driver for TDT at low latitudes while nonlinear interactions become more important at middle and high latitude, especially in the winter hemisphere. Additionally we observe increased TDT amplitudes for purely solar driven TDTs without nonlinear forcing in some regions which may be owing to destructive interferences.

Zusammenfassung: Wir nutzen das Modell für die mittlere und obere Atmosphäre (MUAM), um die Anregungsmechanismen der dritteltägigen Gezeiten, solare Erwärmung und Wechselwirkungen zwischen Wellen, zu analysieren. Zunächst präsentieren wir die modellierten Amplituden der dritteltägigen Gezeiten für Januarbedingungen. Dies dient einerseits der Validierung und andererseits als Referenz. Indem die Wellenzahl 3 in den verschiedenen Anregungstermen in einzelnen Läufen ausgeschalten wird, lassen sich die jeweiligen Beiträge aus solarer und nichtlinearer Anregung separieren. Aus den Simulationen lässt sich ableiten, dass solare Erwärmung den Hauptanteil in niedrigen Breiten bildet, während nichtlineare Wechselwirkungen in mittleren und hohen Breiten immer wichtiger werden, vor allem auf der Winterhemisphäre. Zudem beobachten wir verstärkte Amplituden der dritteltägigen Gezeiten bei ausschließlich solarer Anregung ohne nichtlinearen Anteil, was an destruktiver Überlagerung der Antriebsterme liegen kann.

1 Introduction

Atmospheric solar tides are one of the most important dynamical features of the mesosphere and lower thermosphere (MLT). They have periods of a solar day and its subharmonics as they are primarily excited by the daily variation of solar heating. They are called „migrating“ when they propagate sun-synchronously and can reach amplitudes that are of the order of the mean wind. Due to the fact that amplitudes are, on an average, smaller for shorter periods, the diurnal tides (DTs) and semidiurnal tides (SDTs) have gained most attraction in the past and are thus better understood than terdiurnal tides (TDTs).

However, TDT amplitudes are comparable with SDT and DT ones on some occasions, e.g. during equinoxes at middle latitudes and may reach amplitudes of 20 m/s or 10 K, respectively. This has been observed using satellites (e.g., Smith, 2000; Pancheva et al., 2013) and radar measurements (e.g., Thayaparan, 1997; Jacobi and Fytterer, 2012). The primary source of atmospheric tides is direct solar heating due to absorption of ultra violet (UV) radiation in the water vapor (troposphere) and ozone (stratosphere) region. However, numerical model studies have shown that this is not sufficient to explain the structure and magnitude of the TDT in the MLT. This was first examined by Glass and Fellous (1975) and later confirmed by, e.g. Teitelbaum et al. (1989); Smith and Ortland (2001); Akmaev (2001); Huang et al. (2007). Further possible excitation mechanisms are nonlinear interactions (Glass and Fellous, 1975; Teitelbaum et al., 1989), gravity wave-tidal interactions and mean flow-tidal interactions (Huang et al., 2007), but their role is still under debate. Teitelbaum et al. (1989) found that nonlinear interactions and direct solar forcing may produce TDTs of comparable amplitudes. Smith and Ortland (2001) performed a model study using a nonlinear model with specified DT and SDT fields at the lower boundary. They were switching off the terdiurnal solar component on the one hand and removing the direct forcing of SDTs on the other hand to eliminate nonlinear interactions between DTs and SDTs. They concluded that solar forcing is dominant at middle and high latitudes while nonlinear interactions mainly contribute at low latitudes. A similar approach was used by Akmaev (2001) and the result was that solar heating from the ozone region is the main source, but noticeable nonlinear in-situ contribution is found during equinoxes. Huang et al. (2007) used a fully nonlinear tidal model with specified diurnal and semidiurnal thermtidal heating so that observed TDT amplitudes were only possible due to nonlinear interactions and they were indeed significant in the MLT. A more recent model study about terdiurnal forcing mechanisms (Du and Ward, 2010) included self-consistent tides due to radiative heating, convective processes and latent heat release. Using a correlation analysis of DT and SDT with TDT on a seasonal and short-term scale they could not identify significant nonlinear interactions and stated that solar heating is the major source of TDTs.

To conclude, the results concerning the relative contributions of different forcing terms of the TDT are still not clarified and partly contradicting. Therefore, in the following model study about the excitation mechanisms of the TDT we use a mechanistic global circulation model with a new approach to separate the solar and nonlinear forcing. Similar to Smith and Ortland (2001) and Akmaev (2001) we remove the wavenumber 3 component of the solar heating in a first simulation. Additionally we perform a simulation where we remove wavenumber 3 from the nonlinear terms, namely the advection terms and the adiabatic heating in the prognostic equations. This procedure is described in more detail in section 2 and the results of these simulations are presented in section 3. In section 4 we give a short conclusion and set the results into context with previous investigations.

2 Model Description and Experimental Setup

We use a mechanistic global circulation model of the middle atmosphere called MUAM. It is a nonlinear primitive equation model with a horizontal resolution of $5 \times 5.625^\circ$ and it extends up to an altitude of 160 km in log-pressure height in steps of 2.842 km. This is described in detail by Pogoreltsev et al. (2007). At the lower boundary of the

model (1000 hPa) zonal means of temperature and geopotential derived from ERA-Interim reanalyses are assimilated and for temperature also up to an altitude of 30 km to correct the climatology in the troposphere and lower stratosphere.

Within the model, solar tides can either be created directly through absorption of solar radiation or nonlinearly as a result of an interaction between other waves. A solar heating parameterization computes heating rates for H_2O , CO_2 , O_2 , O_3 and N_2 based on Strobel (1978) with further improvements described by Fröhlich et al. (2003). The daily variation of these heating rates creates tides self-consistently. The TDT has been modeled using MUAM by Fytterer et al. (2014), who compared TDT wind shear from the model with global lower ionospheric electron density maxima, and Krug et al. (2015) presented a seasonal climatology of the TDT based on MUAM simulations. Zonal mean ozone fields are taken from the Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate project (SPARC; Randel and Wu, 2007). The volume mixing ratio for carbon dioxide has been adjusted according to measurements from Mauna Loa Observatory for the year 2005 (378ppm; NOAA ESRL Global Monitoring Division, 2015).

Nonlinear interactions of waves may contribute to tidal forcing. These interactions can take place by the advection of wind and temperature or adiabatic heating within the tendency equations. The advection terms in spherical coordinates (Eqns. 1-3) and the adiabatic heating (Eqn. 4) may be represented as follows:

$$\vec{v} \cdot (\nabla u) = \frac{u}{a \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{v}{a \cos \phi} \frac{\partial(u \cos \phi)}{\partial \phi} + \frac{w}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z}(\rho_0 u), \quad (1)$$

$$\vec{v} \cdot (\nabla v) = \frac{u}{a \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + \frac{v}{a \cos \phi} \frac{\partial(v \cos \phi)}{\partial \phi} + \frac{w}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z}(\rho_0 v), \quad (2)$$

$$\vec{v} \cdot (\nabla T) = \frac{u}{a \cos \phi} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + \frac{v}{a \cos \phi} \frac{\partial(T \cos \phi)}{\partial \phi} + \frac{w}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial z}(\rho_0 T), \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{adiab} = \frac{R w T}{m' c_p H}, \quad (4)$$

where \vec{v} is the wind vector, u and v are the horizontal wind components, w is the vertical wind component and T is the temperature. a is the Earth's radius, ϕ , λ and z are latitude, longitude and altitude, respectively, and ρ_0 is the basic density. R is the gas constant for dry air, m' is the ratio of molecular weights at the respective altitude and at 1000 hPa, c_p is the specific heat at constant pressure and H is the model's scale height given by 7 km. Separating the variables into their mean and a perturbation we get, as an example:

$$\frac{u}{a \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} = \frac{(\bar{u} + u')}{a \cos \phi} \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial \lambda} = \frac{1}{a \cos \phi} \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \lambda} + \bar{u} \frac{\partial u'}{\partial \lambda} + u' \frac{\partial \bar{u}}{\partial \lambda} + u' \frac{\partial u'}{\partial \lambda} \right). \quad (5)$$

Analogue results can be retrieved for the other terms. The last term of Eqn. 5 represents the interaction between waves which can create further waves with the sum and the difference of the original frequencies, e.g. a TDT from the DT and SDT interaction.

To analyze the forcing mechanisms of the TDT in the MUAM we remove wavenumber 3 longitudinal variation of the total solar heating rates (run A) and the nonlinear advection terms (run B). By applying this method we can analyze the remaining TDT in both runs. Run A will therefore show a TDT which only exists due to nonlinear interactions while run B will show a purely solar forced TDT.

For comparison of the following results, Fig.1 presents the temperature (left) and zonal wind (right) amplitudes of the migrating TDT from a reference run without removing the wavenumber 3 from neither the nonlinear nor the solar terms. The results are representative for January and show strong maxima of more than 10 K and 10 m/s, respectively, above 120 km altitude at low and middle latitudes. At the equator, the tide almost vanishes. Amplitudes are generally decreasing towards the poles but we also find secondary maxima at middle to high latitudes.

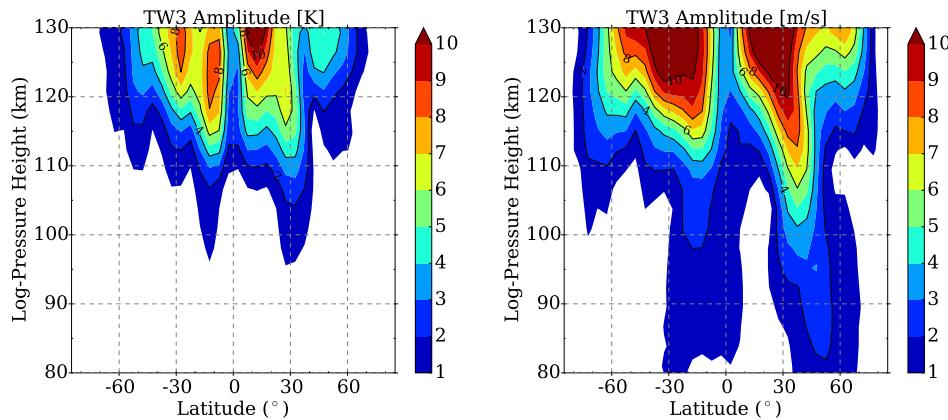


Fig. 1: Amplitudes of the migrating TDT as derived from a reference model run for January conditions. Left panel: Temperature. Right panel: Zonal wind.

3 Model results removing wavenumber 3

As discussed above, the most important forcing mechanisms of TDTs are the absorption of solar radiation and nonlinear interactions between other waves, namely DT and SDT. Fig. 2 shows the migrating terdiurnal components (wavenumber 3 and period of 8 h) of these forcings for different altitudes where the nonlinear forcing is split into its parameters for zonal wind, meridional wind and temperature, according to Eqns. 1-3. On the one hand, it can be clearly seen that solar heating is the dominant feature in the lower atmosphere with a maximum of about 3.5 K/d at 50 km altitude, which corresponds to the region where the ozone concentration is largest. Note also that forcing from the troposphere, in the water vapor absorption band, is not evident which is, however, partly owing to the zonal mean water vapor climatology introduced in MUAM. On the other hand, the nonlinear terdiurnal forcing is continuously increasing with height but very small below 80 km altitude. It reaches its maximum in the mesosphere between 110 and 120 km. The forcing in zonal and meridional wind reaches more than 20 m/s/d each while the temperature wave forcing reaches about 20 K/d. Due to absorption of extreme UV radiation, the terdiurnal solar forcing shows a second maximum around 125 km altitude, but compared to the nonlinear thermal forcing it is still smaller. From these results we can assume that terdiurnal forcing due to solar heating is dominant at lower altitudes while nonlinear interactions mainly contribute in the upper atmosphere.

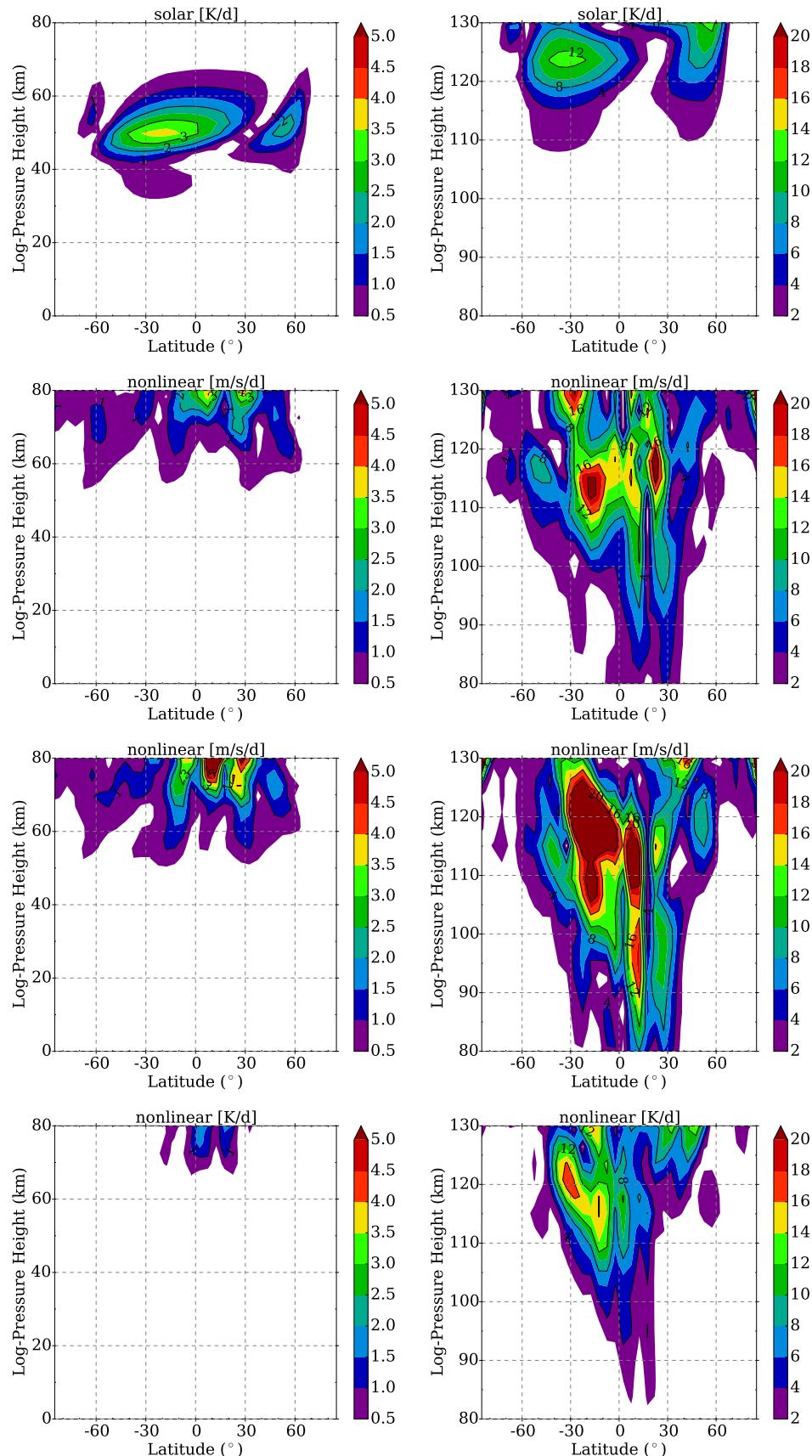


Fig. 2: From top to bottom: Terdiurnal component of the solar forcing (total heating rates), nonlinear zonal forcing (from Eqn. 1), nonlinear meridional forcing (from Eqn. 2) and nonlinear temperature forcing (from Eqn. 3). Left panels: lower atmosphere until 80 km altitude. Right panels: upper atmosphere from 80-130 km altitude.

To separate the impact of these two forcing mechanisms we perform two different model runs A and B as described in the previous section. The resulting amplitudes for the terdiurnal tide in temperature and zonal wind are shown in Figs. 3 and 4.

Compared with the reference run in Fig. 1, the amplitudes for purely nonlinearly forced terdiurnal tides, i.e. for the tide that is solely originating from nonlinear interaction (run A; Fig. 3) are drastically reduced. The strong maxima of the temperature amplitude at low latitudes disappears in Fig. 3 (left) and we obtain a small maximum of about 4 K at northern mid-latitudes instead. In this region, however, this represents a relatively large contribution considering that the reference amplitude in this region is only 5 to 6 K. Amplitudes larger than 1 K can only be found above 110 km (120 km) altitude in the northern (southern) hemisphere which is about 10 km higher than in the reference run. The terdiurnal amplitudes in zonal wind (Fig. 3, right) show a 6 m/s maximum at northern high latitudes which is again relatively large compared to the reference with not more than 8 m/s in this region. Secondary maxima of about 2-4 m/s at northern low latitudes and southern high latitudes can be seen as well but these are comparably small. Thus, the TDT is generally much smaller without solar forcing and the strong low latitude TDT cannot be explained by nonlinear interactions. However, nonlinear interactions contribute at most latitudes and at northern (winter) high latitudes the nonlinear forcing seems to be a major driver of TDTs.

The TDT amplitudes for run B, i.e. with nonlinear interactions turned off, and their differences to the reference run are shown in Fig. 4. In other words, the figure represents the results for a purely solar driven TDT. The global structure of TDT amplitudes in the MLT remains similar to the structure in the reference run. Quantitative changes can be obtained from Fig. 4c and d showing that strong changes only appear above 110 km for the temperature amplitudes and above 100 km for the zonal wind amplitudes. Regarding temperature (Fig. 4c), the amplitudes at low latitudes are increased by up to 2 K between 120 – 130 km altitude. At northern mid-latitudes amplitudes are reduced by 1 – 2 K but the differences become almost zero towards the poles where the total amplitude (Fig. 4a) reaches zero as well. For zonal wind amplitudes (Fig. 4d) we obtain an increase of slightly more than 2 m/s at northern low latitudes. Northern mid-latitudes reveal an increase by about 1 m/s at about 110 km altitude. In higher altitudes (above 120 km) at about 70°N amplitudes are decreased by up to 3 m/s. Differences in the southern (summer) hemisphere are generally smaller not exceeding values of ± 1 m/s.

The significant positive changes in run B, i.e. at low latitudes, may be explained by destructive interferences between the solar driven wave and the nonlinear forcing. If they act opposite to each other, a removed nonlinear forcing may lead to an increase in amplitude because the solar driven wave can then freely propagate into the upper atmosphere without being suppressed. However, this needs to be further analyzed.

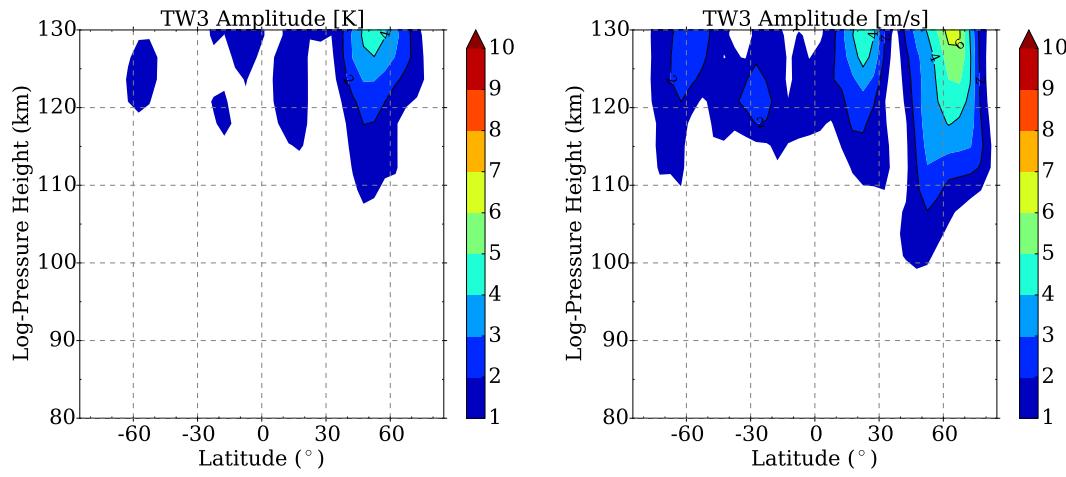


Fig. 3: Amplitudes of TDTs in a latitude-height cross section for temperature (left) and zonal wind (right) corresponding to a model run without wavenumber 3 in solar heating.

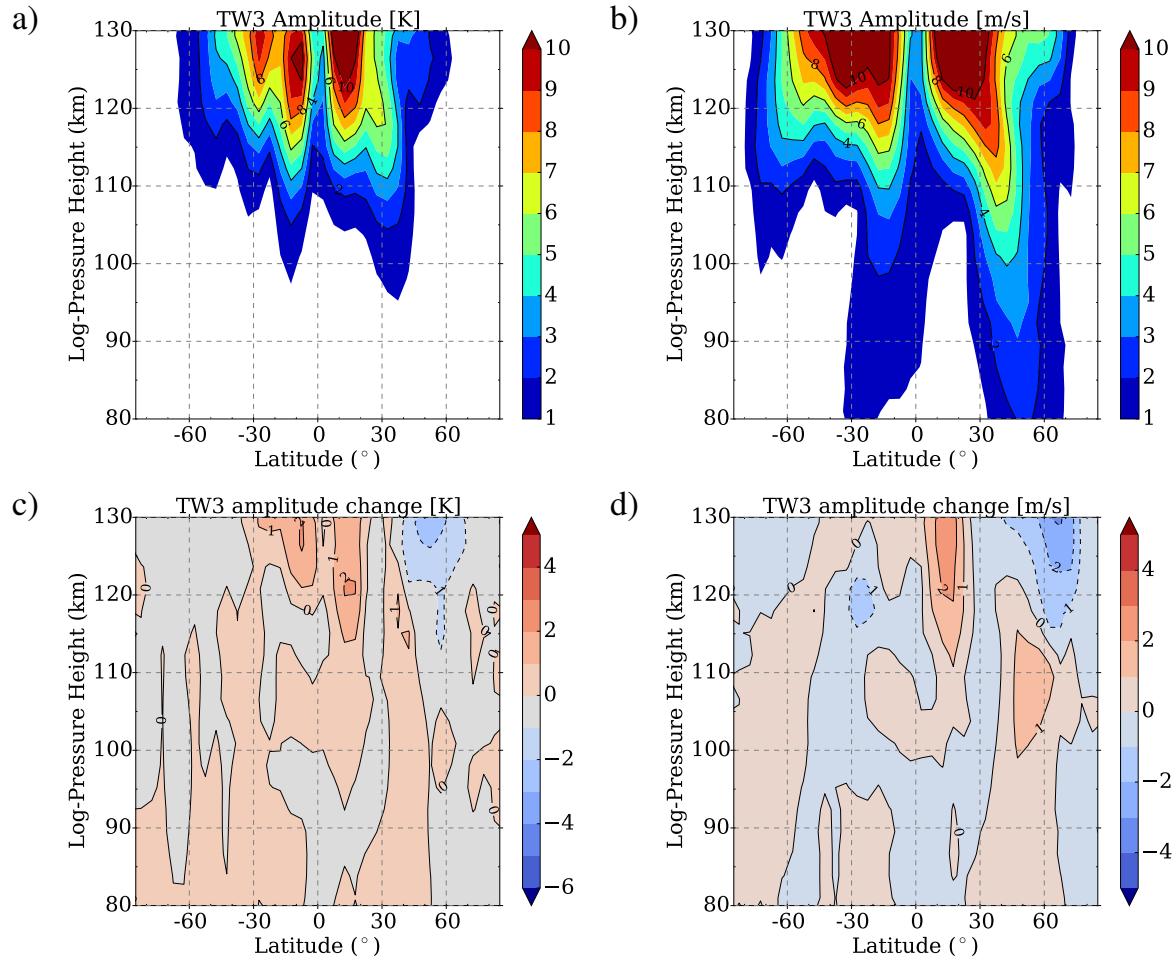


Fig. 4: Amplitudes of TDTs in a latitude-height cross section for temperature (a) and zonal wind (b) corresponding to a model run without wavenumber 3 in all nonlinear advection terms. TDT amplitude differences to the reference for temperature (c) and zonal wind (d). Red (blue) colors indicate larger (smaller) amplitudes in the modified run without wavenumber 3 than in the reference run.

4 Discussion and Conclusion

In order to describe the forcing mechanisms of the TDT in the middle atmosphere we performed numerical simulations using a nonlinear global circulation model. The structure and magnitude of the TDT is in good agreement with observations: for January conditions we get amplitudes up to 10 K in temperature and larger than 10 m/s in zonal wind, respectively. The maxima are located above 120 km altitude at low latitudes. A more detailed climatology and comparison with observations is already published by Krug et al. (2015).

As pointed out by Glass and Fellous (1975), Teitelbaum et al. (1989) and others, the most important forcing mechanisms of the TDT are absorption of solar radiation in the ozone heating region and nonlinear interactions between tides. To separate these forcings in the model, we performed two different runs additionally to the reference run. In run A we removed wavenumber 3 from the solar forcing to analyze pure nonlinearly driven TDT and in run B we removed wavenumber 3 from the nonlinear terms in the tendency equations to get the result of a purely solar driven TDT. In our simulations the solar forcing clearly dominates at low latitudes while a stronger contribution of nonlinear forcing is found at northern (winter) middle and high latitudes. This supports the results of Huang et al. (2007) who also found significant amplitudes due to nonlinear interactions. Akmaev (2001) removed wavenumber 3 from the solar heating, similar to our run A, and showed wind and temperature amplitude profiles for 44°N during winter. For zonal wind he obtained a rather small nonlinear contribution which is in accordance with our results that show a clear gap of zonal wind amplitudes around 40°N. In temperature, the nonlinear forcing becomes significant above 100 km which is also in accordance to our results, but in our simulations, amplitudes start to be significant only above 110 km. Our results do not support those of Du and Ward (2010) who found that solar forcing is the only important mechanism but they used correlation analyses between DT and TDT instead of removing certain forcings. Smith and Ortland (2001) performed similar model runs like our run A and B. They found that nonlinear interactions at 97 km altitude are more important at low latitudes but during January the amplitudes of TDTs without solar forcing are small everywhere in their simulations and are thus difficult to interpret. For the run without nonlinear forcing they found large amplitudes at 97 km at middle and high latitudes in the zonal wind component. In these altitudes, our model results are similar showing a maximum around 50°N.

Furthermore, we observe that TDT amplitudes are regionally increased when the nonlinear forcing is switched off. To our knowledge, this has not been reported before. However, earlier model studies (e.g., Smith and Ortland, 2001) removed the nonlinear forcing by switching off the solar SDT to avoid interactions between DT and SDT. Here, we use a new and possibly more accurate approach modifying the nonlinear terms within the prognostic equations. A possible explanation for these increased amplitudes are destructive interferences between the solar driven TDT and the nonlinear forcing. Further analyses about this topic are necessary and will be considered in the future.

Acknowledgements

ECMWF reanalyses data are provided by apps.ecmwf.int/datasets/data/ and have been used in MUAM for assimilation in the troposphere. The study has been supported by Deutsche Forschungsgemeinschaft under grant JA 836/30-1.

References

- Akmaev, R., 2001: Seasonal variations of the terdiurnal tide in the mesosphere and lower thermosphere: a model study, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3817–3820.
- Du, J. and Ward, W., 2010: Terdiurnal tide in the extended Canadian Middle Atmospheric Model (CMAM) , *J. Geophys. Res.*, 115, D24 106, doi:10.1029/2010JD014479.
- Fröhlich, K., Pogoreltsev, A., and Jacobi, C., 2003: The 48 Layer COMMA-LIM Model: Model description, new Aspects, and Climatology, *Rep. Inst. Meteorol. Univ. Leipzig*, pp. 161–189, URL: www.uni-leipzig.de/%7Ejacobi/medec/2003_COMMA_LIM.pdf.
- Fytterer, T., Arras, C., Hoffmann, P., and Jacobi, C., 2014: Global distribution of the migrating terdiurnal tide seen in sporadic E occurrence frequencies obtained from GPS radio occultations, *Earth Planets Space*, 66, 1–9, doi:10.1186/1880-5981-66-79.
- Glass, M. and Fellous, J. L., 1975: The eight-hour (terdiurnal) component of atmospheric tides, *Space Res.*, 15, 191–197.
- Huang, C., Zhang, S., and Yi, F., 2007: A numerical study on amplitude characteristics of the terdiurnal tide excited by nonlinear interaction between the diurnal and semidiurnal tides, *Earth Planets Space*, 59, 183–191.
- Jacobi, C. and Fytterer, T., 2012: The 8-h tide in the mesosphere and lower thermosphere over Collm (51.3°N; 13.0°E), 2004–2011, *Adv. Rad. Sci.*, 10, 265–270, doi:10.5194/ars-10-265-2012.
- Krug, A., Lilienthal, F., and Jacobi, C., 2015: The terdiurnal tide in the MUAM circulation model, *Rep. Inst. Meteorol. Univ. Leipzig*, 53, 33–44, uni-leipzig.de/meteo/de/orga/LIM_Bd_53.pdf.
- NOAA ESRL Global Monitoring Division, 2015: Atmospheric Carbon Dioxide Dry Air Mole Fractions from quasi-continuous measurements at Mauna Loa, Hawaii, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Earth System Research Laboratory (ESRL), Global Monitoring Division (GMD): Boulder, Colorado, USA, Compiled by K.W. Thoning, D.R. Kitzis, and A. Crotwell, Version 2015-12, updated annually.
- Pancheva, D., Mukhtarov, P., and Smith, A., 2013: Climatology of the migrating terdiurnal tide (TW3) in SABER/ TIMED temperatures , *J. Geophys. Res.: Space Phys.*, 118, 1755–1767, doi:10.1002/jgra.50207.
- Pogoreltsev, A. I., Vlasov, A. A., Fröhlich, K., and Jacobi, C., 2007: Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 69, 2083–2101, doi: 10.1016/j.jastp.2007.05.014.

- Randel, W. J. and Wu, F., 2007: A stratospheric ozone profile data set for 1979–2005: Variability, trends, and comparisons with column ozone data, *J. Geophys. Res.: Atmos.*, 112, n/a–n/a, doi:10.1029/2006JD007339, D06313.
- Smith, A. and Ortland, D., 2001: Modeling and Analysis of the Structure and Generation of the Terdiurnal Tide, *J. Atmos. Sci.*, 58, 3116–3134.
- Smith, A. K., 2000: Structure of the terdiurnal tide at 95 km, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 177–180, doi:10.1029/1999GL010843.
- Strobel, D. F., 1978: Parameterization of the atmospheric heating rate from 15 to 120 km due to O₂ and O₃ absorption of solar radiation, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 83, 6225–6230, doi:10.1029/JC083iC12p06225.
- Teitelbaum, H., Vial, F., Manson, A., Giraldez, R., and Massebeuf, M., 1989: International Middle Atmosphere Program Symposium Non-linear interaction between the diurnal and semidiurnal tides: terdiurnal and diurnal secondary waves, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 51, 627–634, doi:10.1016/0021-9169(89)90061-5.
- Thayaparan, T., 1997: The terdiurnal tide in the mesosphere and lower thermosphere over London, Canada (43°N, 81°W), *J. Geophys. Res.: Atmos.*, 102, 21 695–21 708, doi:10.1029/97JD01839.

Darstellung und Einfluss von durchbrochener Bewölkung auf den Ertrag von Photovoltaik-Anlagen und dessen Prognose

R. Göhler*, A. Raabe*, J. Zimmer**

*) Institut für Meteorologie, Universität Leipzig, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig

E-Mail: raabe@uni-leipzig.de

**) Ingenieurbüro Last- und Energiemanagement, Nordplatz 6, 04105 Leipzig

Summary

Due to the significant increase of 'renewable energy' to the total energy the highly fluctuating energy supply, which is due to the constitutional conditions of production among others from photovoltaic systems, becomes a growing problem. As a result, many engineering firms and companies dedicate themselves to the so-called power prediction by which it should be possible to integrate a fast changing energy supply into a necessarily continuous energy supply. The Ingenieurbüro für Last- und Energiemanagement (LEM-Software) used a neural network for this prediction of performance of photovoltaic systems. This networks learn from past knowledge a mathematical pattern that can be used for forecasting. Based on this, this article deals with a new parameter for the network which characterizes the probability of broken cloud effects.

The global radiation forecast in the surrounding area is analyzed for this index. It turns out that this inhomogeneous index is a better indicator than the standard deviation. A first application shows a slight improvement in the forecast result. However, the time limit for application of the neural network is too short for a final evaluation.

Zusammenfassung

Aufgrund des steigenden Anteils 'erneuerbarer Energie' an der Energieversorgung wird die stark schwankende Energiezufuhr, bedingt durch die naturgegebenen Produktionsbedingungen unter anderem von Photovoltaik-Anlagen, zu einem immer größeren Problem. Infolge dessen widmen sich viele Ingenieurbüros und Firmen sogenannten Leistungsprognosen, mit deren Hilfe es gelingen soll, eine schnell wechselnde Energiebereitstellung in eine notwendigerweise kontinuierliche Energieversorgung zu streichen.

Das Ingenieurbüro für Last- und Energiemanagement (LEM-Software) verwendet für diese Vorhersagen der Leistung von Photovoltaik-Anlagen ein künstliches neuronales Netzwerk (KNN). Dieses erlernt aus vergangenen Verhältnissen ein mathematisches Muster, welches für die Prognose angewendet werden kann. Aufbauend darauf befasst sich dieser Artikel mit einem Inhomogenitätsindex für das Netzwerk, welcher die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten schnell wechselnder Bewölkung und von Broken-Cloud-Effekten charakterisiert.

Für den Index wird die Globalstrahlungsvorhersage in der näheren Umgebung analysiert. Dabei

stellt sich heraus, dass dieser Inhomogenitätsindex ein besserer Indikator als die Standardabweichung ist. Eine erste Anwendung zeigt eine leichte Verbesserung des Prognoseergebnisses, allerdings ist der Zeitraum für die Anwendung des KNN zu kurz für eine abschließende Bewertung.

Einleitung

Die Bereitstellung der Energie aus erneuerbaren Energieträgern gewinnt in Deutschland immer mehr an Bedeutung. Im letzten Jahrzehnt stieg die installierte Photovoltaik-Leistung sehr stark an (BP, 2015). In Folge dessen vergrößerte sich auch die Schwankung der von den Photovoltaik-Anlagen am Netz anliegenden Leistung. Diese Schwankungen, ausgelöst hauptsächlich durch wechselnde Bewölkung, stellen die Netzbetreiber, die eine kontinuierliche Stromversorgung garantieren müssen, vor Probleme.

Die Bundesrepublik Deutschland sieht die Netzbetreiber in der Pflicht, den in das Netz aus erneuerbaren Energieträgern eingespeisten Strom vorrangig abzunehmen (EEG, 2014) und den darüberhinausgehenden Bedarf durch konventionelle Energieerzeugungsarten (Kohle, Öl, Gas) abzudecken. Aus diesem Grund sind die Netzbetreiber an einer Prognose des naturgegebenen schwankenden 'Ökostromanteils' interessiert.

Ein Ziel einer solchen Leistungsprognose beispielsweise für Photovoltaikanlagen ist die Verbesserung der Vorhersagen im 'Day ahead' oder im Kürzestfristbereich. Eine Leistungsprognose kann dabei auf verschiedenen Methoden basieren. Im Ingenieurbüro für Last- und Energiemanagement wird hierfür hauptsächlich ein KNN benutzt. Dieses Netzwerk erlernt aus vergangenem Wissen ein mathematisches Muster, welches für die Vorhersage angewendet wird (Patterson, 1996; Rojas, 1996).

In diesem Bericht wird untersucht, ob eine Verbesserung der Leistungsprognose (im Day-ahead Bereich) erfolgen kann, wenn ein Index ermittelt wird, welcher die Wolkenstruktur im mesoskaligen Umfeld der Anlage repräsentiert. Genauer gesagt soll der Index den Broken-Cloud-Effekt charakterisieren, welcher die Leistung der Photovoltaik-Anlage beeinflusst. Dieser Effekt bewirkt eine Strahlungsüberhöhung an den Wolkenrändern. Aufgrund der Abschattungen durch Wolken erfolgt zusätzlich eine Verringerung der Modultemperatur und somit eine Steigerung des Wirkungsgrads. Ein numerisches Wettervorhersagemodell kann dabei keine direkte Aussage über diesen Effekt treffen.

Broken-Cloud-Effekte am Leipziger Institut für Meteorologie

Einen Überblick über die Häufigkeit des Auftretens der Broken-Cloud-Effekte und deren Energieanteil zeigt Abbildung 1 für eine Beobachtung über ein Jahr hinweg. Das obere Bild kennzeichnet das Auftreten der Broken-Cloud-Effekte des gesamten Jahres 2014 für jede Minute, außer zwischen dem 27.07.2014 und 25.09.2014, da hier die Messung aufgrund eines Blitz-

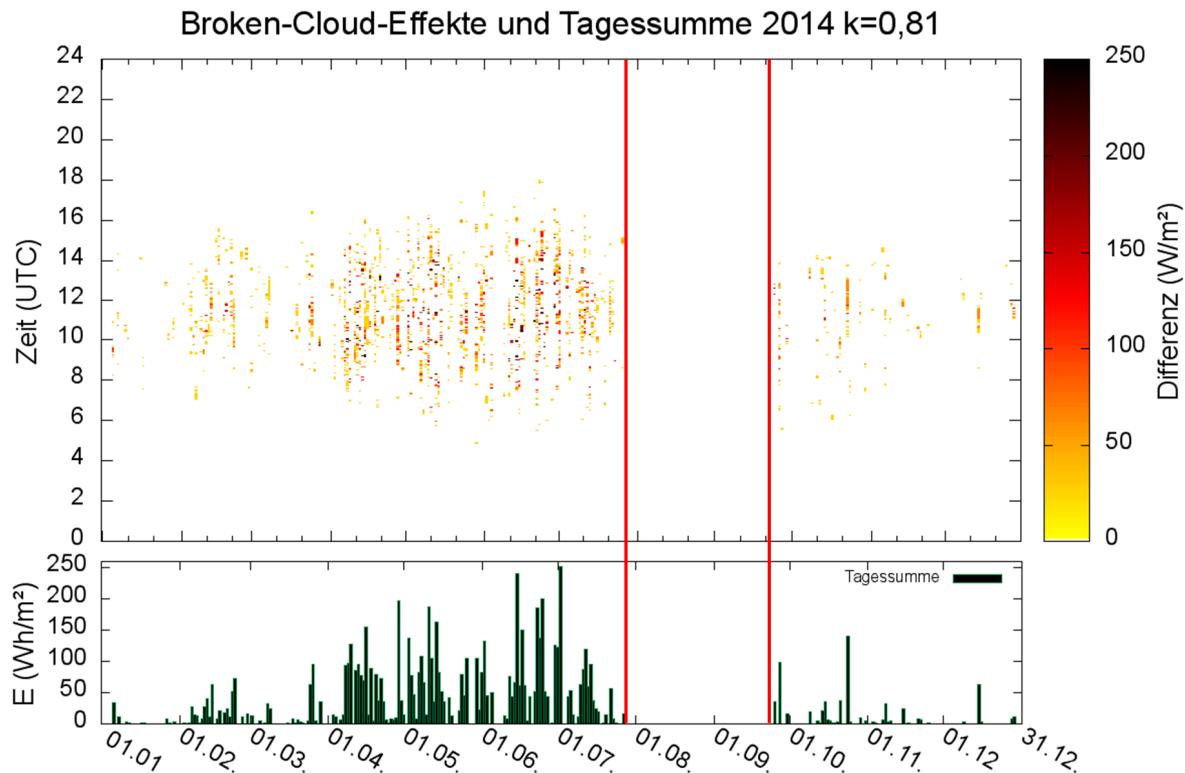


Abbildung 1: Oberes Bild: Broken-Cloud-Effekte über das Jahr 2014 für jeden Tag und jede Uhrzeit, Differenz der Strahlungsflussdichten von gemessener Q_{gem} und astronomisch maximal möglicher Globalstrahlung $Q_{\text{ast},\text{kor}}$, Ausfall der Messungen: 27.07.2014 bis 25.09.2014 (rot markiert); Unteres Bild: Tagessumme der Energie von Broken-Cloud-Effekten.

schlages ausfiel. Auf der x-Achse ist jeder einzelne Tag aufgezeichnet. Die y-Achse zeigt die Tageszeit und die farbigen Punkte stehen für einen Broken-Cloud-Effekt, wobei hier die Differenzen dargestellt sind, welche sich aus folgender Gleichung ergeben:

$$Q_{\text{dif}} = Q_{\text{gem}} - Q_{\text{ast},\text{kor}}. \quad (1)$$

Q_{gem} ist die gemessene Globalstrahlung am LIM. Die Berechnung der maximal möglichen Globalstrahlung $Q_{\text{ast},\text{kor}}$ erfolgt mit der folgenden Gleichung:

$$Q_{\text{ast},\text{kor}} = S_0 * k * \cos(\chi). \quad (2)$$

Dabei ist S_0 die Solarkonstante, χ der Sonnenhöhenwinkel und k der Korrekturfaktor. Die genauere Berechnung von χ ist in Whitman (2007) aufgezeigt.

Das Messintervall beträgt 1 Minute. Nach der Berechnung ergeben sich auch negative Werte für Q_{dif} , jedoch sind diese nicht relevant für den Broken-Cloud-Effekt und werden in der Abbildung 1 nicht dargestellt. Die gelben Farben repräsentieren eine geringe, die roten Farben eine mittelhohe und die schwarzen Farben eine sehr hohe Differenz. Das Maximum von Q_{dif} lag knapp über 400 Wm^{-2} . Da jedoch die Häufigkeit dieser großen Werte gering war, wurde eine

Intervallobergrenze von 250 Wm^{-2} gewählt. Alles was über diesem Wert liegt, ist schwarz gekennzeichnet.

Das untere Bild aus Abbildung 1 zeigt die Tagessummen der Differenzen bei Broken-Cloud-Effekten. Allerdings lassen sich die Strahlungsflussdichten nicht einfach aufsummieren. Dafür müssen diese Werte zuerst in Energie umgerechnet und dann addiert werden. Die Berechnung von der Globalstrahlung Q in die Energie E erfolgt mittels folgender Gleichung:

$$E[\text{Whm}^{-2}] = \sum_{i=1}^n (Q_i[\text{W/m}^{-2}]) * \Delta t_i. \quad (3)$$

E ist die Energie in Whm^{-2} , Q_i ist die Globalstrahlung je Sekunde in Wm^{-2} und Δt_i ist der Zeitbereich. Die Berechnung der Energie für jede Minute erfolgt, indem die Globalstrahlungswerte Q_i für jede Sekunde in der gemessenen Minute gleich bleiben und das Δt_i gleich $1/60 \text{ h}$ ist.

Insgesamt betrachtet traten witterungsbedingt die Broken-Cloud-Effekte besonders häufig im Frühjahr und Sommer auf. Vor allem die Differenzen zeigen zwischen Ende April bis Ende Juli sehr hohe Werte, was an der höheren Globalstrahlung liegt, denn je höher diese ist, desto mehr kann sie an den Wolken gestreut und reflektiert werden. Diese erhöhten Werte spiegeln sich auch in der Energie wider. Im Winter und Herbst nahm die Häufigkeit deutlich ab. Jedoch unterliegt das Auftreten von Broken-Cloud-Effekten vor allem dem Wetter. Deswegen waren die Bedingungen für Strahlungsüberhöhungen im Frühjahr und Sommer sehr gut, im Herbst und Winter hingegen weniger optimal.

Des Weiteren können Broken-Cloud-Effekte, welche durch gut transmittierende, hohe Wolken (Cirrus) verringerte Werte annehmen, nicht analysiert werden. Jedoch sind in Abbildung 1 einzelne Tage dargestellt, wo Strahlungsüberhöhungen scheinbar sehr lange anhalten. Dies liegt an der Berechnung der astronomisch maximal möglichen Globalstrahlung $Q_{\text{ast},\text{kor}}$. Der Korrekturfaktor k wurde so gewählt, dass möglichst viele Broken-Cloud-Effekte zu sehen sind. Jedoch treten einzelne trockene, mit wenig Aerosol belastete sonnige Tage auf, die den hier berechneten Grenzwert von $Q_{\text{ast},\text{kor}}$ übersteigen. Dann entstehen in Abbildung 1 durchgehende Linien, die zum Ausdruck bringen, dass scheinbar ununterbrochen Broken-Cloud-Effekte auftraten.

Einfluss der Modultemperatur

Die Modultemperatur besitzt einen großen Einfluss auf die Leistung einer Photovoltaik-Anlage. Dabei gilt, dass der Wirkungsgrad um bis zu $-0,5 \% \text{K}^{-1}$ fällt (Mertens, 2013; Kaltschmitt u. a., 2013). Dies bedeutet, je höher die Temperatur ist, desto niedriger ist der Wirkungsgrad. Zehner u. a. (2010) haben die Temperatur des Moduls gegen die Globalstrahlung aufgetragen. Das Gleiche wird in diesem Abschnitt für eine Photovoltaik-Anlage gemacht, welche die Modulstrahlung, Leistung und Modultemperatur liefert. Die Modulstrahlung ist die Strahlungsflussdichte, welche an dem meist geneigten Solar-Modulen auftritt. In Abbildung 2 (a) ist die Temperatur am Modul auf der x-Achse und die gemessene Strahlungsflussdichte auf der y-Achse aufgetragen. In schwarze Kreuze gekennzeichnet ist der 02.07.2015, ein sonniger Tag, in graue Punkte

der 09.07.2015, ein wechselhafter Tag. An dem wolkenlosen Tag steigt sowohl die Modul-

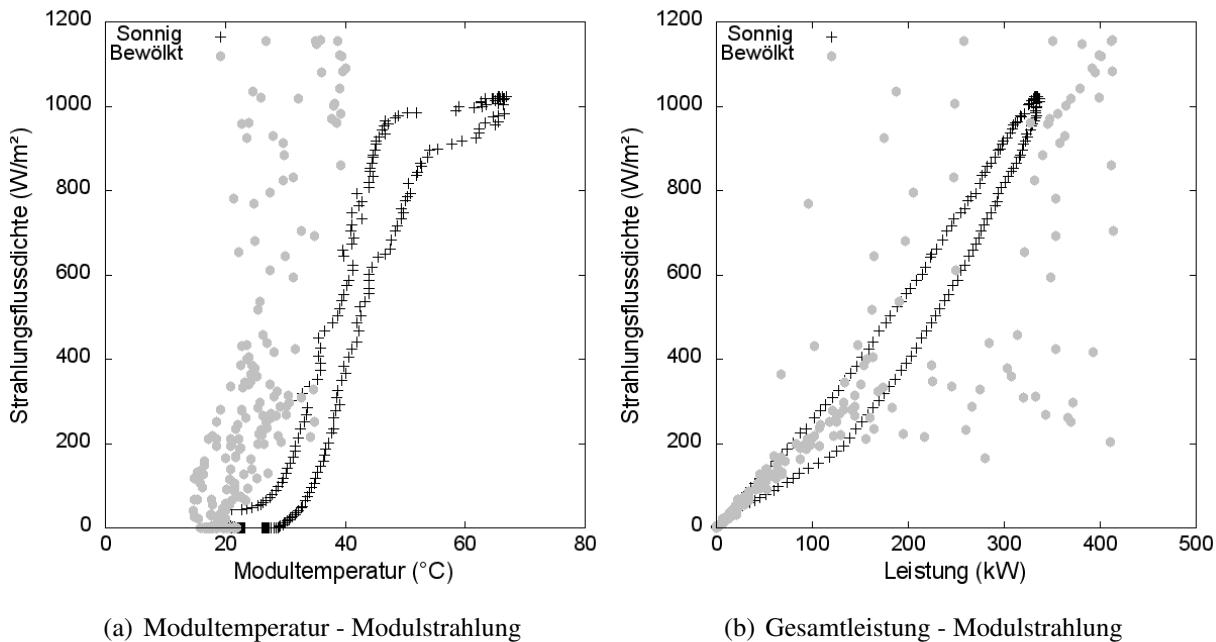


Abbildung 2: Gegenüberstellung von Modultemperatur und Gesamtleistung der Photovoltaik-Anlage in Böhlen mit der Modulstrahlung an einem sonnigen Tag (02.07.2015) und durchbrochen bewölkten Tag (09.07.2015); (a) Modultemperatur - Modulstrahlung; (b) Gesamtleistung - Modulstrahlung.

strahlung als auch die Modultemperatur deutlich an und erreicht mehr als 60°C . Aufgrund der Abkühlung der Solarmodule in der Nacht werden am Vormittag niedrigere Modultemperaturen bei gleicher Modulstrahlung erreicht als am Nachmittag.

Die grauen Punkte zeigen, wie das Bild an einem Tag mit durchbrochener Bewölkung aussieht. In diesem Fall wird kein klarer Verlauf deutlich. Dennoch wird ersichtlich, dass die Modultemperatur ihr Maximum bei circa 40°C erreicht und somit geringer ist als an einem sonnigen Tag. Zusätzlich liegen die Strahlungsflussdichten teilweise höher, was hier auf den Broken-Cloud-Effekt zurückgeführt wird. Es ergibt sich der gleiche Effekt wie bei Zehner u. a. (2010). Dementsprechend müssen an einem Tag mit vielen Broken-Cloud-Effekten höhere Leistungen auftreten als an einem sonnigen Tag. Dies geht aus b) der Abbildung 2 hervor. Hier sind die Darstellungseigenschaften die Gleichen wie im Fall (a). Die Leistung ist auf der x-Achse in kW angegeben und stellt die gesamte Summe der Wechselrichter der Photovoltaik-Anlage dar. Der sonnige Tag (schwarz) zeigt einen klaren Verlauf. Dabei steigt sowohl die Leistung als auch die Modulstrahlung linear an. Der untere Ast der Punktfolke charakterisiert den Vormittag. Dies liegt an der niedrigeren Modultemperatur und dem damit ansteigenden Wirkungsgrad der Solarmodule. An einem bewölkten Tag (grau) zeigen sich deutliche Unterschiede. Die Punkte sind unregelmäßig verteilt. Im Vergleich zu dem sonnigen Tag liegen die Leistungen bei gleicher Modultemperatur höher. Der Grund ist, dass die wechselnde Bewölkung dazu führt, dass sich die Module abkühlen können und somit einen höheren Wirkungsgrad erreichen (verglei-

che Abbildung 2 (a)). Hinzu kommen noch kurzzeitige Strahlungsüberhöhungen durch Broken-Cloud-Effekte, welche zu einer erhöhten Leistung an den Anlagen führen. So treten kurzzeitig Leistungen bis 400 kW auf, die an dem sonnigen Tag überhaupt nicht erreicht werden.

Es bleibt festzuhalten, dass die produzierte Leistung der Photovoltaik-Anlagen an einem bewölkten Tag kleiner ist als an einem sonnigen Tag. Tatsächlich jedoch ist der Leistungsverlust durch die Wolken nicht so groß wie erwartet, denn die Modultemperatur bleibt durch die kurzzeitigen Abkühlungen durch Schattenphasen auf einem niedrigeren Niveau im Vergleich zu einem wolkenlosen Fall.

Inhomogenitätsindex

Wünschenswert wäre eine Information, zum Beispiel aus einer Wetterprognose, die etwas über das Auftreten solcher schnell wechselnden Bewölkung zusammen mit Broken-Cloud-Effekten aussagt. Um die Wahrscheinlichkeit für einen Broken-Cloud-Effekt darzustellen wird ein Inhomogenitätsindex berechnet. Dafür wird das numerische Wettervorhersagemodell WRF genutzt, welches eine Gitterbreite von vier Kilometern aufweist (Skamarock u. a., 2008). Es werden insgesamt 81 Gitterpunkte betrachtet, so dass sich eine Umgebung von 32 x 32 km ergibt. Der Inhomogenitätsindex ergibt sich nun aus den Globalstrahlungsvorhersagewerten der umliegenden Gitterpunkten, mit jeweils einer Globalstrahlungsvorhersage. In Abbildung 3 sind die um

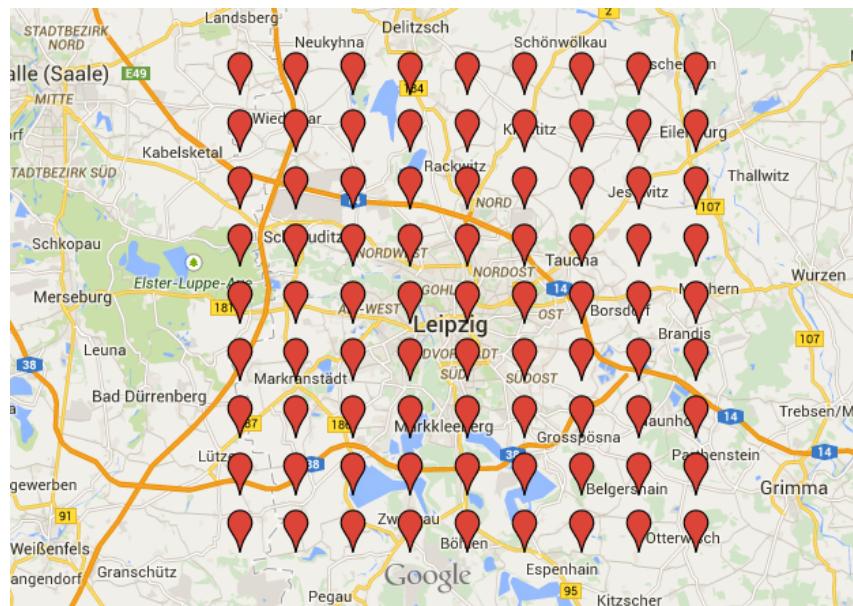


Abbildung 3: 32 x 32 km Gitternetz über Leipzig des WRF-Modells

Leipzig liegenden Gitterpunkten dargestellt.

Zunächst wird von den 81 Gitterpunkten der Mittelwert und die Standardabweichung ermittelt. Wie später gezeigt wird, reicht die Aussagekraft der Standardabweichung nicht aus. Deswegen wurde zusätzlich ein Index entwickelt, der die Brocken-Cloud-Effekte besser beschreiben kann als die Standardabweichung.

Der Inhomogenitätsindex ergibt sich aus der Summe der Absolutwerte der Differenz zwischen den benachbarten Gitterpunkten der Globalstrahlungsvorhersagewerte. Um diesen Index genauer zu beschreiben, ist in Abbildung 4 ein 3×3 Gitterpunkt-Modell dargestellt. Bei dieser

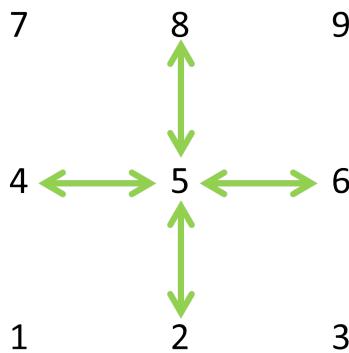


Abbildung 4: Beispiel für die Berechnung des Inhomogenitätindexes anhand eines 3×3 Gitterpunkt-Modells; die grünen Pfeile stellen die jeweilige Berechnungsbeziehung dar.

Rechnung können die Randwerte nicht ermittelt werden. Es wird in Abbildung 4 deutlich, dass es für dieses Beispiel nur einen Inhomogenitätsindexwert gibt, den des fünften Gitterpunktes. Gleichung 5 zeigt die Berechnung dieses Wertes.

$$\begin{aligned} II_5 = & |Q_{rad}(5) - Q_{rad}(2)| + |Q_{rad}(5) - Q_{rad}(4)| \\ & + |Q_{rad}(5) - Q_{rad}(6)| + |Q_{rad}(5) - Q_{rad}(8)| \end{aligned} \quad (5)$$

II_5 ist der Inhomogenitätsindexwert vom fünften Gitterpunkt und $Q_{rad}(i)$ sind die Globalstrahlungsvorhersagewerte vom i-ten Gitterpunkt. Das bedeutet, dass die Summe der Beträge der Differenzen zwischen dem Gitterpunkt i und den benachbarten Gitterpunkten den Inhomogenitätsindex für den Gitterpunkt i ergeben.

In diesem Bericht wird ein 9×9 Gittermodell genutzt. Hierfür wird eine allgemeine Formel zur Berechnung benötigt. Mit der Berücksichtigung der Randwertproblematik ergeben sich aus diesem Fall 49 Inhomogenitätswerte. Diese können mit der allgemeinen Gleichung 6 für das 9×9 Gittermodell berechnet werden.

$$\begin{aligned} II_i = & |Q_{rad}(i) - Q_{rad}(i+1)| + |Q_{rad}(i) - Q_{rad}(i-1)| + \\ & |Q_{rad}(i) - Q_{rad}(i+9)| + |Q_{rad}(i) - Q_{rad}(i-9)| \end{aligned} \quad (6)$$

Aus diesen 49 Werten wird ein Mittelwert gebildet. Daraus ergibt sich der Inhomogenitätsindex für das betrachtete Gitterpunkt-Modell.

Im weiteren Verlauf wird die Wahrscheinlichkeit der Broken-Cloud-Effekte mit Hilfe dieses Indexes quantifiziert. Es ist wichtig zu wissen, dass die Aussagekraft des Wertes von der Qualität der Globalstrahlungsvorhersage abhängig ist.

Unterschied zwischen Inhomogenitätsindex und Standardabweichung

Um die Leistungsprognose für die Photovoltaik-Anlagen zu verbessern, wird dieser Inhomogenitätsindex, welcher die Wahrscheinlichkeit für einen Broken-Cloud-Effekt darstellen soll, für das KNN eingesetzt. Doch warum reicht nicht allein die Standardabweichung? Diese Frage soll anhand zweier Beispiele geklärt werden. Das Problem hierbei ist, dass die Standardabweichung den gesamten Raum betrachtet und nicht direkt die Struktur des Messraumes, was anhand der zwei folgenden Beispiele verdeutlicht werden soll.

Bei dem ersten Ereignis muss die Globalstrahlungsvorhersage stark fluktuieren, wohingegen sie bei dem zweiten Ereignis auf der einen Seite des Gitterpunkt-Modells sehr niedrig und auf der anderen sehr hoch beziehungsweise umgekehrt sein muss. Für das zweite Ereignis bietet sich der Durchzug einer Wolkenfront an.

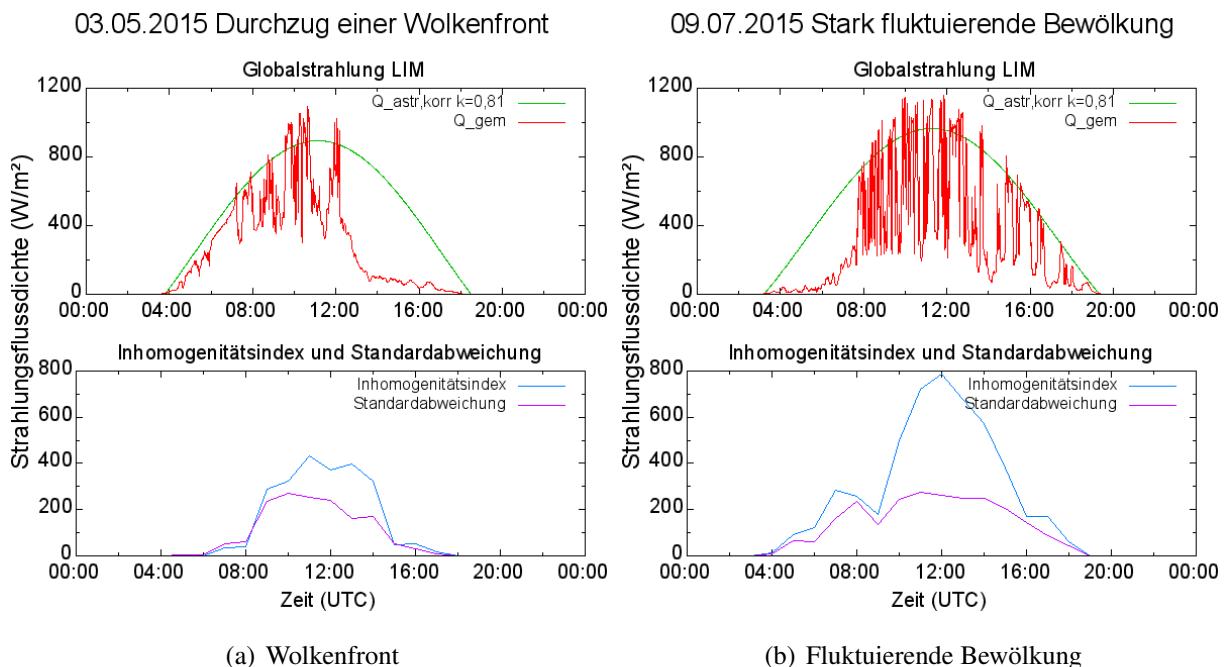


Abbildung 5: Gemessene Globalstrahlung am LIM (rot) und berechnete astronomisch maximal mögliche Globalstrahlung $Q_{ast,kor}$ (grün); prognostisch berechneter Inhomogenitätsindex (blau) sowie die Standardabweichung (violett); (a) 03.05.2015 Durchzug einer Wolkenfront; (b) 09.07.2015 stark fluktuierende Bewölkung.

In Abbildung 5 ist die Globalstrahlungsmessung vom LIM (rot), die berechnete astronomisch maximal mögliche Globalstrahlung $Q_{ast,kor}$ (grün) und der prognostisch berechnete Inhomogenitätsindex (blau) und Standardabweichung (violett) vom 03.05.2015 (links) und 09.07.2015 (rechts) dargestellt. Im Beispiel (a) kam es zu einem Durchzug einer Wolkenfront und im Fall (b) zu einer starken fluktuierenden Bewölkung. Anhand dieser beiden Tage ist gut zu erkennen, dass die Standardabweichung alleine nicht ausreicht, um die Broken-Cloud-Effekte zu klassifizieren, da sie bei beiden Tagen gleich hohe Werte aufweist.

Im Fall (a) fluktuiert die Globalstrahlung am Vormittag und es treten einzelne Broken-Cloud-Effekte auf, welche mit Hilfe der Darstellung von der astronomisch maximal möglichen Globalstrahlung (grün) leicht zu identifizieren sind. An diesem Tag lag ein Tief über den Britischen Inseln und dessen Warmfront zog direkt über Leipzig. Am Nachmittag kam es zum Durchzug dieser Wolkenfront, was gut an der Verringerung der gemessenen Strahlungsflussdichte für diesen Zeitpunkt zu erkennen ist. Danach blieb die Globalstrahlung auf einem niedrigen Niveau. Der Inhomogenitätsindex und die Standardabweichung zeigen in diesem Zeitraum recht hohe Werte an, wobei beide Werte nah beieinander liegen.

Ein anderes Bild zeigt sich am 09.07.2015 (Abbildung 5 (b)). In diesem Fall lag ein Tiefdruckgebiet über Dänemark und dessen Kaltfront zog über Leipzig. Anschließend bildeten sich in der feucht-labilen Luft tiefe Cumuluswolken, welche zu vielen Broken-Cloud-Ereignissen führten. Dies ist gut in Abbildung 5 (b) zu sehen. Die Globalstrahlung (rot) zeigt von 8 bis 18 UTC Schwankungen mit vielen Strahlungsüberhöhungen. Die Standardabweichung zeigt an diesem Tag fast die gleichen Werte wie am 03.05.2015. Der Inhomogenitätsindex schlägt jedoch deutlich weiter aus und erreicht in diesem Fall fast das Doppelte, verglichen zu Fall (a). Anhand dieser zwei Fälle wird ersichtlich, dass der Index eine bessere Klassifizierung für die Broken-Cloud-Effekte ermöglicht als die Standardabweichung.

Um dies noch besser zu zeigen, wurde die Verteilung der prognostizierten Globalstrahlungswerte für das Gitterpunktmodell für einen bestimmten Zeitpunkt beider Tage erstellt. Dies ist in der Abbildung 6 dargestellt. In der linken Bildhälfte ist der 03.05.2015 10 UTC und in der rechten Bildhälfte der 09.07.2015 12 UTC abgebildet. Die Verteilung der Globalstrahlung zeigt,

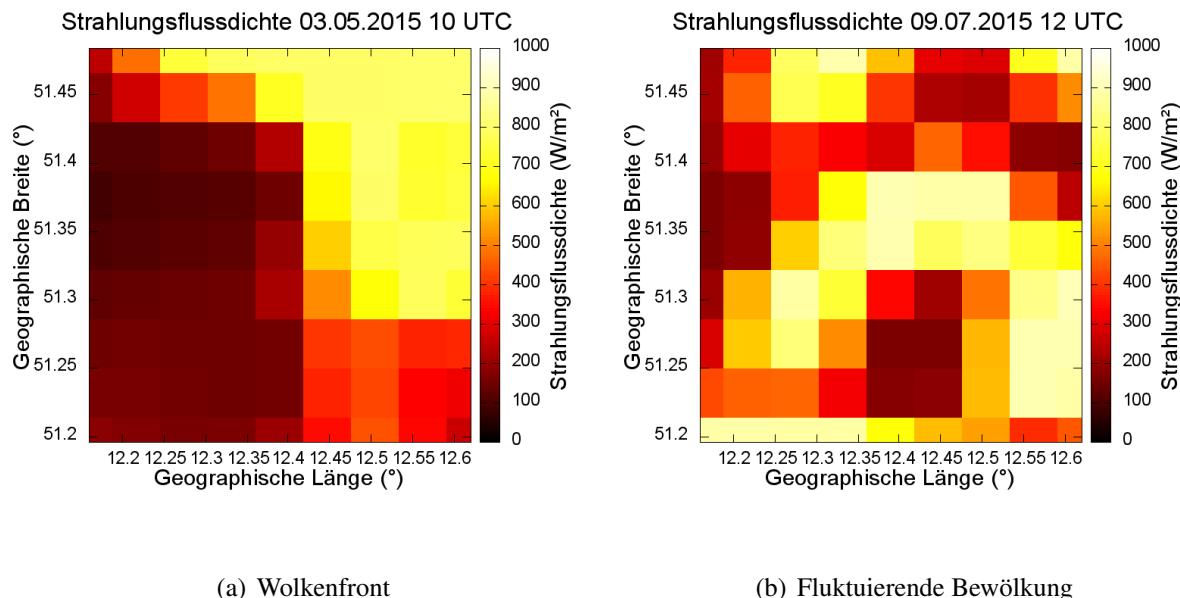


Abbildung 6: Strahlungsflussdichtevorhersageverteilung in dem 9 x 9 Gitterpunkt-Modell des WRF; (a) 03.05.2015 10 UTC Durchzug einer Wolkenfront; (b) 09.07.2015 12 UTC stark fluktuerende Bewölkung.

dass am 03.05.2015 im Südwesten sehr geringe und im Nordosten sehr hohe Strahlungsflussdichten prognostiziert wurden (Abbildung 6 (a)). Dies liegt am Durchzug der Wolkenfront. Am 09.07.2015 12 UTC (Abbildung 6 (b)) sieht die Globalstrahlungsverteilung deutlich anders aus. In diesem Fall liegen die hohen und niedrigen Strahlungsflussdichten weit verteilt über dem gesamten Gitterpunktmodell.

Beim Vergleich der Standardabweichung aus Abbildung 5 (a) und (b) fällt auf, dass Diese am 03.05.2015 10 UTC und am 09.07.2015 12 UTC fast identische Werte aufweisen. Beim Inhomogenitätsindex hingegen wurden am 03.05.2015 10 UTC Strahlungsflussdichten von 400 Wm^{-2} und am 09.07.2015 12 UTC von knapp 800 Wm^{-2} berechnet. Diese Differenz zeigt, dass der Inhomogenitätsindex in der Lage ist, den Broken-Cloud-Effekt besser zu charakterisieren als die Standardabweichung.

Begutachtung des Inhomogenitätsindexes gegenüber der Globalstrahlung am LIM

In diesem Abschnitt wird der Inhomogenitätsindex gegenüber der Globalstrahlung am LIM verglichen. In Abbildung 7 sind die Messwerte vom LIM und die Prognosen des WRF dargestellt. Betrachtet wird der Zeitraum vom 02. bis 09.07.2015. In diesem Zeitbereich erfolgten sowohl

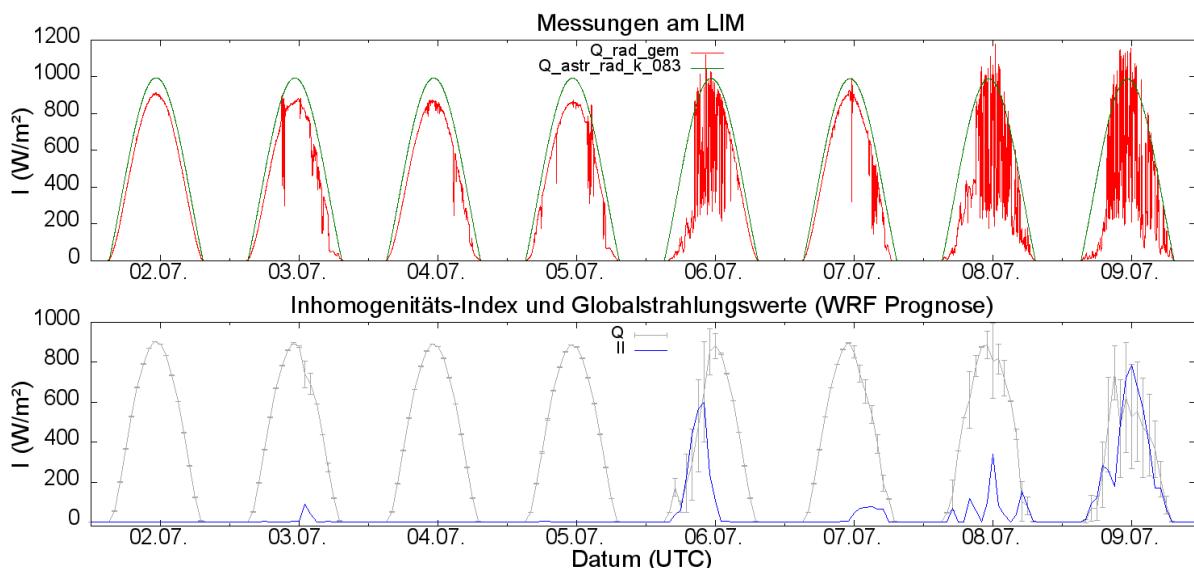


Abbildung 7: obere Ebene: gemessene Globalstrahlung am LIM (rot), astronomisch maximal mögliche Globalstrahlung (grün); untere Ebene: Globalstrahlungsvorhersagewerte mit Standardabweichung als Fehlerbalken (grau), Inhomogenitätsindex (blau)

Broken-Cloud-Effekte als auch sonnige Tage. Die obere Abbildung zeigt die Globalstrahlung am LIM in rot und die astronomisch maximal mögliche Globalstrahlung in grün. Gut erkennbar sind dabei die Tage mit Broken-Cloud-Effekten, wie zum Beispiel am 06., 08. und 09.07.2015. Das untere Bild stellt die Vorhersagewerte da. Dies umfasst zum einen die Globalstrahlungsvorhersage vom Gitterpunkt in Leipzig, welche in grau gekennzeichnet ist. Zusätzlich ist diese

Funktion mit Fehlerbalken ausgestattet, welche die Standardabweichung von den gesamten 81 Globalstrahlungswerten darstellt. In blau gekennzeichnet ist der Inhomogenitätsindex.

An den sonnigen Tagen, dem 02. und 04.07.2015 schien die Sonne fast ungehindert, was gut erkennbar an der gemessenen Globalstrahlungskurve vom LIM zu sehen ist. Die Prognose zeigt sehr hohe Globalstrahlungswerte und der Inhomogenitätsindex liegt um 0 Wm^{-2} .

Der wichtigere Punkt sind die Ereignisse mit Broken-Cloud-Effekt, wie am 09.07.2015. Dabei ergab sich ein sehr hoher Inhomogenitätsindex mit fast 800 Wm^{-2} um 12 UTC. Und die hohen Werte spiegeln den gemessenen Globalstrahlungsverlauf gut wider. Es gibt jedoch auch Tage, wo der Inhomogenitätsindex keine hohen Werte aufweist und dennoch Broken-Cloud-Effekte auftreten, wie zum Beispiel am 08.07.2015. Hierbei muss gesagt werden, dass der Index von der Prognose abhängig ist und zusätzlich nur die Wahrscheinlichkeit darstellt.

Testläufe mit dem neuronalen Netzwerk

Der neue Index kennzeichnet eine gute Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit für einen Broken-Cloud-Effekt, was mittels einzelner Fallstudien zu erkennen war. Aus diesem Grund soll der Inhomogenitätsindex als neuer Parameter im KNN verwendet werden.

Für die Auswertung müssen Daten von einer Photovoltaik-Anlage vorhanden sein. Hierfür wurden die normierten Leistungsdaten von einem Photovoltaik-Park, welcher in der Nähe von Leipzig liegt, genommen. Dabei handelt es sich um einen Datensatz, welcher vom 01.05.2015 bis 22.10.2015 reicht.

Um die Prognose mit dem neuen Inhomogenitätsindex vergleichen zu können, wurden zwei KNN-Testläufe gemacht. Die erste Variante läuft mit dem Index, die zweite Variante ohne. In Abbildung 8 ist der Vergleich zwischen den Simulationen mit Inhomogenitätsindex (rote Linie), ohne Inhomogenitätsindex (blaue Linie) sowie die reale normierte Leistung (graue Linie) dargestellt. Der ausgewählte Zeitraum zeigt den selben Zeitbereich wie in Abbildung 7.

An den komplett sonnigen Tagen (02.07.2015 und 04.07.2015) ergaben sich erste Differenzen zwischen den beiden Prognosen. Die Vorhersage mit Inhomogenitätsindex (rot) zeigt einen besseren Verlauf als die ohne Index (blau). Hierbei handelt es sich um einen sekundären Effekt. Das bedeutet, dass sogar eine Verbesserung der neuen Prognose stattfindet, wenn der Inhomogenitätsindex niedrig ist. Zunächst wurde nur eine bessere Vorhersage bei den Fällen mit Broken-Cloud-Effekten erwartet. Theoretisch ist jedoch das KNN in der Lage, aus den niedrigen Inhomogenitätswerten und hohen Globalstrahlungswerten einen sicheren sonnigen Tag zu prognostizieren, so dass die prognostizierten Leistungen höhere Werte annehmen als ohne den Inhomogenitätsindex. Der Grund dafür liegt darin, dass die lokale Fluktuation ein Indiz für die Wahrscheinlichkeit der Vorhersage ist.

Am 03.07.2015 und 05.07.2015 scheint die neue Vorhersage schlechter gegenüber den Realwerten (graue Linie) abzuschneiden als die alte Vorhersage (blaue Linie). Dennoch zeigte sich der Inhomogenitätsindex an diesen Tagen wieder nahe Null, welcher gut in Abbildung 7 zu

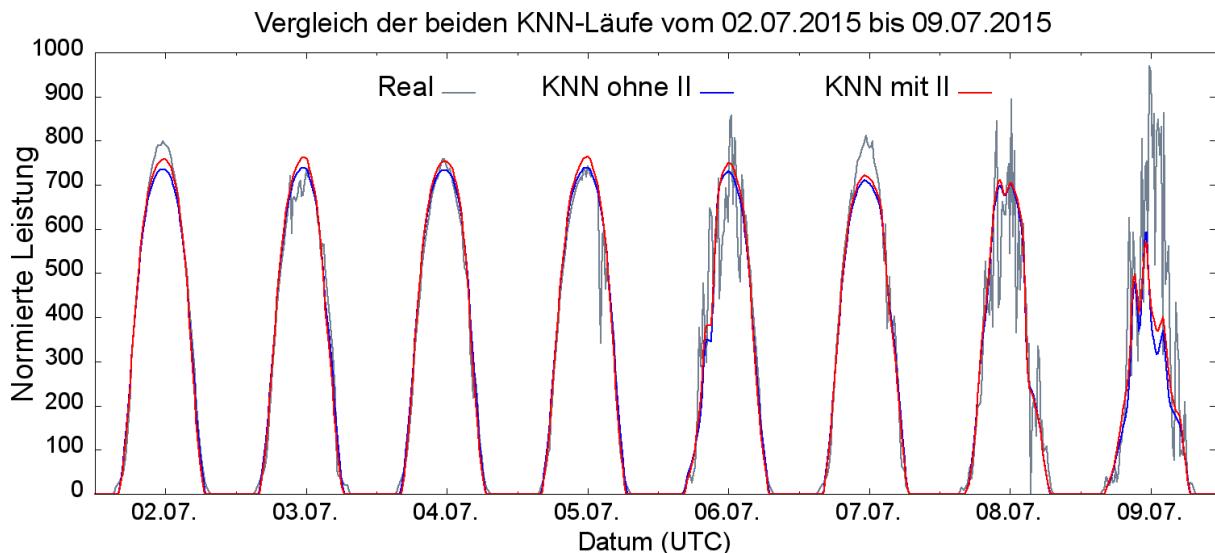


Abbildung 8: Vergleich des KNN mit neuem Parameter (rote Linie) und ohne neuem Parameter (blaue Linie) und der realen Leistung (graue Linie) vom 02.07.2015 bis 09.07.2015

sehen ist. Die neue Prognose stellte einen Verlauf mit höheren Leistungs- als Realwerten dar. Jedoch kam es am 03.07.2015 zur Wolkenbildung, welche in der Vorhersage des WRF-Modells unterschätzt wurde. Aus diesem Grund verläuft die Vorhersage der ersten Variante (mit Inhomogenitätsindex, rote Linie) höher als die der zweiten Variante (blaue Linie) und die Realwerte (graue Linie). Am 05.07.2015 schien bis zum Nachmittag ununterbrochen die Sonne und dennoch ergaben sich keine höheren gemessenen Leistungen, was an der feuchteren Luftmasse liegen kann, welche die Extinktion der Atmosphäre erhöht und für eine Minderung der Globalstrahlung verantwortlich sein kann.

Interessanter wird es am 06.07.2015. An diesem Tag kam es zu einzelnen Broken-Cloud-Effekten, bei denen die Hoffnung besteht, dass die Prognose mit dem neuen Inhomogenitätsindex eine Verbesserung zeigt. Der Inhomogenitätsindex stellt in Abbildung 7 einen starken Anstieg am Vormittag und einen Abfall gegen Nachmittag dar. Zunächst sei gesagt, dass die Prognose für diesen Tag nicht optimal war, da ab dem Mittag keine Wolken vom WRF-Modell vorhergesagt wurden, diese jedoch bis zum Nachmittag präsent waren, wie anhand der Globalstrahlung vom LIM (Abbildung 7) zu sehen ist. Dennoch zeigt sich, dass die Vorhersage mit dem Inhomogenitätsindex (rote Linie) am Vormittag besser abschneidet als die ohne (blaue Linie). Andererseits weist die neue Prognose zum Nachmittag hin teilweise erneut zu hohe Werte auf, was nicht gänzlich falsch aber dennoch nicht vergleichbar ist, da die Vorhersage einen klaren sonnigen Verlauf ab dem Mittag annimmt, die realen Werte (graue Linie) jedoch nicht.

Der 08.07.2015 und 09.07.2015 waren Tage mit durchbrochener Bewölkung. Der Inhomogenitätsindex zeigt vor allem am 09.07.2015 Werte um 800 Wm^{-2} am Mittag (siehe Abbildung 7). Am 08.07.2015 sind auch einzelne Ausschläge zu erkennen, die jedoch maximale Werte von 400 Wm^{-2} aufweisen. Beim Vergleich der beiden Prognosen (rote/blaue Linie in Abbildung 8)

zeigt sich, dass an diesem Tag die Unterschiede zwischen diesen beiden Prognosen nicht groß sind. Die größeren Abweichungen sind am 09.07.2015 besonders am Mittag erkennbar, wenn der Inhomogenitätsindex sehr hoch ist. In diesem Fall ist die WRF-Globalstrahlungsvorhersage sehr gut. Die neue Prognose mit dem KNN (rote Linie) zeigt besonders am Nachmittag deutlich bessere Werte als die alte Prognose (blaue Linie). Lediglich am Vormittag schneidet der KNN-Lauf mit dem neuem Parameter etwas schlechter ab. Insgesamt repräsentiert die neue Vorhersage mit dem Inhomogenitätsindex für diese Beispieldate eine leicht verbesserte Prognose.

Für den gesamten Zeitraum vom 01.05.2015 bis 20.10.2015 erfolgte eine Auswertung zwischen den beiden Prognosen gegenüber den Realwerten. Dabei ergab sich eine rund einprozentige Verbesserung der Vorhersage mit Parameter gegenüber der Vorhersage ohne den Parameter, bezogen auf den ursprünglichen Fehlerwert. Dies ist keine signifikante Verbesserung, dennoch ergibt sich mit Hilfe dieses Inhomogenitätsindexes eine bessere Prognose.

Schlussfolgerung und Ausblick

Die Leistungsprognose von Photovoltaik-Anlagen spielt in Deutschland eine immer wichtigere Rolle. Im Sinne einer Verbesserung dieser Vorhersagen wurde dies in diesem Bericht erreicht, indem der Broken-Cloud-Effekt parametrisiert wurde. Hierzu wurde ein Inhomogenitätsindex entwickelt. Dieser ergibt sich aus der Umgebung der Globalstrahlungsvorhersagewerte. Der Inhomogenitätsindex gibt dabei an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Broken-Cloud-Effekt oder auch nur eine stark wechselhafte Bewölkung auftritt. Mit diesem Index konnte das KNN eine Verbindung zwischen der Vorhersage und dem Index ermitteln. Interessant war der sekundäre Effekt, welcher bei sonnigen Tagen entstand. Insgesamt wurde eine leichte Verbesserung von 1 % relativ gegenüber der Prognose ohne den Inhomogenitätsindex erreicht.

Für den Ausblick könnte eine bessere Modellauflösung zu einem noch besseren Ergebnis führen. Zusätzlich könnte es auch ein positiver Effekt sein, wenn der Trainingszeitraum für das KNN erweitert würde. Andere Varianten, die nicht an eine numerische Wettervorhersage gebunden sind, wie Analysen von Sky-Imagern oder Satellitenbildern (Deneke u. a., 2009), den Broken-Cloud-Effekten oder auch den Einfluss schnell wechselnder Bewölkung zu prognostizieren, sind für die Kürzestfristprognose (15 oder 30 Minuten) denkbar.

Literatur

- [BP 2015] BP: *BP statistical review of world energy June 2015.* <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>. Version: 2015
- [Deneke u. a. 2009] DENEKE, H. M. ; KNAP, W. H. ; SIMMER, C.: Multiresolution analysis of the temporal variance and correlation of transmittance and reflectance of an atmospheric column. In: *Journal of Geophysical Research* (2009), S. D17206. <http://dx.doi.org/10.1029/2008JD011680>. – DOI 10.1029/2008JD011680
- [EEG 2014] EEG, Bundesministerium für Wirtschaft und E.: *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2014).* http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2014/gesamt.pdf. Version: 2014
- [Göhler 2015] GÖHLER, R.: *Darstellung und Einfluss von durchbrochener Bewölkung auf den Ertrag von Photovoltaik-Anlagen und dessen Prognose*, University of Leipzig, Masterarbeit, 2015
- [Kaltschmitt u. a. 2013] KALTSCHMITT, M. ; STREICHER, W. ; WIESE, A.: *Erneuerbare Energie -Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*. Springer Vieweg Berlin Heidelberg, 2013
- [Mertens 2013] MERTENS, K.: *Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologien und Praxis*. Carl Hander Verlag München, 2013
- [Patterson 1996] PATTERSON, D.: *Künstliche neuronale Netze - Das Lehrbuch*. Prentice Hall Verlag, 1996. – ISBN 3827295319
- [Rojas 1996] ROJAS, R.: *Neural Networks - A Systematic Introduction*. Springer Verlag, 1996 http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-ki/rojas_home/documents/1996/NeuralNetworks/neuron.pdf
- [Skamarock u. a. 2008] SKAMAROCK, W. C. ; KLEMP, J. B. ; DUDHIA, J. ; GILL, D. O. ; BARKER, D. M. ; G., Duda M. ; X.-Y., Huang ; W., Wang ; G., Powers J.: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. In: *NCAR/TN-475+STR* (2008), S. 113 pp.
- [Whitman 2007] WHITMAN, A. M.: A Simple Expression of the Equation of Time. In: *Journal Of the North American Sundial Society* 14 (2007), S. 29–33
- [Zehner u. a. 2010] ZEHNER, M. ; WEIGL, T. ; WEIZENBECK, J. ; MAYER, B. ; WIRTH, G. ; PROCHASKA, H. ; GEISLER, B. ; GOTTSCHALG, R. ; BECKER, G. ; MAYER, O.: *Systematische Untersuchung und Auswertung meteorologischer Einstrahlungsereignisse*. Hochschule München, 2010

Curt Weikinn (1888–1966) – ein Leben für die Erforschung der Witterungsgeschichte Europas.

Börngen, Michael[†]), Deutsch, Mathias*)

[†]) K.-Tauchnitz-Str. 15/096, 04107 Leipzig, E-Mail: michael-boerngen@t-online.de

*) Wachsenburgweg 18, 99094 Erfurt, E-Mail: amdeutsch@arcor.de

Zusammenfassung: Anlässlich des 50. Todestages von Curt Weikinn (1888–1966) werden sein Leben und sein wissenschaftliches Werk kurz geschildert. Weikinn ist vor allem durch seine „Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850“ bekannt. Die zu seinen Lebzeiten nur teilweise publizierte Sammlung wird seit einigen Jahren schrittweise der Öffentlichkeit zugängig gemacht. Wichtige Arbeiten hierzu wurden mit finanzieller Unterstützung der DFG im Institut für Meteorologie der Universität Leipzig durchgeführt.

Summary: On the occasion of the 50th anniversary of the death of Curt Weikinn (1888–1966) his life and scientific work are briefly described. Weikinn is above all known for his „Source Texts to Europe’s Weather History of the Christian Era until 1850“. The in his lifetime only partially published collection is made accessible gradually the public for several years. For this important work was carried out with financial support from the DFG in the Institute for Meteorology, University Leipzig.

1. Einführung

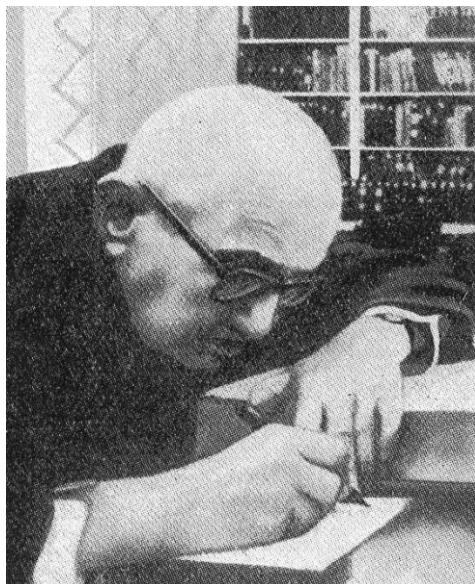
Über Curt Weikinns Leben ist nach wie vor recht wenig bekannt. Eine wichtige Quelle stellt der zwei Jahre nach seinem Tod erschienene Nachruf von Wilfried Schröder (1941–2011; Schröder 1968) dar. In den letzten Jahren versuchten beide Autoren, weitere Angaben zu Weikinns privaten und beruflichen Leben zu ermitteln - mit wechselndem Erfolg. Während sich beispielsweise das zuständige Berliner Standesamt oder das Archiv der Humboldt-Universität zu Berlin wenig auskunftsfreudig zeigten, wurden den Verfassern u. a. vom Landeskirchlichen Archiv in Berlin sowie der dortigen Andreasschule zahlreiche neue Informationen über Curt Weikinn zur Verfügung gestellt. Sein im Dezember 2016 anstehender 50. Todestag gibt Anlass, den inzwischen erreichten Kenntnisstand wiederzugeben sowie über die jüngsten Bemühungen zur Aufbereitung der Weikinn’schen Datensammlung zu berichten.

2. Zum Leben und Werk Curt Weikinns

Eduard Fritz Curt Weikinn (Abb. 1) wurde am 2. Mai 1888 in Berlin geboren und am 18. Juli in der Sankt Marcus Kirche getauft. Sein Vater war der Postbeamte August Eduard Weikinn; seine Mutter Martha Weikinn geb. Spiegelberg. Die Familie wohnte zu der Zeit in der Rüdersdorfer Str. 57. Die in den alten Berliner Adressbüchern von 1888 bis 1943 aufgeführten Personen mit dem Namen Weikinn gehörten vermutlich alle zu einer Familie. Zunächst, im Jahr 1888, findet sich in den Einträgen nur der

Post-Assistent Eduard Weikinn, der später zum Postsekretär und kurz vor dem Ruhestand sogar zum Ober-Postsekretär befördert worden ist. Er verstarb etwa um 1938, denn als Haushaltsvorstand taucht nun bis 1942 die Witwe Martha Weikinn auf. Bruno (Polizei-Hauptmann) und Willi Weikinn (1891-1944, Bankvorsteher) dürften vermutlich Curt Weikinns Brüder gewesen sein.

Dem eingangs erwähnten Nachruf von Schröder ist zu entnehmen, dass Weikinn nach der Grundschule das Andreas-Realgymnasium in Berlin-Friedrichshain besuchte. Dort wurde für den Schüler Curt Weikinn am 20. September 1904 ein „Zeugnis für die wissenschaftliche Befähigung für den einjährig-freiwilligen Dienst“ ausgestellt. Im einzelnen sind darin ausgewiesen: Schulbesuch und Betragen *gut*, Aufmerksamkeit und Fleiß *genügend*, Maß der erreichten Kenntnisse *Er hat die Unter-Sekunda mit Erfolg besucht*. Das damalige Wehrpflichtgesetz gestattete jungen Männern, die eine höhere wissenschaftliche Bildung erworben hatten, sich selbst ausrüsten und verpflegen jedoch nicht Berufssoldat werden wollten, eine kürzere aktive Dienstzeit als allgemein üblich. Voraussetzung waren das vollendete 17. Lebensjahr und der Abschluss der Obersekunda. Aus den Unterlagen geht leider nicht hervor, ob Weikinn tatsächlich einen Dienst als Einjährig-Freiwilliger absolvierte. Nach Schröder hat er das Abitur abgelegt und danach an der Berliner Universität bei Gustav Hellmann (1854–1939) meteorologische Vorlesungen gehört. Möglicherweise tat er dies als Gasthörer neben einer Banklehre. Im Adressbuch von 1910 wird der nun 22-jährige Curt Weikinn erstmals erwähnt, und zwar bereits als Bankbeamter.



*Abb. 1. Curt Weikinn (1888–1966)
(aus Schröder 1968, S. 195)*

Weikinn wohnte wohl zumeist im Berliner Stadtbezirk Friedrichshain; zuerst in der Eldenaer Str. 27 und seit mindestens 1921 in der nicht weit davon entfernten Warschauer Str. 67 (Abb. 2). Die Ehe ging Weikinn mit Helene Bergmann (1901-1957) ein. Sie war 19 Jahre jünger, starb aber bereits neun Jahre vor ihrem Mann.

Seit 1921 gehörte Weikinn der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft bzw. später der Meteorologischen Gesellschaft in der DDR als Mitglied an. Man kann davon ausgehen, dass Weikinn dadurch Kontakte zu einer Reihe von Meteorologen hatte.

Zu den vielen, bislang unbekannten Details in Weikinns Biographie gehört die Frage, bei welcher Bank er arbeitete. Es könnte u. U. die Disconto-Gesellschaft gewesen sein, da er die nur einseitig bedruckten Preislisten dieses Geldinstituts für seine Notizen verwendet hat. Die Disconto-Gesellschaft war ein sehr bedeutendes Kreditinstitut, das mit der Deutschen Bank im Wettbewerb stand. 1929 fusionierten beide Institute. Verlor Curt Weikinn vielleicht aus diesem Grund (trotz Beamtenstatus) seinen Arbeitsplatz? Jedenfalls hat er sich im gleichen Jahr, am 28. September 1929, um eine Anstellung im Preußischen Meteorologischen Institut bemüht. Das Gesuch wurde jedoch aufgrund fehlender Stellen abgelehnt. Es ist anzunehmen, dass auch Weikinn von der Weltwirtschaftskrise 1929/32 schwer betroffen war. Ob das seinen frühen Eintritt in die NSDAP am 1. Febr. 1931 (Mitglied-Nr. 452434) beeinflusste, muss offen bleiben. Über politische Ämter oder besondere Aktivitäten in der NSDAP ist übrigens nichts bekannt.



Abb. 2. Curt Weikinn wohnte mehr als vier Jahrzehnte lang in der Warschauer Str. 67 (Haus in Rosa) in Berlin-Friedrichshain (Aufnahme K. T. Rost, 2008)

Nach Datumsvermerken auf der von Weikinn angelegten Literaturkartei hat er in der wirtschaftlich schwierigen Zeit um 1930 mit seiner Sammlung von Berichten über historische Witterungereignisse begonnen. Damals lagen schon erste größere Zusammenstellungen über verschiedene Naturereignisse vor, wovon insbesondere der Katalog bemerkenswerter Witterungereignisse von Richard Hennig (1874–1951) aus dem Jahr 1904 zu erwähnen ist (Hennig 1904). Allerdings schreibt Weikinn (1958, S. V), dass die Aufrufe zweier großer Tagungen den Anstoß für seine Sammlung gaben. Im September 1905 wurde auf der Internationalen Meteorologischen Direktorenkonferenz in Innsbruck die Forderung erhoben, schriftliche Überlieferungen verschiedener Länder systematisch nach Beschreibungen anomaler Naturerscheinungen (wie z. B. Überschwemmungen, Dürren oder strengen Wintern) durchzusehen und diese Nachrichten in Sammlungen zusammenzufassen. Ein Jahr später, 1906, wurde der Appell in Wien auf der Hauptversammlung des Gesamtvereins der deutschen Geschichts- und Altertumsvereine nochmals bekräftigt und die Einsetzung eines Ausschusses zur Vorbereitung der Organisation einer solchen Sammlung beschlossen. Dem Ausschuss gehörte auch Eduard Brückner (1862–1927), Verfasser des bedeutenden Werkes über Klima-

schwankungen seit 1700 (Brückner 1890), an. Ein Ergebnis der Bemühungen des Gesamtvereins war die von Jakob Weiss erarbeitete Sammlung von Elementarereignissen im Gebiete Deutschlands vom Beginn unserer Zeitrechnung bis zum Jahre 900 (Weiss 1914). Vergleichbare Arbeiten scheinen danach vorerst nicht entstanden zu sein. Der Erste Weltkrieg und die schwierige Nachkriegszeit, aber auch das angesichts der sich entwickelnden Luftfahrt wachsende Interesse an der dynamischen Meteorologie mögen dabei eine Rolle gespielt haben. Vielleicht erklärt das ein wenig, dass es im Grunde genommen ein Seiteneinsteiger, nämlich Curt Weikinn war, der das 25 Jahre zuvor ins Auge gefasste Vorhaben nun konsequent weiter verfolgte.

„Es wurden von mir“, schrieb Weikinn 1958 im Vorwort des ersten Bandes seiner Quellentexte, „in der Vorkriegszeit die alten Quellen systematisch nach brauchbaren Material durch gesehen. [Absatz] In der Zeit nach dem Zusammenbruch [Mai 1945] stießen diese Arbeiten auf größere Schwierigkeiten, da viele der in Frage kommenden Werke der ehemaligen ‚preußischen Staatsbibliothek‘ durch Kriegseinwirkungen verlorengegangen sind“. Bei nochmaliger Recherche hat Weikinn nun oft die Berliner Universitätsbibliothek genutzt oder sich die Werke per Fernleihe von Bibliotheken außerhalb Berlins, vor allem aus Marburg, schicken lassen. Mitunter gab es kein weiteres Exemplar, so dass er auf eine Auswertung ganz verzichten musste.

Weikinn hat alle gefundenen Witterungstexte mit Zeit-, Orts- und Quellenangabe nach einem bestimmten Schema zunächst auf kleine Zettel (Abb. 3) geschrieben und diese chronologisch geordnet. Von den Zetteln, die heute im Leibniz-Institut für Länderkunde Leipzig verwahrt werden, gibt es schätzungsweise rund 100.000 Stück.

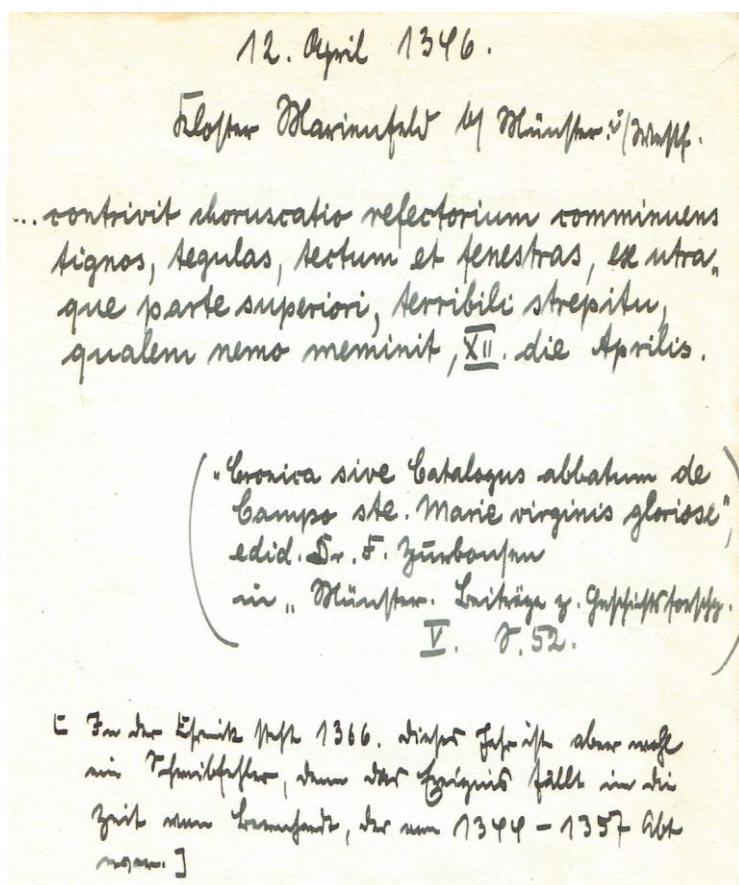


Abb. 3. Beispiel eines Weikinn-Zettels (etwa 10 cm breit und 15 cm hoch) aus dem meteorologischen Sammlungs- teil.

Die älteren Texte weisen oft fragliche Datierungen auf, worauf Weikinn mehrfach hinweist (siehe Anmerkung in eckiger Klammer)

Es ist zu vermuten, dass auch Weikinns Wohnung während des Zweiten Weltkriegs in Mitleidenschaft gezogen wurde, da man auf etlichen Literaturzetteln die Aufschrift „Verbrannter Materialauszug erneuert“ oder ähnlich lautende Vermerke findet. Überhaupt sind die Literaturzettel sehr aufschlussreich: Neben dem Titel beinhalten sie meistens die benutzte Bibliothek einschließlich Informationen zur dortigen Signatur, dem Monat der Einsichtnahme sowie gelegentlich Angaben zum Autor. Nicht wenige Literaturzettel tragen den Vermerk „nichts enthalten“. Das heißt, Weikinn hat offensichtlich viel mehr Bücher eingesehen als die ohnehin ausführlichen Quellenverzeichnisse seiner Publikationen zum Ausdruck bringen.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde Weikinn außerordentlich von Hans Ertel (1904–1971) unterstützt. Er gab Weikinn nicht nur die Möglichkeit zur wissenschaftlichen Arbeit, sondern ließ auch die Drucklegung großzügig fördern. Ertel war Direktor des ehemaligen Instituts für Physikalische Hydrographie der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und zeitweise Vizepräsident der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Spätestens seit November 1950 scheint Weikinn im Auftrag Ertels gearbeitet zu haben, wie aus einem Antrag für ein Stipendium für Weikinn hervorgeht. Darin schreibt Ertel u. a., dass die Weikinnsammlung „das beste Material dieser Art darstellen, das in ganz Deutschland, wahrscheinlich sogar in Europa vorhanden ist.“ (BBAW1). Ob Weikinn das beantragte Stipendium erhalten hat, geht aus den Unterlagen allerdings nicht hervor. Aus anderen Schriftstücken wissen wir aber, dass er zumindest ab 1952 durch die Anstellung als wissenschaftliche Hilfskraft finanziell abgesichert war: Immerhin betrug die Bruttovergütung 875 Mark. Seinen Arbeitsplatz hatte Weikinn zeitweise im Akademiegebäude in der Otto-Nuschke-Str. 22/23 (heute Jägerstraße).

Bezüglich der Veröffentlichung der Weikinn'schen Quellentexte hatte man sich auf zwei Bände geeinigt: einen Band Hydrologie (= Band I) und einen Band Meteorologie (= Band II), wobei beide Bände aus mehreren Teilen bestehen sollten. Aus Sicht vieler Nutzer ist diese Unterteilung unglücklich gewählt; statt „Band“ wäre wohl die Bezeichnung „Abteilung“ und deren Untergliederung in „Bände“ besser gewesen. Dass zuerst die Quellentexte zu hydrographischen Erscheinungen, wie z. B. Sturmfluten und Überschwemmungen, und nicht, was eigentlich näher gelegen hätte, die meteorologischen Beobachtungen zur Veröffentlichung gebracht wurden, ist sicher aus der Anbindung Weikinns an das damalige Institut für Physikalische Hydrographie zu erklären.

Im Jahre 1958, Curt Weikinn war 70 Jahr alt, erschien im Akademie-Verlag Berlin der erste Teilband der Weikinn'schen Quellensammlung mit einer Auflagenhöhe von 500 Exemplaren. Die Aufnahme in der internationalen Fachpresse fiel überwiegend positiv aus. So lobte der bekannte Klimatologe Karl Knoch (1883–1972) in einer ausführlichen Rezension „den großen Eifer und den Willen der Exaktheit, mit dem der Verfasser sich in das Aufspüren der Quellen und ihr Studium versenkt hat, eine Arbeit, die nur mit einer gewissen Verbissenheit bewältigt werden kann“ (Knoch 1959). Knoch drückte zugleich seine Hoffnung aus, dass man in absehbarer Zeit auch die Folgebände der Öffentlichkeit übergeben möge. Das war zunächst der Fall. Im Abstand von ein bis zwei Jahren erschienen drei weitere Bände (Weikinn 1960, 1961, 1963).

Im dreiseitigen Vorwort zum ersten Band erwähnt Weikinn u. a. den 1906 publizierten Aufsatz „Historisch-geographische Probleme“ des österreichischen Historikers und Archivars Oswald Redlich (1858-1944). Schaut man in diese Arbeit, die eindringlich die Zusammenarbeit von Meteorologen und Historikern einfordert (Börngen, Deutsch 2011), zeigt sich, dass Weikinn in seinem Vorwort stark dieser Publikation folgt, bis hin zu Redlichs Kritik an Hennigs Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse. Diese Veröffentlichung wird von Weikinn zu einem Großteil – sicher zu Unrecht – als wertlos eingeschätzt, da Hennig „in den meisten Fällen nicht auf die Quellen zurückgeht, sondern Kompilationen benutzt, und auch sonst viele Fehler enthält“ (Weikinn, 1958, S. VI).

Wie Schröder in seinem Nachruf schreibt, musste sich Weikinn beim Aufbau der Quellensammlung „der verfeinerten Methoden der Historiographie bedienen, sich strengste Selbstzucht auferlegen, in sorgfältiger Arbeit an Akten und Urkunden und in Ehrfurcht vor den Tatsachen stets die Zuverlässigkeit der Quellen zu erkennen suchen. Obwohl die Geschichtswissenschaft vorzügliche Bibliographien anbietet, mußte der Verstorbe ne weitgehend nach zahlreichen, wenig bekannten Stadtchroniken, Briefen, Urkunden usw. suchen. In welch vorbildlicher Weise er diese Schwierigkeiten zu meistern ver stand, zeigen die Quellenregister zu seinem Werk, die ebenso vorbildlich, wie auch exakt dargeboten sind“ (Schröder 1968, S. 196).

Anzumerken ist, dass Weikinn die Arbeiten nicht gänzlich allein bewältigte. Dazu stellte er fest: „Durch der Übertragung des Manuskripts auf die Maschine und bei der Ausfertigung des Quellenverzeichnisses sowie des geographischen Index hat Fräulein Fr. Benike sorgfältige und dankenswerte Mitarbeit geleistet“ (Weikinn 1958, S. VII). Wie der Personalakte von Frida Benike (geb. 1904; BBAW2) zu entnehmen ist, war sie viele Jahr fast ausschließlich für Curt Weikinn bzw. für die Bearbeitung der Quellen texte zuständig. Die Zusammenarbeit endete im Frühjahr 1961 mit dem Eintritt Benikes in die Rente. Da sie Westberlinerin war (wohnhaft in Berlin-Zehlendorf), hätte die Kooperation Weikinn-Benike ohnehin wenige Wochen später mit dem Mauerbau am 13. August 1961 ein abruptes Ende gefunden. Ob man Weikinn einen gleichwertige Mitarbeiterin für die ausgeschiedene Frida Benike zuordnete, bleibt fraglich. Der 1963 erschienene Band war sicher schon weitgehend vorbereitet.

Von Weikinn sind außer den vier Bänden seiner Quellentexte Mitte der 60er Jahre einige kleine Arbeiten zu speziellen historischen hydrologischen oder meteorologischen Themen in den „Acta Hydrophysica“, der Hauszeitschrift des Instituts für physikalische Hydrographie, erschienen. Darin beschäftigt sich Weikinn mit Dürrejahren im Zeitraum von 1500 bis 1850 in den Flussgebieten der DDR, mit der Hochwasserhäufigkeit im östlichen Erzgebirge in Weiterführung einer kurz zuvor (1966) publizierten Zusammenstellung von Siegfried Marx sowie mit Hagelfällen zwischen 1100 und 1400 (Weikinn, 1965/66a, b, 1966/67a, b).

Am 27. Dezember 1966 erlag Curt Weikinn den Folgen einer akuten Lungenentzündung. Seine letzte Ruhe fand er wenig später neben seiner Frau Helene auf dem St.-

Petri-Friedhof in Berlin-Friedrichshain. Obwohl die Grabstelle bereits 1992 abgelaufen ist, hat man sie bislang nicht beräumt (Abb. 4). Laut einem persönlichen Gespräch in der Friedhofsverwaltung im Sommer 2012 sei dies „in absehbarer Zeit“ auch nicht geplant.



Abb. 4. Grabstein für Curt Weikinn und seine Ehefrau Helene geb. Bergmann auf dem St.-Petri-Friedhof in Berlin-Friedrichshain (Aufnahme M. Deutsch, Juli 2012)

3. Aktivitäten nach Weikinns Tod zur Inwertsetzung seiner Quellensammlung

Die vollständige Publikation seiner hydrographischen oder gar der meteorologischen Quellentextsammlung konnte Curt Weikinn nicht mehr erleben. Die bereits weitestgehend fertig gestellten Manuskripte für die Bände 5 und 6, in denen er die Quellentexte der Zeiträume 1751 bis 1800 bzw. 1801 bis 1850 bearbeitet hatte, blieben vorerst ungedruckt. Anfang der 1970-er Jahre erklärte sich der Meteorologische Dienst der DDR bereit, die Finanzierung zu übernehmen. Das Vorhaben kam jedoch nicht zur Ausführung. Über die Gründe kann man nur spekulieren, Geld- und/oder Papiermangel könnten eine Rolle gespielt haben. Problematisch war auch die Verwendung geographischer Bezeichnungen aus der Zeit vor 1945. Das wurde, zumal wenn es sich um ein Fachbuch handelte, zunächst toleriert. Ab Ende der 1960er Jahre war jedoch selbst das Wort „Deutschland“ (außer in Verbindung mit „Neues“) suspekt; so sucht man dieses Stichwort im 18bändigen „Meyers Neuem Lexikon“ aus den 1970er Jahren (1972 bis 1978) vergebens! Vor diesem ideologischen Hintergrund wäre also eine gründliche Überarbeitung der Ortsnamen notwendig gewesen, wovor man möglicherweise zürkschreckte.

Vermutlich gegen Ende der 1970er Jahre gelangten die Manuskripte sowie die gesamte Zettelsammlung in das Archiv des Instituts für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR in Leipzig, aus dem schließlich 1992 das Leibniz-Institut für Länderkunde hervorging.

Mitte der 1990er Jahre konnte, nicht zuletzt durch die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), die Edition der Weikinn-Sammlung fortgeführt werden. Zunächst wurden durch Michael Börngen und Gerd Tetzlaff (damals beide Institut für Meteorologie der Universität Leipzig) die Manuskripte für die Bände 5 (Weikinn 2000) und 6 (Weikinn 2002) bearbeitet und beim Borntraeger-Verlag herausgegeben (Abb. 5). Bei dieser Edition wurde auf eine Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit geachtet, was vor allem durch die Einführung einer laufenden Nummerierung geschah.



Abb. 5. Titelblätter der von M. Börngen und G. Tetzlaff bearbeiteten und 2000 sowie 2002 beim Borntraeger-Verlag herausgegebenen Bände 5 bzw. 6 der Weikinn'schen Quellentexte

Die bisher veröffentlichten sechs hydrographischen Teilbände enthalten über 23.000 Einträge, für die ungefähr 2.500 Quellen herangezogen wurden. Sie beschreiben im Wesentlichen drei Ereignisformen: Sturmfluten an der Nord- und Ostseeküste, Eisverhältnisse an den Binnengewässern sowie an der Nord- und Ostsee und abnorme Wasserstände (Niedrigwasser oder Hochwasser bzw. Überschwemmungen). Die letzte Gruppe ist zahlenmäßig die größte, von der Beschreibung her sind die der Sturmfluten am ausführlichsten. Vielfach wird auf die meteorologischen Ursachen der hydrogra-

phischen Ereignisse kurz hingewiesen, also auf die Wind-, die Temperatur- und die Niederschlagsverhältnisse. Naturgemäß ist eine Zunahme der Meldungen zur Gegenwart hin zu beobachten, wobei allerdings dieser Anstieg im 17. Jahrhundert infolge des Dreißigjährigen Krieges nicht so ausgeprägt ist. Diesem allgemeinen Verlauf der Mel dungsdichte sind kurzfristige Schwankungen überlagert. Die Peaks lassen sich mit dem Auftreten ungewöhnlicher hydro-meteorologischer Erscheinungen korrelieren, welche im Allgemeinen die schriftstellerische Aktivität befördern. Zu nennen sind beispielsweise die Hochwasserjahre von 1784 und 1799, für die sich in der Zettelsammlung überdurchschnittlich viele Berichte finden. Räumlich liegt der Schwerpunkt der von Curt Weikinn erfassten Meldungen auf dem deutschsprachigen Raum (einschließlich der ehemals deutschen Staatsgebiete) sowie auf Frankreich. Überdurchschnittlich viele Meldungen kommen aus dem mitteldeutschen Raum.

Kritisch muss angemerkt werden, dass zahlreiche Texte der Weikinn'schen Sammlung aus Druckwerken stammen, die mitunter erst Jahre oder sogar Jahrzehnte nach den jeweiligen Ereignissen erschienen. Auch Weikinn war sich dessen bewusst, worauf Anmerkungen auf den Zetteln hindeuten (vgl. Abb. 3), dass derartige Einträge problematisch sind, da die Gefahr falscher Jahreszahlen, ungenauer Schadensdaten usw. hoch ist. Eine somit an sich wünschenswerte durchgehende Quellenkritik verbot sich jedoch angesichts der begrenzten Projektlaufzeit.

Im März 2006 begannen – wieder im Rahmen von DFG-Projekten, aber nun unter dem Dach der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig – die bis heute noch nicht abgeschlossenen Arbeiten zur Erfassung der meteorologischen Texte der Weikinn-Sammlung. Der zur Zeit in Bearbeitung befindliche „Band Meteorologie“ enthält schätzungsweise rund 80.000 Einträge, die vor allem über die Wetter- und Klimaelemente Temperatur und Niederschlag informieren. Es ist zu hoffen, dass in absehbarer Zeit auch diese Quellentexte gedruckt vorliegen. Bisher erhobene Daten fanden bzw. finden Eingang in das Projekt *Tambora*, eine virtuelle Forschungsumgebung für die Historische Klimatologie (www.tambora.org; Steller 2011, Riemann et al. 2016).

Im Laufe der letzten Jahre hat man die Weikinn-Daten, vor allem die aus der hydrographischen Abteilung, wozu selbst die frühe Schilderung eines Tsumanis gehört (Börngen 2007), für zahlreiche, vielfach in reviewten Zeitschriften veröffentlichte Arbeiten genutzt. Dabei wurden zum einen die Hochwassereignisse einzelner oder mehrere europäischer Flüsse im Verlauf mehrerer Jahrhunderte analysiert (z. B. Deutsch et al. 2010), wobei die Ströme Elbe und Oder (Mudelsee et al. 2003) sowie Werra (Mudelsee et al. 2006) besondere Aufmerksamkeit erfuhren. Zum anderen wurden Einzelereignisse wie das Jahrtausendhochwasser von 1342 am Main (Tetzlaff et al. 2002), die Thüringische Sintflut von 1613 (Deutsch et al. 2013), das Oderhochwasser von 1736 (Militzer et al. 1999), die Flutereignisse während des Winters 1783/84 (Brázdil et al. 2010) oder die Niederschlags- und Abflussverhältnissen in Europa im Jahr 1816 (Börngen et al. 2002) thematisiert.

4. Schlussbemerkung

Unbestritten bietet die Weikinn'sche Quellensammlung zur Witterungsgeschichte trotz aller Einschränkungen für verschiedenste Forschungsprojekte eine stabile Basis. So ermöglichen die Texte, zumal bei gleichzeitiger Nutzung ergänzender Quellenbefunde aus Archiven und Bibliotheken, u. a. den Aufbau von Chronologien hydrologischer oder meteorologischer Ereignisse, die im günstigsten Fall statistische Analysen zulassen. Zudem liefert die Weikinnsammlung wichtige Informationen für Untersuchungen herausragender Witterungereignisse der Vergangenheit. Selbst die größten Kritiker der Weikinntexte haben mittlerweile erkannt, dass mit der Quellensammlung nicht nur Tausende Einzelmeldungen vorgelegt werden, sondern der Nutzer auch eine hervorragende Bibliographie für weiterführende Analysen in die Hand bekommt. Das erspart nicht nur Zeit bei den Recherchearbeiten, sondern lenkt zugleich die Aufmerksamkeit auf herausragende Witterungereignisse der zurückliegenden Jahrhunderte. Hinzu kommt, dass mit der Textsammlung von Curt Weikinn heute noch Auszüge von Druckwerken zu Verfügung stehen, die in den Bibliotheken entweder nicht mehr vorhanden oder selbst in bedeutenden Forschungsbibliotheken aufgrund einer unzureichenden Erschließung nur sehr schwer zu finden sind.

Insbesondere die vier von 1958 bis 1963 erschienenen Weikinn'schen Quellenbände haben einen festen Platz in der klimatologischen Literatur gefunden. Von vielen Fachkollegen aus dem In- und Ausland wird seit längerer Zeit gefordert, die noch nicht publizierten Teile der Weikinn-Sammlung endlich der Forschung zur Verfügung zu stellen. Das sehen die Verfasser als Aufgabe und Verpflichtung an. Die systematische Aufnahme sämtlicher Weikinn-Zettel zur Witterungsgeschichte Europas muss kontinuierlich fortgeführt und durch eine Veröffentlichung zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht werden!

An dieser Stelle sei Frau Grytz (Andreasschule, Berlin) und Herrn Buchholz (Landeskirchliches Archiv Berlin) für die Bereitstellung wichtiger Unterlagen zum Leben von Curt Weikinn herzlich gedankt. Ebenso geht ein Dank an die Herren Prof. Dr. K. T. Rost (FU Berlin) und Dr. H. Eberle (Halle/S.) sowie an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des St.-Petri-Friedhofs in Berlin-Friedrichshain.

5. Literatur und Archivalien

- Börngen, M., Deutsch, M., 2008: Zum Erscheinen der Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von Curt Weikinn, DMG-Mitteilungen 04/2008, S. 6–8.
- Börngen, M., Deutsch, M., 2011: „Historisch-geographische Probleme“ - Quellsammlungen zu mitteleuropäischen Witterungsgeschichte, Denkströme Heft 6, S. 168–190.
- Börngen, M., 2007: Water disasters: A historical review, in: J. L. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel, Chr.-D. Schönwiese (Eds.): Global Change: Enough Water for all? Scientific Facts. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen, pp. 83–88 (Kapitel 1.11) (Buchreihe Warnsignale)

- Börngen, M.; Tetzlaff, G.; Mudelsee, M., 2002: Zu den Niederschlags- und Abflussverhältnissen in Europa im Jahr 1816, dem „Jahr ohne Sommer“, Wissenschaft. Mitt. a. d. Inst. f. Meteorol. d. Univ. Leipzig 26, S. 73–80.
- Brázdil, R.; Demarée, G.; Deutsch, M.; Garnier, E; Kiss, A.; Luterbacher, J.; Macdonald, N.; Rohr, C.; Dobrovolny, P.; Kolár, P.; Chromá, K., 2010: European floods during the winter 1783/1784: scenarios of an extreme event during the „Little Ice Age“, Theoretical and Applied Climatology, vol. 100, pp. 163–189, DOI: 10.1007/5000704-009-0170-5.
- Brückner, E., 1890: Klimaschwankungen seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Wien u. Olmütz. (Geographische Abhandlungen, Bd. IV, H. 2).
- Deutsch, M.; Glaser, R.; Pörtge, K.-H.; Börngen, M.; Drescher, A.; Martin, B.; Riemann, D.; Schönbein, J., 2010: Historische Hochwassereignisse in Mitteleuropa. Quellenkunde, Interpretation und Auswertung, Geographische Rundschau Bd. 62, H. 3 (Paläo-Hydrologie), S. 18–24.
- Deutsch, M.; Pörtge, K.-H.; Börngen, M., 2013: Anmerkungen zur Thüringer Sintflut von 1613, in: Die Thüringische Sintflut von 1613 und ihre Lehren für heute, Schriftenreihe der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft e. V. (DWhG), Bd. 22, Tagungsband zur Fachtagung der DWhG in Apolda/Thüringen im Mai 2013, Siegburg, S. 1–39.
- Hennig, R., 1904: Katalog bemerkenswerter Witterungseignisse, von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800. Berlin: Asher, 93 S. (Abhandlungen des Preussischen Meteorologischen Instituts; 2, 4).
- Knoch, K., 1959: Buchbesprechung, Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 68, S. 318–320.
- Marx, S., 1966: Ein Beitrag zur Hochwasserhäufigkeit im Osterzgebirge, Z. Meteorologie, Bd. 18, S. 82–87.
- Militzer, St.; Börngen, M.; Tetzlaff, G. (1999): Das Oderhochwasser von 1736. Ein Analogon zum Jahrhunderthochwasser 1997, Geoökodynamik 20 (4): 309–322, Darmstadt.
- Mudelsee, M.; Börngen, M.; Tetzlaff, G.; Grünwald, U., 2003: No upwards trends in the occurrence of extreme flood in central Europe, Nature 425, 166–169 (11. Sept. 2003).
- Mudelsee, M.; Deutsch, M.; Börngen, M.; Tetzlaff, G., 2006: Trends in flood risk of the River Werra (Germany) over the past 500 years, Hydrological Sciences-Journal - des Sciences Hydrologiques, vol. 51 (5), October 2006, Special issue: Historical Hydrology, pp. 818–833.
- Riemann, D., Glaser, R., Kahle, M., Vogt, S., 2016: The CRE tambora.org – new data and tools for collaborative research in climat and environmental history, Geoscience Data Journal 0, 1–15.
- Schröder, W., 1968: Curt Weikinn †, Zeitschrift für Meteorologie, Bd. 20, S. 195–196.
- Steller, H., 2011: Tambora - eine virtuelle Forschungsumgebung für die Historische Klimatologie, Europa Regional Bd. 19, 1, S. 56–60.
- Tetzlaff, G.; Börngen, M.; Mudelsee, M.; Raabe, A., 2002: Das Jahrtausendhochwasser von 1342 am Main aus meteorologisch-hydrographischer Sicht, Wasser & Boden 54/10: 41–49, Berlin.

- Weikinn, C., 1958: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850, Hydrographie Teil 1 (Zeitwende–1500). Akademie-Verlag, Berlin, VIII, 531 S.
- Weikinn, C., 1960: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850, Hydrographie Teil 2 (1501-1600). Akademie-Verlag, Berlin, VI, 486 S.
- Weikinn, C., 1961: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850, Hydrographie Teil 3 (1601-1700). Akademie-Verlag, Berlin, VI, 586 S.
- Weikinn, C., 1963: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahre 1850, Hydrographie Teil 4 (1701-1750). Akademie-Verlag, Berlin, VI, 381 S.
- Weikinn, C., 1965/66a: Katastrophale Dürrejahre während des Zeitraums 1500-1850 in den Flußgebieten der heutigen Deutschen Demokratischen Republik, *Acta Hydrophysica*, Bd. 10, 33-54.
- Weikinn, C., 1965/66b: Ein Beitrag zur Hochwasserhäufigkeit im östlichen Erzgebirge, *Acta Hydrophysica*, Bd. 10, 163-176.
- Weikinn, C., 1966/67a: Ein Beitrag zur Hochwasserhäufigkeit im östlichen Erzgebirge, *Acta Hydrophysica*, Bd. 11, 121-132.
- Weikinn, C., 1966/67b: Bemerkenswerte hydrometeorologische Erscheinungen früherer Jahrhunderte in Europa, I. Teil: Sehr starke bzw. verbreitete Hagelfälle in den Jahren 1100–1400, *Acta Hydrophysica*, Bd. 11, 181-206.
- Weikinn, C., 2000: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahr 1850, Hydrographie Teil 5 (1751–1800). Herausgegeben u. bearbeitet von Michael Börngen u. Gerd Tetzlaff, VIII, 674 S., Berlin, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- Weikinn, C., 2002: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitwende bis zum Jahr 1850, Hydrographie Teil 6 (1801–1850). Herausgegeben u. bearbeitet von Michael Börngen u. Gerd Tetzlaff, VI, 728 S., Berlin, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- Weiss, J., 1914: Elementarereignisse im Gebiete Deutschlands: Systematische Sammlung der Nachrichten über Elementarereignisse und physisch-geographische Verhältnisse. Veranlasst von dem Gesamtverein der Deutschen Geschichts- und Altertums-Vereine. Teil I: Die Elementarereignisse vom Beginn unserer Zeitrechnung bis zum Jahre 900. Wien. XII, 92 S.

Archivalien:

- Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW1), Akademiearchiv, Bestand Akademieleitung, Personalia, Nr. 663.
- Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW2), Personalakte Frida Benike.

Curt Weikinns Sammlung von Berichten zu sehr starken bzw. verbreiteten Hagelfällen im 15. Jahrhundert

Börngen, Michael[†]), Deutsch, Mathias*)

[†]) K.-Tauchnitz-Str. 15/096, 04107 Leipzig, E-Mail: michael-boerngen@t-online.de

*) Wachsenburgweg 18, 99094 Erfurt, E-Mail: amdeutsch@arcor.de

Zusammenfassung: In Ergänzung einer von Curt Weikinn (1888–1966) zusammengestellten und vor 50 Jahren in den *Acta Hydrophysica* erschienenen Auflistung sehr starker bzw. verbreiteter Hagelfälle in den Jahren 1100–1400 wird nachfolgend die als Fortsetzung gedachte, jedoch bis jetzt unveröffentlichte Zusammenstellung gleichartiger Ereignisse aus dem 15. Jahrhundert wiedergegeben.

Summary: In addition one of Curt Weikinn (1888–1966) developed and shortly after his death in the *Acta Hydrophysica* published list of very strong or widespread hailstorms in the years 1100–1400 is below the imaginary as a continuation, but as yet unpublished compilation of similar events from 15th century reproduced.

1. Einleitung

Von Curt Weikinn sind neben den vier Bänden seiner Quellentexte Mitte der 1960er Jahre auch einige kleinere Arbeiten zu speziellen historischen hydrologischen oder meteorologischen Themen in den „*Acta Hydrophysica*“ publiziert worden. Die letzte dieser Arbeiten trägt den Titel „Bemerkenswerte hydrometeorologische Erscheinungen früherer Jahrhunderte in Europa. I. Teil: Sehr starke bzw. verbreitete Hagelfälle in den Jahren 1100–1400“ (Band 11, 1966/67). Daraus kann man schließen, dass Weikinn mindestens einen zweiten Teil plante, der jedoch nie erschien. Es ist zu vermuten, dass die im Zuge der Erfassung der Weikinn-Daten aufgefundenen Zettelsammlung zu außergewöhnlichen Hagelfällen des Zeitraums bis 1500 als unmittelbare Fortsetzung vorgesehen war. Diese soll hiermit weitgehend unverändert dem Publikum vorgelegt werden. Die bei einigen Quellentexten übereinanderstehenden Buchstaben wurden nachfolgend durch Unterstreichung gekennzeichnet. Das Quellenverzeichnis musste aus den Angaben in den einzelnen Berichten rekonstruiert werden.

2. Quellenberichte

29. August 1419 Lüben (Niederschlesien)

... cecidit grando nodosus et aculeatis ad magnitudinem ovi galline et ultra.

(„Liber fratri Johannis Hungari de Bartpha“. Annal. Lubenses. In: Wattenbach 1861, S. 22.)

[... es fiel ein spitzer und stacheliger Hagel bis zur Größe eines Hühnereies und darüber.]

5. Juni 1421 Niederlande

..., tempestas magna choruscationum grandinumque fuit in superiore Batua a Dodenweerde et supra in Huessen et in locis hinc inde circumvicinis, ..., et multe bestie occise sunt, ...

(Leeuwen 1879, S. 485)

[..., ein großes Unwetter von Gewitter und Hagel war in der oberen Betuwe von Dodeward und oberhalb in Huessen und an Orten, die benachbart waren, ..., und viele Tiere wurden getötet.]

20. Juni 1427 Würzburger Gegend

..., da kom ein weter umb Wirtzburg ... es fiellen stein als die aier, die kleinsten waren als die welisch nus, man fant auf dem feld leut und fich tot.

(„Endres Tucher’s Memorial“. In: Chroniken der deutschen Städte 1864, S. 15)

29. Juni 1432 N. Frankreich

..., gresla si terriblement qu’il fout trouvé gresle qui avoit XVI poulces de tour l’autre comme billes à biller, de plus menue et de plus grosse, et fut vers Langny et Meaulx.

(Tuetey 1881, S. 284.)

5. August 1435 Gegend von Brügge

..., doen vielen omtrent Brugghe haghelsteen, als groet als duveneyeren, meerdere ende mindere, ...

(„Kronyk van Vlaenderen 580–1467“, II. Deel, edid Ph. Blommaert u. C. P. Serrure. In: Maetschappy 1839/40, S. 35)

1. Juli 1436 Normandie

..., fut la grande gresille qui destruit tout la ou elle chait, qui estoit grosse, telle y avoit, comme ung [euf] de geline.

(Luce 1879, S. 38.)

um 24. Juni 1437 Frankenberg (Erzgebirge)

... In campis sata periebant undique tota [unleserlich] grandine magno, qui in oppido ceciderat isto. [Stadtschreiber-Eintragung in ein Geschoßbuch]

(Bahn 1755, S. 281/82)

[Auf den Feldern gingen die ganzen Saaten zu Grunde durch einen großen Hagel, der bei dieser Stadt gefallen war.]

um 24. Juni 1437 Frankenberg (Erzgebirge)

... war zu Franckenberg ein grausames Schlossen-Wetter, welches nicht allein Fenster und Dächer, Feld- und Garten-Früchte zerschlagen, sondern auch Vögel und Haasen getötet.

(Bahn 1755, S. 281/82)

1. Juli 1441 Mitteldeutschland

... grandines in quantitate duorum vel trium ovorum descendentes non modica in aedificiis, fenestris ecclesiarum in animalibus, segetibus, ... damna inferentes, ...

(„Chronicon excerptum de diversis chronicis etc. usque ad a. D. 1474“ [eines Mönchs des Klosters S. Aegidi zu Braunschweig]. In: Pistorius 1716, S. 1110; „Chronica S. Aegidi in Brunswig“. In: Leibniz 1711, S. 596)
 [...] Hagelsteine in der Größe von 2 oder 3 Eiern fielen in nicht geringer Menge in Häuser, Kirchenfenster, ..., auf Tiere, Saaten, ..., Schaden bringend ...]

1. Juli 1441 Mitteldeutschland

grandines ceciderunt in quantitate ovorum magnorum.

(„Chronicon Riddagshusanum ad annum usque 1508 continuatum“. In: Leibniz 1710, S. 83.)

[Es fielen Hagelsteine in der Größe von großen Eiern.]

1. Juli 1441 Mitteldeutschland

..., do vellen grote sloten alse de goehseier unde weren schwerer man lb [=Pfund].
 (Cordes 1954, S. 106.)

2. Juli 1441 Süd- und Mitteldeutschland

Gänseeiergroße Schlossen, einige über 1 Pfund schwer.

(Binhard 1613, 3. Buch, S. 3; Steinhofer 1744, S. 143; Dillenius 1860, S. 89.)

24. Juni 1446 Gegend von Metz

..., et grella si impetueusement en plusieurs lieux par la cité de Mets que la grelle et des glaixons cheant du ciel estoient aussy gros aulcuns comme oeufz de coullons, aultres comme des oeufz de gellines ou plus gros.

(Huguenin 1838, S. 253/254.)

17. Juni 1448 Burgund und Schweiz

... enstuond ein grusamlich wetter ... und fielent stein als huenereyer; zerschluog die fenster, ..., ertodt etlich hasen und fuchs im feld.

(„Die Chronik Heinrichs von Beinheim“. In: Basler Chroniken 1895, S. 407)

12. September 1448 Augsburg

... da kam ain großer ungestüemer hagel hin zu Augspurg ..., er zerschlug auch vil dächer auf den heusern, auch zerschlueg der hagel vil großer gleser an den kirchen, ..., es war der ungestüemest hagel, des uf in gedenk und vielen größer stain dann die hennenair.

(„Chronik des Burkard Zink, Buch IV“. In: Chroniken der deutschen Städte 1866, S. 186/187)

12. September 1448 Augsburg

... da kam ain großer hagel über die statt Augspurg, und fielen stain als die grossen hünerair und erschlugen alles glaßwerck wo sie es traffen, ...

(„Fr. J. Franks Augsburger Annalen“. In: Chroniken der deutschen Städte 1896, S. 297)

12. September 1448 Augsburg u. Umgegend

... kam ein sollicher grosser hagel, das kain alter man seiner nie gedacht. es fielen stain gemainolich als groß als hennenauer, ... und erschlug vil vogel, die man tod fand, und tier und alle glaser, die gen dem wetter stunden, und tächer, ...

(„Chronik des Hector Mülich 1344–1487“. In: Chroniken der deutschen Städte 1892, S. 91.)

12. September 1448 Augsburg und Umgegend

... da kam ein geschlingen ain groß wetter und hagel zuo Augspurg mit stainen / als groß als klaine Hennen ayer / Es wag ainer acht lot / ... / darnach über ain kleine weil / da kam noch ain grösserer Hagel / da vielen stain als die Gans ayer / Es wag ainer ein halb pfund.

(Chronica New 1530, S. 42.)

12. September 1448 Augsburg u. Umgegend

... kam gehelingen ein groß Wetter unnd Hagel zuo Augspurg mit steinen als ein zymlich hennen ey der einer acht lott wag / ... Bald daruff über ein klein weil / da kam noch ein grosser Hagel / dann fielen stein eines halben pfunds schwer / als ein ganß ey / ...

(Franck 1531, S. 208.; Franck 1536, S. 244a.)

12. September 1448 Augsburg

... grandis grando ... tantum per totam civitatem hanc tectis lateritiis, vitreis fenestris et arboribus vespere nocuit, ..., praecipitatae enim hujus grandinis vel lapillos vel globulos, magnitudine ova gallinarum aequasse, aliquot item ex his dimidiam libram ponderasse, denique aviculas per aëra volantes interemisse, ...

(A. P. Gasser „Annales Augstburgenses“. In: Mencken 1728, Tom. I, Sp. 1605)

[... ein bedeutender Hagel ... so groß über der ganzen Stadt, schadete denn Ziegeldächer, Glasfenstern und Bäumen spät abends; ..., dieser Hagel stürzte nämlich teils als Steinchen, teils kugelig, in der Größe Hühnereiern gleich, etliche von diesen wogen 1/2 Pfund, ja sogar durch die Luft fliegende Vögel wurden getötet.]

26. Dezember 1448 Schwaben

... tanta tempestas erat, vt lapides semunciarum octonarum caderent, et paulo post lapides selibrales.

(Crusius 1596, S. 390.)

[... ein so großes Ungewitter, daß 8lötige und bald darauf halbpfundige [Hagel]steine fielen.]

26. Dezember 1448 Elsaß

... ein solch erschröckliches Wetter, daß es Steinen geben ein halben Vierling schwer und an etlichen Orthen halbpfundige Stein.

(Tschauder 1864, Bd. 1, S. 579.)

18. Juli 1449 Lothringen

..., il fist en plusieurs lieux gros et grant tempeste de tonnoire et gresle et fist grans dopmaiges en plusieurs lieux, par especial au ban et fins du Pont à Mousson où la gresle grosse glace et espaisse large plus d'ung pied, plusieurs longues plus de deux pieds ...

(Huguenin 1838, S. 266.)

3. August 1449 Ober-Elsaß

... ereignet sich ein ungewöhnlich Wetter, ..., der Hagel verschlug die Früchten und Obstbäum, wie auch die Fenster und Ziegel Tächer also, ...

(Tschauder 1864, Bd. 1, S. 583.)

4. August 1449 Basel

... zu nacht uff die 10 stunden komend samliche ungestueme blitzigen und dornren unzemlichen, ...

Domitte kam ein samlich hagelwetter mit schiblechten, ein teil als huerneyer, ein teil mit antlidren; nam alles was von frucht, det buch unmessigen schaden an Kilchfensteren und andren fenstern; ...
die techer wurdend so zerbrochen, ...

(„Die Chronik Erhards von Appenwiler etc.“. In: Basler Chroniken 1890, S. 303/304.)

4. August 1449 Basel

... so schwere Hagelsteine, daß alle Feldfrüchte geschlagen wurden, ebenso Fenster u. Dächer.

(Rahn 1690, S. 355.)

4. August 1449 Schweiz

5. August zu Nacht um d. 10. Stund.

Es kam auch ein solcher Hagel mit schiblechten Steinen, etliche wie Hünereyer, etliche wie Angesichter, ...

(Groß 1624, S. 105.)

4. August 1449 Schweiz

Sehr starker Hagel

(Wurstisen 1580, S. 418; Wurstisen 1765, S. 444.)

23. April, 25. Mai, 24. Juni 1451 Zwettl (Niederösterr.)

... venit ... tam grandis et horribilis grando, ..., et fuerunt fere lapides quasi ad quantitatem ovorum pullorum, ...

(Kalendarium Zwettlense 1851, S. 698.)

[... es kam ... ein so großer und schrecklicher Hagel, ..., und es waren Steine in der Größe fast von Eiern von jungen Hühnern.]

24. Mai 1455 Hessen

... fuerunt maxima grandines ..., in quibus grandinibus multa frumenta in multis locis perierunt.

(„Hessische Chronik von 1455–1460“. In: Anzeiger 1835, Sp. 282.)

[... es waren sehr große Hagelkörner ..., durch die viel Getreide an vielen Orten einging.]

11. Juli 1456 Basel und Umgegend

... kam zuo Basel ein samlichen grosz ungestuem wetter ... doby ein semlicher grossz hagel mit grossen steinen, und schluog umb Basel korn und win, ...

(„Die Chronik Erhards von Appenweiler etc.“. In: Basler Chroniken 1890, S. 323.)

27. Mai 1460 Gegend von Altenburg i/Thür.

2 Gewitter mit Schlossen wie Hühnereier, die alles Getreide um Altenburg wegschlugen.

(Beust 1800, S. 140.)

27. Mai 1460 Schlesien

... war ein grausam Ungewitter über die ganze Schlesie. Es fielen Steine als Gänseeier und that der Hagel am Getreide großen Schaden. Es währete vom Morgen bis an andren Tag, ...

(Büsching 1815, S. 39.)

27. Mai 1460 Breslau

..., fuit magna tempestae cum maxima grandine ad quantitatem nucis Italice et maior,

...

(„Sigismundi Rosiczii chronica etc.“. In: Scriptores rerum Silesiacarum 1883, S. 77.)

[..., es war ein großes Unwetter, mit sehr starkem Hagel bis zur Größe einer italienischen Nuß]

28. Juni 1460 Hessen

..., cum grandinibus, ita quod multa arbores in silvis exstirpatae fuerunt et multae domus ceciderunt.

(„Hessische Chronik von 1455–1460“. In: Anzeiger 1835, Sp. 287.)

[..., mit Hagelkörner, so daß viele Bäume in den Wäldern vernichtet wurden und viele Häuser einfielen]

28. Juni 1460 Gegend von Speier und Heidelberg

..., do kame alß ein groß wetter gein Spier und gein Heidelberg und in den dorffern dar umme, ..., und darzu die slossen, wie woren so groß als eyer ein deil, und zerschlugent daz korn und die gerst ...

Dar zu dette eß größern schaden an den glaßfenstern, in den Kirchen und in den hussern, es warffe auch vil dache und schornstein und die gippfiln von den hussern. Item zu Heidelberg do fielent slossen alz groß alz hellerbrot ... und sluge viel ziegeldache dar nyeder, und datt auch großen Schaden da an den glaßfenstern.

(„Speierische Chronik von 1406–1476“. In: Mone 1848, S. 446.)

19. Mai 1461 Schlesien

... war ein grausam Ungewitter über ganz Schlesien; es fielen Hagelsteine als Gänse- und Enten-Eier; that großen Schaden am Korn und allem Getreide; ...

(Büsching 1815, S. 41.)

21. Mai 1465 Augsburg

Quin item dirissimus grando nocte immediate sequente, ter supra modum decidens, hortis, tectis, ac vitreis fenestrarum intra civitatem maximam intulit, cladem.

(A. P. Gasser „Annales Augstburgenses“. In: Mencken 1728, Tom. I, Sp. 1656.)

[Ja vielmehr fiel ebenso ein furchtbarer Hagel in der darauffolgenden Nacht, mehrmals über das übliche Maß hinaus und fügte den Gärten, Dächern und Glasfenstern innerhalb der Stadt sehr großen Schaden zu.]

30. Juli 1466 Metz

... ung tres horrible temps en mets, de gresle qui chéoit aussy grosse que veufz d'oye, grosses noix et escuefz à cuer à la paulme; et rompit plusieurs vairieres, ...

(Huguenin 1838, S. 353.)

1. Juli 1467 Dortmund u. Umgegend

... ein groet unwedder van hagel und donder erstanden, ..., dan der hagel heft im dortmundschen velde allet, ..., sunder och was in den garden gestanden, tor erden geslagen, ...

Derselbe hagelstag bracht och groten schaden den glasvinstern, want die steine waren gelijch groet als honns eijer

(„Chronik des Dietrich Westhoff von 750–1550“. In: Chroniken der deutschen Städte 1887, S. 335.)

1. Juli 1467 Aschersleben

..., da ward ein greulich Unwetter ... und grossen scharffen Schlossen, dergleichen nie gesehen noch gehöret worden, ...

Die Schlossen schlügen die Kirchen-Fenster aus, und thaten großen Schaden.

(„Chronicon Ascaniense“. In: Abel 1732, S. 578.)

20. November 1467 Rom

..., e una grandine, si che ammazio de grandi Vivellami, perche li giazzo li erano grossi come le noci.

(„Stephani infessurae senatus populi Romani scribae diarium urbis Romae“. In: Eccard 1723, Sp. 1893.)

16. Mai 1468 Basel

... ist zu Basel ... komen das groesti ungehurlich wetter, ... mit hagelsteinen und regen, das das rissen und hagel so tieff fiel als einer starken spanne dige, und werte 1 halbe stunde on underlosz was es begreif, in den garten und sust, was als zerslagens

(„Die Chronik Erhards von Appenwiler etc.“. In: Basler Chroniken 1890, S. 350/351.)

15. Juni 1469 Stralsund

... willet so grot enen greseliken haghel, stene so grot alse hasselnote, ...
(Baier 1893, S. 41.)

18. Mai 1470 Rom

fu si fatta grandine, che quartò vigne, grano, bicula, e bestiame, e pesava l'uno ouze
tré, e erano grossi come noci.

(„Stephani infessurae senatus populi Romani scribae diarium urbis Romae“. In:
Eccard 1723, Sp. 1894.)

[18. Mai] 1470 Rom

... fiel zu Rom ein solcher großer und unerhörter Hagel, daß dessen Steine ins gemein
10, 11 bis 12 Untzen gewogen haben; der Schaden, welcher er an denen Fenstern,
Tächern ... gethan, ist nicht zu beschreiben.

(Tschauder 1864, Bd. 1, S. 630.)

15. Juli 1474 Basel u. Umgegend

... tantus grando fuit in pluribus villis, ut tam vites quam segetes omnino vastaret, et
lapides caderent ad quantitatem ovi aliqui, alii ad quantitatem nucis gallicane.

(„Johannis Knebel Diarium“. In: Basler Chroniken 1880, S. 101.)

[... so großer Hagel war an vielen Orten, so daß er nicht nur die Weinstöcke, sondern
auch Saatfelder gänzlich vernichtete und Steine fielen in der Größe eines Eies, andere
so groß wie ein gallikanische Nuß.]

13. Juni 1475 Bodensee-Gegend

...ist kommen ain groß wetter ... und hat es gehaglet, und sint gevallen groß stain in
aller wile und die meisten als die bombnuß, die groeßeren als klain hennenayer und
noch groeßer.

(„Jahrgeschichten von Reichenau“. In: Mone 1848, S. 238.)

5. Juli 1479 W. Lothringen, Départem. Meurthe et Moselle

..., car il cheut grelle aussy grosse comme eufz de geline et comme estuez; ...
(Larchey 1857, S. 100.)

21. Februar 1480 Gegend von Glogau und Neustädte (Niederschlesien)

..., fuit magna tempestas ..., ita quod ceciderunt lapides in eodem grandine ut
columbarum et maiores ova ita hominibus magna damna fecit in tectis et in aedificiis,
..., quia et lepores quos reperit in plano interfecit, et principaliter cormices et alia
volatilia parva, et multas fenestras vitreas fregit tam in ecclesiis quam alias, quod non
est auditum.

(„Annales Glogovienses“. In: Scriptores rerum Silesiacarum 1877, S. 46.)

[... war ein großes Unwetter ..., so daß Steine in diesem Hagel wie Taubeneier und
größere den Menschen große Schäden zufügten an Dächern und Gebäuden, ..., weil es

Hasen, die es im Felde fand, tötete, und hauptsächlich die Krähen und andere kleine Flügeltiere, und viele Glasfenster zerbrach, sowohl in den Kirchen als auch anderen, was man noch nie gehört hatte.]

21. Februar 1480 Gegend von Glogau

Es erhub sich ein gewaltiger Sturmwind ... Es fielen Hagelsteine als Taubeneier groß, schlug alle Fenster aus, zerbrach viel Dächer auf den Häusern.

Auf den Feldern hin und wieder fand man todt Gänse, Hasen und allerlei Gevögel.

(Büsching 1815, S. 132.)

Juni 1480 Belgien

... tanta grandinis tempestas invaluit diversis in locis, ut lapides cadentes e coelo necasse casu suo nedium animalia sed homines reperiebantur, ...

(„Chronique d'Adrien de But, complétée par les additions de même auteur“, in „Chron. relativ, à l'hist. de la Belgique“, edid. Kerrwyn de Lettenhove. In: Collection 1870, S. 548.)

[... es fiel ein so schweres Hagel-Unwetter ein, daß Steine vom Himmel fielen, die in ihrem Fall nicht nur Tiere, sondern auch Menschen betrafen.]

25. Juli 1480 Augsburg

... ist ain groser hagel gewessen, es sind hie stain gefallen als groß als die hennenair, ...

(„Die Chronik von Clemens Sender von den ältesten Zeiten der Stadt bis zum Jahre 1536“. In: Chroniken der deutschen Städte 1894, S. 42.)

24. Mai 1481 Magdeburg

... fiel hir ein grosser hagel so gros als hünerreyer, und eins teils als mittelmessige flach epfel, und verdarbe gar vil kornes.

(„Die Magdeburger Schöppenchronik“. III. In: Chroniken der deutschen Städte 1869, S. 417.)

12. Juni 1481 S. Deutschland

... fuit tam vehemens et impetuosus grando, ..., ita ut projiceret complures lapides ad magnitudinem pugni, infinitos vero ad modum ovorum in pondere unius librae.

(„Joannis Staindelii, presbyteri Pataviensis, chronicon generale etc.“. In: Oefele 1763, S. 540.)

[... es war ein so heftiger und ungestümer Hagel, ..., so daß er einige [Steine] in Größe einer Faust hinwarf, zahllose aber in Größe von Eiern im Gewichte von 1 Pfund.]

6. Juni 1482 Metz u. Umgegend

... vint ung temps de tempest et chéoit grelle aussy grosse que singles; ...

(Larchey 1857, S. 138.)

8. Juli 1482 Danzig

... war so ein quat wetter boven der stadt ...

Der Hagel war an etlichen stedten ganz stuke niß von 1/2 elen lang.

(„Kaspar Weinreichs Danziger Chronik“. In: Scriptores rerum Prussicarum 1870, S. 745.)

25. April 1484 Thüringen, Sachsen

... fuit valde magna tempestas in certis locis in Thuringia circa Hartonem et in Hallis, et in circa regionibus et in multis locis Misnae et ceciderunt tanti grandines, quorum numerositatem et magnitudinem non habebat hominum memoria, ...

(„Chronicon terrae Misnensis“. In: Mencken 1728, Tom. II, Sp. 372.)

[... es war ein so großes Unwetter an zahlreichen Orten in Thüringen und in der Harzgegend und in Halle und im Umkreise und an vielen Orten Meißens, und es fielen so große Hagelstücke, an deren Zahlenreichheit und Größe sich kein Mensch erinnern konnte]

26. Juni 1487 Basel

... was ein grosz ungestümm wetter zu Basel.

fielen steyn as huener- und ganszeyer. Und geschach grosser schad in der statt an ziegel und fenstern.

(„Die Zusätze zur Chronik Appenwilers (1476–1487)“. In: Basler Chroniken 1895, S. 535.)

26. Juni 1487 Basel

... do kam ein so groszer hagel mit steinen dasz alle tächer zue Basel zerschlagen wurden ...

(„Aus dem Stammbuch des Eptinger“. In: Basler Chroniken 1915, S. 188.)

26. Juni 1487 Basel

... erat horribilis et ingens tempestas grandinum, et ceciderunt lapides instar ovorum gallinarum, et longe maiores. Quibus maior pars tectorum urbis Basileae trita corruit.

(„Die Aufzeichnungen des Kaplans Hieronymus Brilinger“. In: Basler Chroniken 1915, S. 211.)

[... war ein schreckliches und gewaltiges Hagel-Unwetter, und es fielen Steine in gleicher Größe wie Hühner-Eier und weit größere. Hierdurch ging der größere Teil der Dächer der Stadt Basel gewöhnlich zugrunde.]

26. Juni 1487 Basel

... kam ein grosser hagel zu Basel, und zerschluog durch die statt alle zygeltecher und all fenster, und tat vast grossen schaden allenthalben, und fielen stein als gros als kugelen.

(„Weitere Aufzeichnungen Christoff Offenburgs und seiner Vorgänger“. In: Basler Chroniken 1895, S. 318.)

26. Juni 1487 Basel

..., erat in Basilea grando maximus, maior pars in quantitate ovi, aliqua sicut caput pueri. Et destruxit bladem, vina et quasi omne tectum et tegulum domus.

(„Die Aufzeichnungen von Johann Ursi“. In: Basler Chroniken 1915, S. 181.)

[..., es war in Basel ein so starker hagel, der größere Teil in Größe eines Eies, einige [Hagelstücke] wie der Kopf eines Kindes. Und er vernichtete ..., Weinstöcke und gewissermaßen allgemein Dach und Ziegel.]

26. Juni 1487 Basel u. 2 Meilen Umgegend

Schrecklicher Hagel. Reben, Bäume, Feldfrüchte, Fenster, Dächer schwerer Schaden. Hagel in Hennen- und Gänseeier-Größe.

(Rahn 1690, S. 463 aus Haffner 1666, S. 192 u. Wurstisen 1580, Lib. VI., c. 15, S. [475])

26. Juni 1487 Basel

..., fielen Kißeln und sonderlich zu Basel und waren derselben Kißel viel so groß, daß eine 2 1/2 pfund wog. erschlugen zu Basel viel dach und glasfenster ...

(„Aufzeichnungen des Johann Heise“. In: Grotewind 1884, S. 228.)

[26.] 27. Juni 1487 Thann i/Els. – Basel

... erregt sich allhier und bis gegen Basel hinauf ..., ein erschröcklich Wetter mit einem schädlichen Hagel, welcher nit nur dem Feldt, an Reben, Bäume und Erdgewächsen, sondern auch in den Stätten, Fleckhen und Dörffern an Fenstern und Tächeren, die es gemeiniglich zerschluge, mercklichen Schaden gethan hat. Dan es fielen Stein vom Himmel in Hüner- und Ganß-Eyergrösse, gleich den Kuglen, ...

(Tschauder 1864, Bd. I, S. 666.)

26. Juni 1487 Basel

..., was ein solicher grusamlicher ungehorter grosser hagel zuo Basel und im land, das die stein etlich wol als grosz als eiger, och füst und groesser den halben theil der taecheren und feansteren inn der stat erschluog.

(„Die anonyme Chronik bei Cosmas Ertzberg“. In: Basler Chroniken 1902, S. 326.)

26. Juni 1487 Basel

Item esz ist ein groszer hagel gesin ..., und sind stein gefallen alsz grosz alsz ganseier und henereier under einander.

(„Die Chronik in Ludwig Kilchmanns Schuldbuch“. In: Basler Chroniken 1902, S. 444.)

26. Juni 1487 Basel

...; grandine nam lateres tectaque trita cadunt.

Groessern hagel man in keiner wyle nie gesach, Dann den so zu Basel so vast fenster und taecher brach.

(„Zerstreute Aufzeichnungen in Berlingers Etterlein“. In: Basler Chroniken 1895, S. 539.)

[...; durch den Hagel fielen gewöhnliche Ziegel und Dächer hernieder]

26. Juni 1487 Basel

... kam ein grosser hagel, desz glichen kein mensch nie gedacht oder erhoert hatt. Es fiellen stein als grosz als werffkugelen und als hunnereyer die zerschluogen die ziegeldecher und die glaszenster.

(„Die späteren Aufzeichnungen bei Schnitt“. In: Basler Chroniken 1902, S. 305.)

17. Juni 1490 West-, Mittel- u. Ost-Deutschland, Polen

... fiel hagel als grosse eier gros und schluge umb Wolmerstedt viel viehes todt. Disser hagel ging aus Westvalen her durch das landt Hildesheim, Braunschweig, Magdeburg, Jerchow, Marck, Reppin, Pomern, Preussen, Polen und that allenthalben grossen schaden.

(„Die Magdeburger Schöppenchronik“. III. In: Chroniken der deutschen Städte 1869, S. 418.)

20. Juli 1490 Kantone Zürich und St. Gallen

... kam ain großer hagel vom Hürnli über Kilchberg und erschluog umb Flawil, Gosow, Herisow gar nach, was da wais für korn und opst, waren stain schier wie henen aier.

(„Die Chronik des Hermann Miles“, hrsg. v. E. Götzinger u. T. Schieß. In: Mitteilungen 1902, S. 291.)

Sonnabend, 26. Mai 1498 Bayern

Item am samstag vor dem pfingstobent da hageltz in dem Payrlant, schluog vil getraids dernider.

(„Heinrich Deichsler’s Chronik“ [1488–1506]. In: Chroniken der deutschen Städte 1874, S. 597.)

8. November 1498 Hof i/Bay.

Eben in diesem jar, montag vor Martini, den 8. novemb., als es den gantzen tag geregnet, hat es uf den abend umb 4 uhr gewaltig gedonnerd und gehagelt.

(„Enoch Widmann’s Chronik der Stadt Hof“. In: Meyer 1894, Bd. 1, S. 90.)

17. Februar 1500 Dithmarschen

..., weil es ein dunckel und ungestühmes Wetter, ... und der Nordwesten Wind war ... so starck ..., daß sie auch vor Schnee, Hagel und Regen, und Wind nicht aus den Augen sehen kunten.

(Vithe 1733, S. 319.)

3. Quellenverzeichnis

Abel, C., 1732: Sammlung Etlicher noch nicht gedruckten Alten Chronicken, ... Braunschweig.

Anzeiger für Kunde des deutschen Mittelalters (*auch*: Anzeiger für Kunde der teutschen Vorzeit). 4. Jg. Karlsruhe 1835.

Bahn, Chr. A., 1755: Historische Nachrichten von dem Meißenischen Ober-Ertzgebürge an der Zschopau liegenden Franckenberg und Sachsenburg ... Schneeberg.

Baier, R., 1893: Zwei Stralsundische Chroniken des 15. Jahrhunderts. Stralsund.

- Basler Chroniken, Bd. 2. Leipzig 1880.
Basler Chroniken, Bd. 4. Leipzig 1890.
Basler Chroniken, Bd. 5. Leipzig 1895.
Basler Chroniken, Bd. 6. Leipzig 1902.
Basler Chroniken, Bd. 7. Leipzig 1915.
Beust, Fr. Graf v., 1800: Jahrbücher der Residenzstadt Altenburg. Teil I. Altenburg.
Binhard, J., 1613: Neue vollkommene Thüringische Chronica / biß auff diß gegenwerte 1613. Jahr vollzogen. Leipzig.
Büsching, J. G. (Hrsg.), 1815: Jahrbücher der Stadt Breslau's von Nikolaus Pol („Zeitung der Schlesier“), Bd. 2. Breslau.
Chronica New, Manicherley Historen, ... bis in das jar 1530 erlengert. Augsburg 1530
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 2. Leipzig 1864.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 5. Leipzig 1866.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 7. Leipzig 1869.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 11. Leipzig 1874.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 20. Leipzig 1887.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 22. Leipzig 1892.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 23. Leipzig 1894.
Chroniken, Die, der deutschen Städte. Bd. 25. Leipzig 1896.
Collection de Chroniques Belges inédites, ... Bd. 13, Tom. I. Brüssel 1870
Cordes, G. (Hrsg.), 1954: Die Goslaer Chronik d. Hans Geismar. Goslar
Crusius, M., 1596: Annalium Suevicorum Dodecas tertia ab anno Christi 1213 usque ad 1594 annum perducta“. Frankfurt a/M.
Dillenius, F. L. J., 1860: Weinsberg, vormals freie Reichs-, jetzt württembergische Oberamtsstadt. Chronik derselben. Stuttgart.
Eccard, J. G., 1723: Corpus histor. med. aevi. Tom. II. Leipzig
Franck, S., 1531: Chronica etc.
Franck, S., 1536: Chronica etc. bis in dis gegenwertig 1536. iar verlengt etc. Ulm.
Groß, J., 1624: Kurtze Baßler chronick oder summarischer Griff aller merkwuerdigen sachen ... Basel.
Grotefend, H. (Hrsg.), 1884: Quellen zur Frankfurter Geschichte. I. Teil. Frankfurt a. M.
Haffner, Fr. 1666: Der klein Solothurner Allgemeine Schaw-Platz ..., Teil 2. Solothurn.
Huguenin, J. F., 1838: Les chroniques de la ville de Metz. Metz.
Kalendarium Zwetlense. Monumenta Germaniae Historica, Scriptores. Bd. 9. 1851
Larchey, L. (Ed.), 1857: Journal de Jehan Aubrion, bourgeois de Metz, avec sa continuation, par Pierre Aubrion 1465–1512. Metz.
Leeuwen, J. D. van (Ed.), 1789: Auctoris incerti chronicon Tielense.
Leibniz, G. W., 1710: Scriptores rerum Brunsvicensium illustrationi ..., Teilband 2
Leibniz, G. W., 1711: Scriptores rerum Brunsvicensium illustrationi ..., Teilband 3
Luce, S. (Ed.), 1879: Chronique du Mont-Saint-Michel (Normandie) 1343–1468, Tom. I.
Maetschappy Der Vlaemsche Bibliophilen. No. 3. Gent 1839/40.
Mencken, J. B., 1728: Scriptores rerum Germanicar. , praecipue Saxoniarum. Tom. II. Leipzig 1728.
Meyer, Chr. (Hrsg.), 1894: Quellen zur Geschichte der Stadt Hof. Hof.

- Mitteilungen zur vaterländischen Geschichte, hrsg. vom Histor. Ver. in St. Gallen. 3. Folge. Bd. 28. St. Gallen 1902.
- Mone, F. J., 1848: Quellensammlung der badischen Landesgeschichte. Bd. I. Karlsruhe.
- Oefele, A. F., 1763: Rerum Boicar. scriptores nusquam ante hac editi etc. Tom. I. Augsburg.
- Pistorius, J., 1726: Rerum Germanicarum scriptores. Bd. I. Regensburg.
- Rahn, J. H., 1690: Eydtgenößische Geschicht-Beschreibung ... Zürich.
- Scriptores rerum Prussicarum. Bd. 4. Leipzig 1870.
- Scriptores rerum Silesiacarum, hrsg. vom Verein für Geschichte Schlesiens, Bd. 10. 1877.
- Scriptores rerum Silesiacarum, hrsg. vom Verein für Geschichte Schlesiens, Bd. 12. 1883.
- Steinhofer, J. U., 1744: Neue Wirtenbergische Chronik. Tübingen.
- Tschamser, M., 1864: Annales oder Jahrs-Geschichten ... zu Thann. 2 Bände. Colmar.
- Tuetey, A. (Ed.), 1881: Journal d'un bourgeois de Paris (1405–1449) ...
- Viethe, A., 1733: Beschreibung und Geschichte des Landes Dithmarschen oder Geographische, Politische und Historische Nachricht vom bemeldten Lande. Hamburg.
- Wattenbach, W., 1861: Monumenta Lubensia.
- Wurstisen (lat. Urstisius), Chr., 1580: Baßler Chronik. Basel.
- Wurstisen (lat. Urstisius), Chr., 1765: Baßler Chronik ... sammt der Fortsetzung bis in das 1680. Jahr (3 Bände). Basel.

Fakultät für Physik und Geowissenschaften

Institut für Meteorologie Stephanstr. 3 04103 Leipzig

Forschungsbericht 2015

1. Bearbeitete Forschungsprojekte 2015

Institut für Meteorologie

Direktor: Prof. Dr. M. Wendisch

Allgemeine Meteorologie AG Atmosphärische Strahlung

Flugzeuggetragene und bodengebundene Messungen von Albedo, BRDF und Schneeeigenschaften in der Antarktis und deren Kopplung zur Verbesserung prognostischer Schneemodelle

Coupling of airborne and in situ ground based measurements of surface albedo, BRDF and snow properties in Antarctica to improve prognostic snow models

Schlagworte: Antarktis, Schnee, Albedo, flugzeuggetragene Messungen, atmosphärische Strahlung

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

T. Carlsen (tim.carlsen@uni-leipzig.de), A. Ehrlich (a.ehrlich@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2013

Projektende: 2017

Beschreibung

Im Rahmen des Projekts werden die zeitliche und räumliche Variabilität von Oberflächenalbedo, bidirektionaler Reflektivität BRDF und Schneeeigenschaften in der Antarktis untersucht. Das Hauptziel dieses Vorhabens ist eine Verbesserung von prognostischen Schneemodellen und von Parametrisierungen der Schneearbedo, wie sie derzeit in regionalen und globalen Klimamodellen verwendet werden. Diese Parametrisierungen werden in Abhängigkeit von Schneekorngröße, Schneeoberflächenrauigkeit und atmosphärischen Parametern formuliert. Um dieses Ziel zu erreichen, werden bodengebundene in situ Messungen (zeitliche Variabilität) und flugzeuggetragene Fernerkundungsmessungen (räumliche Variabilität) miteinander kombiniert. Die vom Flugzeug erhobenen Daten umfassen die spektrale Bodenalbedo, BRDF, Bodenrauigkeit und Schneekorngröße. Die dazu benötigten Fernerkundungsverfahren werden im Rahmen des Projekts verbessert bzw. entwickelt werden. Die gleichen Größen werden auf dem antarktischen Plateau mittels bodengebundener Messungen an der Kohnen Station erhoben werden. Die bodengebundenen Daten decken dabei die zeitliche Variabilität von Schnee- und Atmosphäreneigenschaften ab, was es ermöglicht, prognostische Schneemodelle zu validieren und zu verbessern, die an ein Strahlungstransfermodel angekoppelt sind. Durch

die Einbindung von Messdaten in die Modelle und einem anschließenden Vergleich zwischen simulierter und gemessener Schneeaalbedo sowie durch Sensitivitätsstudien werden Parametrisierungen der Schneeaalbedo, wie sie in Strahlungs- und Klimamodellen verwendet werden, validiert und verbessert. Diese Erkenntnisse werden dazu dienen, Unsicherheiten in Vorhersagen der zukünftigen Klimaänderung in der Antarktis zu reduzieren.

Description

We propose to investigate the temporal and spatial variability of surface albedo, bidirectional reflectivity BRDF and snow properties in Antarctica. The overall goal of the project is to improve prognostic snow models and parameterizations of snow albedo used in regional and global climate models. The parameterizations will be formulated in dependence on snow grain size, snow surface roughness and atmospheric parameters. To achieve this goal we will couple ground based in situ (temporal variability) and airborne remote sensing measurements (spatial variability). Airborne data will include spectral surface albedo, BRDF, surface roughness and snow grain size. Corresponding remote sensing retrieval algorithms will be improved and developed in the project. The same quantities will be measured in situ on the Antarctic plateau by ground based instruments installed at Kohnen Station. The ground based measurements covering the temporal variability of snow and atmospheric properties will allow validating and improving prognostic snow models coupled to a radiative transfer code. By implementing measurement data in the models and comparing simulated and measured snow albedo and by sensitivity studies, snow albedo parameterizations for use in radiative transfer and climate models will be validated and improved. This will reduce uncertainties in predicting future climate change in Antarctica.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Uni Leipzig, DFG WE 1900/29-1

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Eine neue Methode zur bodengebundenen Fernerkundung von Profilen mikrophysikalischer Eigenschaften von Wolken mittels abtastender Radiometrie und Lidar

A novel method for ground-based remote sensing of profiles of cloud microphysical properties using scanning radiometry supplemented by Lidar

Schlagworte: hochreichende Konvektion, Wolken, atmosphärische Strahlung, bodengebundene Fernerkundung, Lidar

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

E. Jäkel (e.jaekel@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2011

Projektende: 2015

Beschreibung

Mit Hilfe einer neuen bodengebundenen aktiven und passiven Fernerkundungs-methode soll die vertikale Entwicklung der Wolkenmikrostruktur und das Tropfenwachstum in konvektiven Wolken untersucht werden. Für diesen Zweck werden Strahldichtemessungen (passiv) der an den Wolkenrändern reflektierten solaren Strahlung mit Lidarmessungen (aktiv) kombiniert. Die Wolkenseite wird mit beiden Geräten sowohl zeitlich als auch örtlich synchronisiert vermessen. Diese Messungen werden mit neuen Algorithmen zur Gewinnung von wolken-mikrophysikalischen Parametern kombiniert. Aus den analysierten Messungen kann dann ein Vertikalprofil der thermodynamischen Phase, sowie der effektive Wolkenpartikelradius abgeleitet werden. Dabei werden die drei-dimensionalen Strahlungseffekte der räumlich und zeitlich inhomogenen konvektiven Wolke berücksichtigt, was bei dieser Beobachtungsgeometrie unabdingbar ist.

Description

Aim of the project is to develop and apply a novel, ground-based combined passive and active remote sensing method to retrieve vertical profiles of microphysical parameters of convective clouds. Information will be obtained on the vertical evolution (from cloud base to anvil) of the cloud microphysical structure and on the onset of precipitation in growing convective cloud elements. Radiance measurements of spectral solar radiation reflected by convective clouds (passive) will be combined with Lidar data (active). The cloud sides will be scanned synchronously (temporally and spatially) by both instruments. A new retrieval method will be developed to derive vertical profiles of cloud thermodynamic phase (liquid water or ice) and effective droplet and particle radius from the measurements. The three-dimensional (3D) nature of convective clouds will be explicitly considered in the microphysical retrievals by applying a 3D radiative transfer model. The results of this project will also serve as a proof-of-concept for applications on future airborne (HALO, in particular) and satellite missions.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: DFG JA 2023/2-1

Allgemeine Meteorologie AG Atmosphärische Strahlung

Flugzeuggetragene Fernerkundung von Wolkenseiten mit abbildenden Spektroradiometern zur Bestimmung von Profilen mikrophysikalischer Eigenschaften von konvektiven Wolken

Airborne remote sensing of cloud sides using imaging spectrometers to derive profiles of microphysical properties for deep convective clouds

Schlagworte: atmosphärische Strahlung, konvektive Wolken, flugzeuggetragene Fernerkundung

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

S. Kanter (sandra.kanter@uni-leipzig.de), E. Jäkel (e.jaekel@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2014

Projektende: 2015

Beschreibung

Mit Hilfe von Flugzeuggetragenen Messungen an Wolkenseiten reflektierter solar Strahlung sollen vertikale Profile von mikrophysikalischen Wolkeneigenschaften, Wolkenphase und Größe der Wolkenpartikel, abgeleitet werden. Dazu wird eine Kombination zweier abbildender Spektrometer verwendet, die zusammen nahezu den gesamten solaren Spektralbereich abdecken. Die Messungen werden im Rahmen von ACRIDICON aus einem Seitenfenster des Forschungsflugzeuges HALO durchgeführt. Durch Vorbeiflüge an den Wolken können 2-dimensional Abbildungen der Wolken mit voller spektraler Auflösung gewonnen werden. Insbesondere die spektralen Unterschiede in den Absorptionsbanden von flüssigem Wasser und Eis die mit dem System ausreichend aufgelöst werden, sollen dazu dienen die Phase der Wolkenpartikel in verschiedenen Höhen zu bestimmen. Gleichzeitig können unter Annahme der Wolkenphase die Größen der Wolkenpartikel bestimmt werden. Durch die Untersuchung von mehreren Wolken in verschiedenen Wachstumsstadien soll die mikrophysikalische Entwicklung der Wolken besser untersucht werden.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: MPI-Chemie Mainz

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Räumlich inhomogene Zirren: Einfluss auf die atmosphärische Strahlung
Spatially Inhomogeneous Cirrus: Influence on Atmospheric Radiation

Schlagworte: Zirren, atmosphärische Strahlung, flugzeuggetragene Fernerkundung

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

F. Finger (f.finger@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2010

Projektende: 2016

Beschreibung

Die Strahlungseffekte durch inhomogene Zirren werden mit Hilfe einer Kombination von Flugzeuggetragenen Messungen (Strahlung und mikrophysikalische Eigenschaften), einem 3D Strahlungsmodell und einem dynamischen wolkenauflösenden Zirrus-Modell untersucht. Ein instrumentiertes Flugzeug (Lear-Jet) misst die spektrale Strahlung über Zirren im Rahmen einer Feldmesskampagne. Daraus werden die mikrophysikalischen Felder der Zirren abgeleitet. Diese werden verglichen mit gleichzeitigen in situ Messungen, welche mit einer Schleppsonde gesammelt werden. Diese wird gleichzeitig vom Flugzeug durch die Zirren gezogen wird. Parallel dazu werden die örtlichen Inhomogenitäten der Zirren Felder mit Hilfe einer abbildenden digitalen CCD Kamera beobachtet. Zusätzlich wird ein wolkenauflösendes Zirren-Modell benutzt zur Berechnung

der mikrophysikalischen Zirren-Felder. Die aus den kombinierten in situ und indirekten Messungen abgeleiteten sowie modellierten mikrophysikalischen Zirren-Felder werden als Eingabe für ein 3D Strahlungsmodell benutzt, um die 3D-Effekte inhomogener Zirren zu untersuchen.

Description

The radiative effects of inhomogeneous cirrus fields will be studied by a combination of airborne measurements (radiation and microphysical properties), a three-dimensional (3D) radiative transfer model and a dynamic cloud-resolving cirrus model. An instrumented aircraft (Lear-Jet) will sample spectral radiation above cirrus within a field campaign. From these data the microphysical cirrus properties will be retrieved and compared to simultaneous in situ measurements collected with an aircraft-towed sensor shuttle which is mounted below the Lear-Jet. In close collocation the spatial inhomogeneities of the sampled cirrus fields will be observed by an imaging digital CCD camera. In parallel, a cloud-resolving model will simulate microphysical cirrus fields. The combined in situ measured and retrieved microphysical cirrus fields as well as the simulated microphysical cirrus fields will be used as input to a 3D radiative transfer model to investigate the radiative effects of spatially inhomogeneous cirrus.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG WE 1900/19-1

**Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung**

Solare Strahlungsmessungen auf HALO
Solar Radiation Measurements on HALO

Schlagworte: : Zirren, atmosphärische Strahlung, flugzeuggetragene Fernerkundung

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

C. Fricke (fricke@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2010

Projektende: 2015

Beschreibung

HALO (High Altitude and LOng Range Research Aircraft) ist das Synonym für das neue deutsche Forschungsflugzeug mit dem es möglich sein wird, eine Vielzahl von verschiedensten atmosphärischen Parametern bis hin in die untere Stratosphäre zu messen. Aufgrund seiner Reichweite, sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung bietet HALO die Möglichkeit großräumige Strahlungsfelder zu erfassen. Während zwei HALO Demo-Missionen kommen dabei neu entwickelte Spektrometersysteme zur spektralen Erfassung solarer Strahlung zum Einsatz. Die dabei ermittelten Messgrößen sind zum einen die (i) spektrale Strahlflussdichte, welche den solaren Strahlungshaushalt der Atmosphäre bestimmt, sowie die (ii) spektrale aktinische Flussdichte, welche

photolytische Prozesse innerhalb der Atmosphäre kontrolliert. Die solare spektrale Strahldichte in Nadir-Richtung wird für Fernerkundungsuntersuchungen zusätzlich simultan gemessen. Für die Strahlflussdichten ist es dabei entscheidend, die aufwärts- sowie abwärts gerichteten Flussdichten, welche mittels der Kosinusempfänger oberhalb und unterhalb des Flugzeugs empfangen werden, zu unterscheiden. Hierfür sind Stabilisierungsplattformen vorgesehen, die die Bewegungen des Flugzeuges aufzeichnen und die Position der Empfänger mit hinreichender zeitlicher Verzögerung korrigieren. Bezuglich der aktinischen Flussdichte ist die Kombination aus hoher zeitlicher Auflösung und hoher Genauigkeit innerhalb des UV-B Bereiches die größte Herausforderung. Realisiert wird selbige durch eine entsprechende Kombination aus Monochromatoren und Detektoren. Die aus allen Daten gewonnenen Erkenntnisse sollen zur Modellverbesserung verwendet werden, um sowohl Oxidationsprozesse als auch die mikrophysikalischen Prozesse, welche für die Bildung und zeitlichen Entwicklung von Zirren verantwortlich sind, besser zu verstehen.

Description

New instruments for spectral measurements of solar radiation on HALO will be developed and applied in two demonstration missions (OMO, ML-CIRRUS). The target quantities are (i) spectral irradiance which determines the solar radiation budget of the atmosphere, and (ii) spectral actinic flux density which controls atmospheric photochemistry through photo-dissociation processes. Solar spectral radiance from the nadir direction will be measured simultaneously for remote sensing purposes. For the irradiance measurements it is of great importance to accurately distinguish between up-welling and down-welling flux density incident on cosine receivers on top and underneath the airplane. It is therefore planned to apply stabilizing platforms which track the movements of the airplane and correct the position of the receivers with sufficient time response. For the actinic flux density the main challenge is to establish measurements with both high time resolution and high accuracy in the UV-B range by using suitable combinations of spectral monochromators and detectors. This is crucial to quantify ozone photolysis besides other processes. Setup, tests and operations of the instruments will be made by two PhD students requested within this proposal. The measurements will provide (i) spectral cloud radiative forcings and (ii) photolysis frequencies which are essential objectives of the two demonstration missions ML-CIRRUS and OMO and possibly further missions within the application period.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: DFG WE 1900/21-1

**Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung**

HALO Koordination von “Aerosol, Cloud, Precipitation, and Radiation Interactions and Dynamics of Extra-Tropical Convective Cloud Systems” (ACRIDICON)
HALO coordination of ACRIDICON

Schlagworte: konvektive Wolken, flugzeuggetragene atmosphärische Beobachtungen, flugzeuggetragene Fernerkundung

Projektleiter:
M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

D. Rosenow (d.rosenow@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2010**Projektende: 2016****Beschreibung**

Konvektive Wolken können erheblichen ökonomischen Schaden verursachen aufgrund von starken Windböen, heftigen Schauern und Niederschlägen, welche teilweise mit Hagel, Graupel, und Gewittern verbunden sein können. Die Dynamik und Heftigkeit dieser ausgeprägten Wettererscheinungen werden bestimmt durch mikrophysikalische Prozesse bei der Wolken- und Niederschlagsbildung, welche beeinflusst werden können durch Aerosolpartikel und Wechselwirkungen mit atmosphärischer Strahlung. Weiterhin werden durch konvektive Wolken Spurengase und Aerosolpartikel prozessiert und umverteilt durch vertikalen Transport sowie Ein- und Ausmischen der Wolke mit der Umgebungsluft. Um diese Wechselwirkungen zwischen Spurengasen, Aerosolpartikeln und der Wolken- und Niederschlagsbildung sowie atmosphärischer Strahlung in außertropischen, konvektiven Wolken zu untersuchen, wurde die HALO Demo-Mission "Aerosol, Wolken, Niederschlag, und Strahlungswechselwirkungen sowie Dynamik von außertropischen, konvektiven Wolkensystemen (ACRIDICON)" vorgeschlagen. ACRIDICON trägt bei zu zwei Schwerpunkten des SPP 1294 bei: „Wolken und Niederschlag“ und „Transport und Dynamik in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre“. Der vorliegende Antrag beinhaltet hauptsächlich die Organisation und das Management von ACRIDICON sowie teilweise einen Beitrag zur Analyse und Auswertung der Strahlungsmessungen, welche bei dieser HALO Demo-Mission gesammelt werden.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG WE 1900/22-1

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Koordination des Schwerpunktprogramms 1294 "Atmosphären- und Erdsystemforschung mit dem Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft)"
HALO coordination project

Schlagworte: Flugzeuggetragene Forschung**Projektleiter:**

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

D. Rosenow (d.rosenow@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2010**Projektende: 2016****Beschreibung**

Das Projekt dient vornehmlich der Kooperation und der Kommunikation unter den Einzelprojekten des Schwerpunktprogramms. Im Rahmen des Projekts werden ein jährliches Statusseminar sowie jährliche Themen-Workshops geplant und durchgeführt. Die drei Koordinatoren vertreten den SPP gegenüber der DFG, dem Wissenschaftlichen Lenkungsausschuss von HALO (WLA), dem HALO Projektteam des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und nach außen. Das Koordinatoren-Team betreibt Maßnahmen zur Nachwuchs- und Gleichstellungsförderung. Zentrale Initiativen wie gemeinsame Sammelveröffentlichungen in einem Sonderband oder die Durchführung von Sitzungen zu Themenschwerpunkten ("special sessions") bei internationalen Konferenzen sowie der Internetauftritt des SPP werden im Rahmen dieses Projekts koordiniert und durchgeführt.

Description

Funds for the central coordination of SPP 1294 HALO are requested within this proposal. The project serves most of all the promotion of cooperation and communication among the individual scientific projects of the SPP. An annual status seminar as well as topical workshops are organized and conducted within this project. The coordinators represent the SPP via the DFG, the scientific steering committee of HALO (WLA), the HALO project team of the German Aerospace Center (DLR) and the public. The funds for measures to promote gender equality are managed and measures for training of young researchers are coordinated. Within the project special sessions at international conferences or publication of special issues are initiated. An SPP web page is set up and maintained. To support the coordinators in conducting these tasks, staffing for a half-time position of a scientific administrator is applied for.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG WE 1900/24-1

**Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung**

EUFAR2 - European Facility for Airborne Research in Environmental and Geosciences

Schlagworte: Flugzeuggetragene Forschung

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

D. Rosenow (d.rosenow@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2014

Projektende: 2018

Beschreibung

Im Rahmen dieses Projektes werden die Expert Working Groups koordiniert. Workshops werden organisiert, und ein Buch wurde geschrieben:

Wendisch, M., and J.-L. Brenguier (Eds.), 2013: Airborne Measurements for Environmental Research: Methods and Instruments. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.

KGaA, Weinheim, Germany. ISBN: 978-3-527-40996-9. 655 pp.,
doi:10.1002/9783527653218.

Description

Within the project Expert Working Groups were coordinated. Workshops were organized with the aim to publish a book reviewing airborne atmospheric measurement methods.

Wendisch, M., and J.-L. Brenguier (Eds.), 2013: Airborne Measurements for Environmental Research: Methods and Instruments. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.

KGaA, Weinheim, Germany. ISBN: 978-3-527-40996-9. 655 pp.,
doi:10.1002/9783527653218

Weiterführung: ja

Mittelgeber: EU

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Spektrale Strahlungsbilanz über dem Atlantik aus Modell und Beobachtung
Spectral radiation budget over the Atlantic Ocean from model and observation

Schlagworte: Wolkenfernerkundung, Polarstern, Schiffsmessungen

Projektleiter:

A. Macke (macke@tropos.de)
M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

M. Brückner (mbrueck@rz.uni-leipzig.de)
B. Pospichal (bernhard.pospichal@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2011

Projektende: 2015

Beschreibung

Der Stoff- und Energieaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre spielt eine entscheidende Rolle für die physikalische, chemische und biologische Entwicklung unseres Klimasystems Erde. Die von den beteiligten Forschungseinrichtungen entwickelten und eingesetzten Technologien zur in-situ Messung im Ozean und zur aktiven/passiven Fernerkundung der Atmosphäre, ermöglichen erstmalig durch eine Kombination dieser Daten eine kontinuierliche Erfassung relevanter Parameter. Im Rahmen des WGL-Verbundprojekts OCEANET wurde in Zusammenarbeit der Forschungseinrichtungen (IFM-GEOMAR, IfT Leipzig, Universität Leipzig, GKSS Geesthacht, AWI) eine autonome Messplattform entwickelt, die langfristig für den operationellen Betrieb an Bord von Fracht- und Forschungsschiffen vorgesehen ist. Zum Verstehen des Klimasystems Ozean und Atmosphäre spielen Wolken und Strahlung eine wichtige Rolle. Da die Wolkenstrukturen sehr inhomogen sind und damit für Strahlungsübertragungsprozesse entscheidend sind, müssen diese Prozesse in Strahlungsparametrisierungen berücksichtigt werden. Eine Kombination der Beobachtung von physikalischen Eigenschaften und Strahlungseigenschaften von Wolken sind eine

Möglichkeit solche Parametrisierungen anzulegen oder zu validieren. Mithilfe der Erweiterung der breitbandigen Strahlungsflussdichtemessungen auf spektrale Strahldichte- und Strahlungsflussdichtemessungen mit einem bodengebundenem Spektrometer (CORAS) können unterschiedliche Wolkentypen zugeordnet werden. Beobachtete Atmosphärenzustände werden in ein 3D-Monte-Carlo Strahlungstransportmodell eingegeben, sodass die Ergebnisse mit den gemessenen Parametern verglichen werden können. Die Messungen finden weitestgehend auf FS Polarstern statt.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS)

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Ein Monte Carlo Modell zur Berechnung spektraler atmosphärischer Strahlungsgrößen unter Berücksichtigung von Polarisationsprozessen
A Monte Carlo Model to calculate atmospheric radiation considering polarization

Schlagworte: Strahlungstransfermodellierung, Polarisation

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)
A. Macke (macke@tropos.de)

Projektmitarbeiter:

Vasilis Barlakas

Projektbeginn: 2012

Projektende: 2016

Beschreibung

Hierbei wird ein neues Strahlungsübertragungsmodell aufgebaut welches explizit Polarisationseffekte berücksichtigt. Das Modell soll nach Fertigstellung mit ähnlichen Modellen verglichen und durch entsprechende Messungen validiert werden.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Leibniz-Doktorandenschule

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Flugzeuggetragene spektrale solare Strahlungsmessungen während ACRIDICON zur Untersuchung hochreichender Konvektion und Validierung satellitengetragener Fernerkundungssysteme.

Airborne spectral solar radiation measurements during ACRIDICON to investigate deep convection and validate space borne remote sensing.

Schlagworte: Flugzeuggetragene Fernerkundung, Satellitenvalidierung, hochreichende Konvektion.

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Trismono Candra Krisna

Projektbeginn: 2014

Projektende: 2018

Beschreibung

Innerhalb des ACRIDICON Projektes wurden flugzeuggetragene solare Strahlungsmessungen an Bord des Forschungsflugzeugs HALO durchgeführt. Die Messungen fanden in Brasilien im tropischen Regenwald statt und hatten das Ziel hochreichende konvektive Bewölkung zu untersuchen. Die spektralen Messungen sollen für zwei Ziele verwendet werden. In einem ersten Schritt sollen kalibrierte Strahldichtemessungen des SMART-Albedometers genutzt werden, um die Genauigkeit von Satellitenmessungen zu quantifizieren. Im zweiten Schritt werden die Daten verwendet, um Wolkeneigenschaften abzuleiten. Ein Vergleich der Ergebnisse mit den vom Satelliten abgeleiteten Wolkenparametern soll dazu dienen, die Unsicherheiten in den Satellitenmessungen zu bestimmen. Die Möglichkeiten zur Verbesserung der Ableitungsalgorithmen durch die Nutzung der vollen spektralen Information soll untersucht werden. Die abgeleiteten Wolkenparameter sollen über statistische Verfahren genutzt werden, um den Strahlungseinfluss der Wolken im Verlaufe ihres Lebenszyklus zu verfolgen.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DAAD

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

Hochaufgelöste Messungen von Turbulenz, Wolkenmikrophysik, und Strahlungsabkühlungsraten in der Einmischungzwischenschicht von marinen Stratocumulus-Wolken.

High resolved measurements of turbulence, cloud microphysical properties and radiative cooling rates in the entrainment zone of marine strato cumulus.

Schlagworte: Hubschraubergetragene Messungen, Stratocumulus, Energiebilanz, Strahlungsabkühlung.

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Dr. Holger Siebert, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. (TROPOS)

Projektmitarbeiter:

Felix Lauermann

Projektbeginn: 2015

Projektende: 2018

Beschreibung

Obwohl bisher schon viele Fortschritte im allgemeinen Verständnis von Mischungs- und Strahlungsprozessen in Stratocumulus (Sc) gemacht wurden, verursachen wolkenbedingte Rückkopplungseffekte von Sc Wolken erhebliche Unsicherheiten in Klimaprojektionen. Diese Probleme werden teilweise verursacht durch eine unrealistische Beschreibung der feinskaligen Mischungsprozesse, die hauptsächlich am Oberrand der Wolken stattfinden. Die Strahlungs-Abkühlung am Wolkenoberrand ist eng mit dynamischen und turbulenten Wolkenprozessen verbunden. Abkühlung am Oberrand der Wolken verursacht ein Absinken. Diese Vertikalbewegungen bedingen Turbulenz wodurch trockene und warme Umgebungsluft in die Wolke eingemischt wird, wodurch sich die damit verbundene Verdunstungsabkühlung erhöht. Zur Untersuchung dieser Vorgänge schlagen wir folgende wesentlichen Projektziele vor: (a) die Verbesserung des Verständnisses der feinskaligen Struktur der Einmischungsinversionszwischenschicht (entrainment interface layer, EIL), (b) die Quantifizierung des Einflusses der EIL auf die Einmischung trockener und warmer Umgebungsluft in Sc Wolken, (c) die Bewertung der Rolle von Strahlungserwärmungs- und Abkühlungsraten bei Einmischungsprozessen in Sc Wolken. Um diese Ziele erreichen zu können, werden Beobachtungen vorgeschlagen mit den zwei kombinierten, hubschraubergetragenen Messsystemen ACTOS (Airborne Cloud Turbulence Observation System) und SMART--HELIOS (Spectral Modular Airborne Radiation measurement sysTem). Die Messungen finden auf den Azoren statt. Beide Messsysteme werden durch einen langsam fliegenden Hubschrauber getragen. Das kombinierte Messsystem-Paket ermöglicht in-situ Messungen von dynamischen, thermodynamischen, Wolken-mikrophysikalischen, und Strahlungsparametern mit hoher örtlicher Auflösung (überwiegend im cm-Bereich). Kein anderes Messsystem weltweit erreicht diese hohe Auflösung, die allerdings unabdingbar ist für die Erreichung der Projektziele ist. Dies trifft insbesondere auf die Vermessung der Vorgänge in der EIL zu, welche meist eine vertikale Dicke von nur 10 m aufweist.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, WE 1900/33-1

Allgemeine Meteorologie
AG Atmosphärische Strahlung

STRATOCLIM - Stratospheric and upper tropospheric processes for better climate predictions

Schlagworte: Flugzeuggetragene Forschung

Projektleiter:

M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

NN

Projektbeginn: 2013

Projektende: 2018**Beschreibung**

STRATOCLIM wird verlässlichere Vorhersagen von Klimaänderungen und stratosphärischer Ozonverteilung erreichen, durch eine Verbesserung des Systemverständnisses von wichtigen Prozessen in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre. Unsere Gruppe ist mit Modellberechnungen zur Bestimmung von Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Tropopausenregion beteiligt.

Description

StratoClim will produce more reliable projections of climate change and stratospheric ozone by a better understanding and improved representation of key processes in the Upper Troposphere and Stratosphere (UTS). This will be achieved by an integrated approach bridging observations from dedicated field activities, process modelling on all scales, and global modelling with a suite of chemistry climate models (CCMs) and Earth system models (ESMs). At present, complex interactions and feedbacks are inadequately represented in global models with respect to natural and anthropogenic emissions of greenhouse gases, aerosol precursors and other important trace gases, the atmospheric dynamics affecting transport into and through the UTS, and chemical and microphysical processes governing the chemistry and the radiative properties of the UTS. StratoClim will (a) improve the understanding of the microphysical, chemical and dynamical processes that determine the composition of the UTS, such as the formation, loss and redistribution of aerosol, ozone and water vapour, and how these processes will be affected by climate change; (b) implement these processes and fully include the interactive feedback from UTS ozone and aerosol on surface climate in CCMs and ESMs. Through StratoClim new measurements will be obtained in key regions:

- (1) in a tropical campaign with a high altitude research aircraft carrying an innovative and comprehensive payload,
- (2) by a new tropical station for unprecedented ground and sonde measurements, and
- (3) through newly developed satellite data products.

The improved climate models will be used to make more robust and accurate predictions of surface climate and stratospheric ozone, both with a view to the protection of life on Earth. Socioeconomic implications will be assessed and policy relevant information will be communicated to policy makers and the public through a dedicated office for communication, stakeholder contact and international co-operation.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: EU

**Theoretische Meteorologie
AG Wolken und globales Klima**

Evaluierung des Einflusses von kurzlebigen Verschmutzungen der Atmosphäre auf Klima und Luftqualität

Evaluating the climate and air quality impacts of short-lived pollutants (ECLIPSE)

Schlagworte: Luftqualität, Klimawandel, Klimaantrieb, Ruß, Methan

Projektleiter:

Koordinator: A. Stohl, Norwegian Institute for Air Research (ast@nilu.no)
J. Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Ribu Cherian (ribu.cherian@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2011

Projektende: 2015

Beschreibung

ECLIPSE hat zum Ziel, effektive Emissions-Reduktions-Strategien für kurzlebige, klimarelevante Verschmutzungsstoffe in der Atmosphäre zu entwickeln und zu evaluieren. Gase und Aerosole wie Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Sulfat und Ruß werden derzeit nicht in klimapolitische Maßnahmen einbezogen. Eine Reduktion kann aber der Abmilderung des Klimawandels dienen und gleichzeitig die Luftqualität verbessern. In ECLIPSE trägt die Universität Leipzig gekoppelte Klimasimulationen mit dem Modellsystem ECHAM6-HAM/MPIOM bei und analysiert Beobachtungen der Klimaänderungen in Osteuropa nach der Wende.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: EU FP7

Theoretische Meteorologie**AG Wolken und globales Klima****Monitoring von Zusammensetzung der Atmosphäre und Klima – III.**

Monitoring atmospheric composition and climate – III (MACC-III)

Schlagworte: Luftqualität, Datenassimilation, Aerosol-Strahlungsantrieb

Projektleiter:

Koordinator: V.-H. Peuch, Europäisches Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage
(Vincent-Henri.Peuch@ecmwf.int)
J. Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Johannes Mülmenstädt (johannes.muelmenstaedt@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2015

Projektende: 2015

Beschreibung

Im Rahmen des europäischen Beitrags für das globale Monitoring für Umwelt und Sicherheit (Global Monitoring for Environment and Security, GMES), bildet MACC den Vorläufer des operationellen Dienstes für die Atmosphärenkomponente. Dabei wird durch die Assimilation einer Vielzahl von Beobachtungen der Zusammensetzung der Atmosphäre in einer neuen

Version des Wettervorhersagemodells des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) ein konsistenter Datensatz geschaffen. Beitrag der Universität Leipzig ist es, den Klimaantrieb durch den anthropogenen Beitrag zur Aerosolbelastung aufgrund ihres Einflusses auf die Wolken zu berechnen. Auf Basis des neuen Datensatzes soll ein verbesserter Ansatz entwickelt werden.

Weiterführung: nein
Mittelgeber: EU Horizon2020

Theoretische Meteorologie AG Wolken und globales Klima

Wolken und Niederschlag im Klimasystem

High Definition Clouds and Precipitation for Climate Prediction

(HD(CP)²) – Teilprojekte :

HD(CP)² - O2 Full-domain observations

HD(CP)² - S1 Diagnostics

HD(CP)² - S6 PDF cloud schemes

Schlagworte: Wolken, Niederschlag, Klimawandel, Parametrisierungen, hochauflöste Modellierung

Projektleiter:

Koordinator: Bjorn Stevens, Max-Planck-Institut für Meteorologie

(bjorn.stevens@zmaw.de)

J. Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Christine Nam (christine.nam@uni-leipzig.de)

Odran Sourdeval (odran.sourdeval@uni-leipzig.de)

Matthias Brück (matthias.brueck@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2011

Projektende: 2016

Beschreibung

Ziel von HD(CP)² ist es, Parametrisierungen von Wolken- und Niederschlagsprozessen in Klimamodellen zu verbessern, und die Verbesserung der simulierten Wolken-Klima-Feedbacks nachzuweisen. Dazu wird in den Teilprojekten zur Modellierung eine hochauflöste (100 m horizontal) Simulation für mehrere Monate über Mitteleuropa vorbereitet, die als Referenz dienen kann. In den Teilprojekten zur Beobachtung werden Datensätze erstellt, die der Evaluierung dieses Modells und der Erstellung oder Verbesserung und Evaluierung von Klimamodellparametrisierungen dienen. In O2 werden konkret Messnetze (Niederschlagsradar, GPS, Ceilometer) und Satellitendaten für flächige Informationen über dem gesamten HD(CP)²-Gebiet aufgearbeitet. In den Teilprojekten zur

Synthese wird darauf hingearbeitet, die sehr großen Datenmengen der geplanten Simulation sinnvoll zu verarbeiten. Konkret werden in Teilprojekt S1 Diagnostiken entwickelt, die relevante Metriken online während der Simulation berechnen, so dass kein Herausschreiben von sehr großen Datensätzen und Postprocessing nötig ist. Im Beitrag der Universität Leipzig werden hier Joint-PDFs konstruiert, die für Wolkenparametrisierungen relevant sind. In Teilprojekt S6 wird die Nutzung dieser PDFs für die Evaluierung von Wolkenparametrisierungen in Klimamodellen, die auf Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (probability density functions, PDFs) der subskaligen Verteilung von der Gesamtwasser-spezifischen Feuchte und ggf. anderen Größen basieren, vorbereitet. Dazu werden Sensitivitätssimulationen mit ECHAM6 mit verschiedenen Wolkenparametrisierungen durchgeführt, und eine Evaluierung auf der Basis der HD(CP)²-Beobachtungen vorgenommen.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: BMBF

Theoretische Meteorologie AG Wolken und globales Klima

Quantifizierung von Aerosol-Wolken-Klima-Effekten für Wolkenregime

Quantifying Aerosol-Cloud-Climate Effects by Regime

Schlagworte: Aerosol, Wolken, Klimawandel, Strahlungsantrieb

Projektleiter:

Koordinator: Johannes Quaas, Universität Leipzig (johannes.quaas@uni-leipzig.de)
J. Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Dipu Sudhakar (dipu.sudhakar@uni-leipzig.de)
Claudia Unglaub (unglaub@rz.uni-leipzig.de)
Karoline Block (karoline.block@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2011

Projektende: 2017

Beschreibung

Ziel von QUAERERE ist die verlässliche Quantifizierung des Strahlungsantriebs von anthropogenen Aerosolen durch ihren Effekt auf Wolken. Aufbauend auf früheren Arbeiten sollen hierzu Satellitendaten verschiedener Instrumente kombiniert und in einem statistischen Ansatz ausgewertet werden. Die Aerosol-Informationen für diese Studie stammen dabei nicht direkt aus Satellitendaten, sondern in wesentlich verbesserter Qualität aus der Reanalyse des MACC-II-Projekts. Die statistische Analyse soll für einzelne Wolken-Aerosol-Regime durchgeführt werden. Neben dieser beobachtungsbasierten Abschätzung sollen Simulationen mit dem regionalen Aerosol-Klima-Modell COSMO-MUSCAT (in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung) durchgeführt werden, die in Sensitivitätsstudien mit abgeschalteten anthropogenen Emissionen dazu dienen können, in den statistischen Korrelationen aus den Satellitendaten Kausalzusammenhänge

nachzuweisen. Schließlich soll in Simulationen mit dem globalen Aerosol-Klima-Modell ECHAM6-HAM2 eine globale Abschätzung erzielt werden, die konsistent ist mit der beobachtungsgestützten Abschätzung.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Europäischer Forschungsrat (ERC) Starting Grant

Theoretische Meteorologie
AG Wolken und globales Klima

Learning about cloud brightening under risk and uncertainty: Whether, when and how to do field experiments (LEAC)

Schlagworte: Klima-Engineering, Klimawandel, Wolken impfen

Projektleiter:

Koordinator: Johannes Quaas, Universität Leipzig (johannes.quaas@uni-leipzig.de)
J. Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Aswathy Nair (aswathy.nair@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2013

Projektende: 2016

Beschreibung

Im Rahmen des Schwerpunktprojekts „Climate engineering – risks, challenges, opportunitites?“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft untersucht das Projekt „LEAC“ den Vorschlag, mit Hilfe des Impfens von marinen Grenzschichtwolken mit Meersalzaerosol diese heller zu machen und so das Klima zu kühlen. Ein möglicher nächster Schritt der Forschung wäre gerade für diesen Vorschlag ein Feldexperiment, das in Raum und Zeit begrenzt sein könnte. Durch Analyse von Satellitendaten und Modellsimulationen wird zunächst untersucht, wie die Unsicherheit bezüglich des zu erreichen Strahlungsantriebs als Funktion der Größe in Raum und Zeit eines Feldexperiments reduziert werden könnte. Auch mögliche Nebeneffekte werden untersucht. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Umweltökonomie der Universität Kiel werden sozio-ökonomische Aspekte der Frage beleuchtet.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG,SPP 1689

Hochatmosphäre
Upper Atmosphere

Untersuchung der Anregungsmechanismen der 8-stündigen solaren Gezeiten in der mittleren Atmosphäre

Analysis of forcing mechanisms of the terdiurnal tide in the middle atmosphere

Schlagworte: Mittlere Atmosphäre, Gezeiten, Wellen

Projektleiter:

Prof. Dr. Christoph Jacobi (jacobi @ rz.uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

F. Lilienthal

Projektbeginn: 1.1.2014

Projektende: 31.12.2016

Beschreibung

Ein nichtlineares mechanistisches Zirkulationsmodell der mittleren Atmosphäre wird verwendet, um die Anregungsmechanismen der 8-stündigen Gezeiten in der mittleren Atmosphäre zu untersuchen. Das verwendete Modell MUAM (Middle and Upper Atmosphere Model) verfügt über Strahlungsroutinen zur selbstkonsistenten Anregung von Gezeiten. Zur Analyse der Gezeitenanregung werden im Modell die potenziellen Anregungsmechanismen einzeln und gemeinsam abgeschaltet. Die zu untersuchenden Anregungsmechanismen sind einerseits die direkte Anregung durch die 8-stündige Komponente im Strahlungsantrieb und andererseits die nichtlineare Wechselwirkung der ganz- und halbtägigen Gezeiten, repräsentiert in den Advektionstermen der Bewegungsgleichungen. Durch Vergleich mit Referenzläufen mit vollständiger Gezeitenanregung wird es möglich sein, die Anteile der jeweiligen Anregungsmechanismen am gesamten Wellenantrieb zu bestimmen. Die Arbeiten werden komplettiert durch Analyse von Radar- und Satellitendaten.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG JA 836/32-1)

Hochatmosphäre

Upper Atmosphere

**Kopplung der Stratosphäre und Troposphäre während plötzlicher
Stratosphärenwärmungen in der Nordhemisphäre**

***Stratosphere-troposphere coupling during sudden stratospheric warming events in
the Northern Hemisphere***

Schlagworte: Stratosphäre, Kopplung

Projektleiter:

Prof. Dr. Christoph Jacobi (jacobi @ rz.uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

-

Projektbeginn: 1.9.2015

Projektende: 31.8.2016

Beschreibung

An der Staatlichen Russischen Hydrometeorologischen Universität (RSHU) St. Petersburg werden intensive Untersuchungen zur Analyse der Dynamik der mittleren Atmosphäre durchgeführt. Diese erfolgen mit Hilfe numerischer Simulation und der Verwendung von Reanalysedaten, speziell MetOffice Reanalysen. Diese Daten sollen verwendet werden, um die Kopplung von unterer und mittlerer Atmosphäre während rascher winterlicher Stratosphärenerwärmungen zu untersuchen. Die Arbeiten werden innerhalb einer Masterarbeit an der RSHU, St. Petersburg, durchgeführt. Das Projekt umfasst weiterhin einen einmonatigen Besuch der Stipendiatin in Leipzig.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DAAD (Leonhard Euler, 57196870)

Hochatmosphäre

Upper Atmosphere

Untersuchung von Aerosol und Wolkeneigenschaften

Properties of aerosols and clouds

Schlagworte: Aerosole, Wolken

Projektleiter:

Prof. Dr. Christoph Jacobi (jacobi @ rz.uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

-

Projektbeginn: 1.9.2015

Projektende: 31.8.2016

Beschreibung

Innerhalb des Projekts sollen einerseits Wolkenkondensationskerne untersucht werden und die Beziehung zwischen Aerosolquellen und Kondensationsaktivität bestimmt werden, andererseits sollen mikrophysikalische Eigenschaften atmosphärischen Aerosols untersucht werden, insbesondere im Hinblick auf ihre Variabilität. Die Arbeiten werden innerhalb einer Masterarbeit und einer Dissertation an der Staatlichen Universität St. Petersburg durchgeführt. Das Projekt umfasst weiterhin den jeweils einmonatigen Besuch der Stipendiatinnen in Leipzig.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DAAD (Leonhard Euler, 57196970)

Allgemeine Meteorologie

AG Bodengebundene Fernerkundung
Ground-based remote sensing

Hochaufgelöste Wolken- und Niederschlagsstudien zur Verbesserung von Klimaprojektionen

HD(CP)²-High definition clouds and precipitation for advancing climate prediction

Schlagworte: Wasserdampf, Wolken, Ramanlidar, Mikrowellenradiometer

Projektleiter:

Jun.-Prof. Dr. Bernhard Pospichal (bernhard.pospichal@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

MSc Andreas Foth (andreas.foth@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 01.10.2012

Projektende: 31.03.2016

Beschreibung

Dieses Projekt beschäftigt sich mit einem sehr relevanten Thema in der aktuellen meteorologischen Forschung, nämlich der Repräsentation von Wolken in Atmosphärenmodellen. Dabei sind noch viele Unsicherheiten, sowohl auf der Beobachtungs- als auch auf der Modellseite zu bemängeln. Im Rahmen von HD(CP)² wird die Expertise zu diesem Themenkomplex deutschlandweit gebündelt. Intensivierte Beobachtungen an verschiedenen Orten, sowie die Kombination verschiedener Messverfahren, soll es u.a. ermöglichen, bessere Parametrisierungen von Wolken in Modellen zu erhalten. Am LIM wird in diesem Zusammenhang ein neuer Algorithmus zur Bestimmung vertikaler Wasserdampfverteilung aus Fernerkundungsdaten (passive Mikrowellenradiometer und Raman-Lidar) erstellt. Dabei werden Daten, die im Rahmen des Projekts bei Messkampagnen in Jülich (HOPE) und Melpitz (HOPE-2) gewonnen wurden, verwendet. Außerdem wird der Algorithmus auf andere Datensätze aus Leipzig, Lindenberg (DWD) sowie von Polarsternfahrten angewandt

Description:

This project deals with a very relevant topic in the current meteorological research, namely the representation of clouds in atmospheric models. There are still many uncertainties, both in observations and model. Within HD(CP)², experts on these topics are connected among different German research institutions. Intensified observations at different locations, as well as the combination of different measurement methods, will allow obtaining better parameterizations of clouds in models. At the LIM, a new algorithm to determine the vertical distribution of water vapor from remote sensing data (passive microwave radiometer and Raman Lidar) is created within HD(CP)². Data which have been obtained within the project at measuring campaigns in Jülich (HOPE) and Melpitz (HOPE-2) are used. In addition, the algorithm will be applied to other datasets from Leipzig, Lindenberg (DWD) as well as Polarstern cruises.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: BMBF, FKZ: 01LK1209D

Allgemeine Meteorologie

AG Bodengebundene Fernerkundung
Ground-based remote sensing

Leibniz Graduiertenschule Wolken-Aerosol-Strahlung

Leibniz Graduate School Clouds-Aerosol-Radiation

Schlagworte: Wolken, Atmosphärisches Aerosol, Atmosphärische Strahlung

Projektleiter:

Jun.-Prof. Dr. Bernhard Pospichal (bernhard.pospichal@uni-leipzig.de)

Hartwig Deneke (deneke@tropos.de)

Projektmitarbeiter:

MSc Daniel Merk (merk@tropos.de)

Projektbeginn: 01.07.2012

Projektende: 30.11.2015

Beschreibung

Im Rahmen der Leibniz-Graduiertenschule Wolken-Aerosol-Strahlung wird im Rahmen von sieben Promotionen der indirekte Aerosoleffekt von verschiedenen Seiten (Mikrophysik, Chemie, Fernerkundung, etc.) betrachtet. Die hier vorliegende Arbeit befasst sich mit Fernerkundungsbeobachtungen. Das Besondere daran ist die Verknüpfung von Satellitendaten (SEVIRI sichtbar und nahe Infrarot) und bodengebundener Fernerkundung (Lidar, Radar, Mikrowellenradiometer im Rahmen von LACROS). Daraus soll eine verbesserte Charakterisierung von Flüssigwasserwolken im Hinblick auf deren mikrophysikalischen Eigenschaften (effektiver Radius, optische Dicke) abgeleitet werden.

Description

In the frame of the Leibniz Graduate School Cloud-Aerosol-Radiation the aerosol indirect effect is studied from different points of view (microphysics, chemistry, remote sensing, etc.) from seven PhD students. This work deals with combining remote sensing observations from ground and space. The novel approach is the combination of satellite data (SEVIRI visible and near infrared) and ground-based remote sensing (lidar, radar, microwave radiometer at LACROS). An improved characterization of liquid water clouds in terms of their micro-physical properties (effective radius, optical thickness) can be derived with this approach.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: Leibniz-Gesellschaft (Zusammenarbeit mit TROPOS)

Allgemeine Meteorologie

AG Akustik

Acoustics

Lärm- und Feldlagerschutz der Bundeswehr

Noise protection of Bundeswehr

Schlagworte: Lärmschutz, Schallklima

Projektleiter:

Dr. A. Raabe (raabe@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Dipl. Met. Michael Wilsdorf (mwils@uni-leipzig.de)

Projektbeginn:

Projektende:

Beschreibung

Die Bewertung von Schallimmissionen, deren Quellen sich in großen Entfernung (bis zu 15km), aber auch in der näheren Umgebung (weniger als 5km) von Truppenübungsplätzen, oder auch Feldlagern der Bundeswehr befinden, ist ohne Berücksichtigung der aktuellen Wettersituation nicht möglich. Das heißt, dass die Ausbreitung akustischer Signale über mehrere Kilometer Entfernung wesentlich von der Temperatur- und Windvektorverteilung in dem Teil der Atmosphäre abhängen, durch den sich die Schallwellen ausbreiten. Die bisherige Vorgehensweise bei der Beachtung atmosphärischer Verhältnisse im Zusammenhang mit Schallimmissionen basiert im Wesentlichen auf der Verwendung von Radiosondendaten. Ihr Nachteil besteht darin, dass meist nur wenige Radiosondenaufstiege am Tag (meist 2x) durchgeführt werden und (weltweit) sich nur wenige Stationen über ein riesiges Gebiet verteilen. Deshalb wird der Frage nachgegangen ob Wetter-Modelldaten die Radiosondendaten auf eine solche Weise ersetzen können, dass die auf Basis der Modelldaten abgeleiteten Aussagen bezogen auf die Schallimmissionsverhältnisse weitgehend identisch bleiben.

Weiterführung: Nein

Mittelgeber:

BMVg, AGeoBw; M/U2CD/CA277/CA647

2. Wiss. Veröffentlichungen Institut für Meteorologie 2015

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Schäfer	Michael	E. Bierwirth, A. Ehrlich, E. Jäkel, M. Wendisch	Three-dimensional radiative effects in Arctic boundary layer clouds above ice edges	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Instit. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 45-58
Carlsen	Tim	A. Ehrlich , M. Wendisch	Characterization and calibration of a Full Stokes polarization camera	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Instit. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 59-72
Brückner	Marlen		Retrieval of optical and microphysical cloud properties using shipbased spectral solar radiation measurements over the Atlantic ocean	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Instit. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 73-86
Klingebiel	Marcus	A. de Lozar, S. Molleker, R. Weigel, A. Roth, L. Schmidt, J. Meyer, A. Ehrlich, R. Neuber, M. Wendisch, S. Borrmann	Arctic low-level boundary layer clouds: in situ measurements and simulations of mono- and bimodal supercooled droplet size distributions at the top layer of liquid phase clouds	doi:10.5194/acp-15-617-2015	Atmos. Chem. Phys., 15 (2015), 617-631
Müller	Stefan	Hoor, P., Berkes, F., Bozem, H., Klingebiel, M., Reutter, P., Smit, H.G.J., Wendisch, M., Spichtinger, P. , Borrmann, S.	In situ detection of stratosphere-troposphere exchange of cirrus particles in the midlatitudes	doi:10.1002/2014GL062556	Geophys. Res. Lett., 42 (2015), 949–955

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Schmeissner	Tina	R. A. Shaw, J. Ditas, F. Stratmann, M. Wendisch, and H. Siebert	Turbulent Mixing in Shallow Trade Wind Cumuli: Dependence on Cloud Life Cycle	doi:10.1175/JAS-D-14-0230.1	<i>J. Atmos. Sci.</i> , 72 (2015), 1447–1465
Rösch	Carolin	Wissenbach, D. K. von Bergen, M., Franck, U., Wendisch, M., Schlink, U.	The lasting effect of limonene-induced particle formation on air quality in a genuine indoor environment	doi:10.1007/s11356-015-4663-8	<i>Environ. Sci. Pollut. Res.</i> , (2015), 0944-1344
Emde	Claudia	Barlakas, V., Cornet, C., Evans, F., Korkin, S., Ota, Y., Labonne, L. C., Lyapustin, A., Macke, A., Mayer, B., Wendisch, M.	IPRT polarized radiative transfer model intercomparison project – Phase A	doi:10.1016/j.jqsrt.2015.05.007	<i>J. Quant. Spectr. & Rad. Trans.</i> , 164 (2015), 8-36
Schäfer	Michael	Bierwirth, E., Ehrlich, A., Jäkel, E., Wendisch, M.	Airborne observations and simulations of three-dimensional radiative interactions between Arctic boundary layer clouds and ice floes	doi:10.5194/acp-15-8147-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15 (2015), 8147-8163
Ehrlich	André	Wendisch, M.	Reconstruction of high-resolution time series from slow-response broadband terrestrial irradiance measurements by deconvolution	doi:10.5194/amt-8-3671-2015	<i>Atmos. Meas. Tech.</i> , 8 (2015), 3671-3684
Wehner	Birgit	Werner, F., Ditas, F., Shaw, R. A., Kulmala, M., Siebert, H.	Observations of new particle formation in enhanced UV irradiance zones near cumulus clouds	doi:10.5194/acp-15-11701-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15 (2015), 11701-11711

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Jäkel	Evi	Mey, B., Levy, R., Gu, X., Yu, T., Li, Z., Althausen, D., Heese, B., Wendisch, M.	Adaption of the MODIS aerosol retrieval algorithm using airborne spectral surface reflectance measurements over urban areas: a case study	doi:10.5194/amt-8-5237-2015	<i>Atmos. Meas. Tech.</i> , 8 (2015), 5237-5249
Aswathy	N	J. Mülmenstädt, J. Quaas	Climate extremes in multi-model simulations of stratospheric aerosol- and marine cloud brightening climate engineering	10.5194/acp-15-9593-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15, 9593-9610
Baker	Laura	R. Cherian, J. Quaas	Climate responses to anthropogenic emissions of short-lived climate pollutants	10.5194/acp-15-8201-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15, 8201-8216
Eckhardt	Sabine	R. Cherian, J. Quaas	Current model capabilities for simulating black carbon and sulfate concentrations in the Arctic atmosphere: a multi-model evaluation using a comprehensive measurement data set,	10.5194/acp-15-9413-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15, 9413-9433
Mülmenstädt	Johannes	O. Sourdeval, J. Quaas	Frequency of occurrence of rain from liquid-, mixed- and ice-phase clouds derived from A-Train satellite retrievals	10.1002/2015GL064604	<i>Geophys. Res. Lett.</i> , 42, 6502-6509
Quaas	Johannes		Approaches to observe effects of anthropogenic aerosols on clouds and radiation	10.1007/s40641-015-0028-0	<i>Current Climate Change Reports</i> , 1, 297-304

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Rosch	Jan	M. Brück, M. Salzmann, J. Mühlstädt, J. Quaas	Analysis of diagnostic climate model cloud parameterisations using large-eddy simulations	10.1002/qj.2515	<i>Q. J. R. Meteorol. Soc.</i> , 141, 2199-2205
Stohl	Andreas	R. Cherian, J. Quaas	Evaluating the Climate and Air Quality Impacts of Short-Lived Pollutants	10.5194/acp-15-10529-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15, 10529-10566
Gryspeerdt	Edward	P. Stier, B. A. White, Z. Kipling	Wet scavenging limits the detection of aerosol effects on precipitation	10.5194/acp-15-7557-2015	<i>Atmos. Chem. Phys.</i> , 15, 7557-7570
Salzmann	Marc	R. Cherian	On the enhancement of the Indian summer monsoon drying by Pacific multidecadal variability during the latter half of the 20th century	10.1002/2015JD023313	<i>J. Geophys. Res. Atmos.</i> , 120, 9103-9118
Jacobi	Christoph	C. Unglaub, G. Schmidtke, Schäfer und N. Jakowski	Delayed response of global ionospheric electron content to EUV variations derived from combined SOLACES-SDO/EVE measurements	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Institut. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 1-10
Lilienthal	Friederike	P. Šácha, Ch. Jacobi	Gravity wave effects on a modeled mean circulation	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Institut. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 11-22
Samtleben	Nadja	Ch. Jacobi	Long-period oscillations derived from mesosphere/lower thermosphere meteor radar temperature measurements	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Institut. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 23-32

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Krug	Amelie	F.Lilienthal, Ch. Jacobi	The terdiurnal tide in the MUAM circulation model	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Instit. f. Meteorol. Universität Leipzig Bd. 53, S. 33-44
Jacobi	Christoph	C. Unglaub, G. Schmidtke, M. Pfeifer, R. Schäfer, R. Brunner, T. Woods, N. Jakowski	Delayed response of global TEC to ionization variations seen from combined SolACES-SDO/EVE solar EUV spectra		Proc. 7. Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", 1.-5.6.2015, Sunny Beach
Merzlyakov	Eugeny	Ch. Jacobi, T.V.Solovjova	The year-to-year variability of the autumn transition dates in the mesosphere/lower thermosphere wind regime and its coupling with the dynamics of the stratosphere and troposphere	doi:10.1016/j.jastp.2014.11.002	J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., 122, 9-17
Korshunov	V.A.	D.S. Zubachev, E.G Merzlyakov, Ch. Jacobi	Aerosol parameters of middle atmosphere measured by two-wavelength Lidar sensing and their comparison with radio meteor echo measurements	doi:10.1134/S102485601501008X	Atmospheric and Oceanic Optics, 28, 82-88
Lubis	Sandro	Ch. Jacobi	The modulating influence of convectively coupled equatorial waves (CCEWs) on the variability of tropical precipitation	doi:10.1002/joc.4069.	Int. J. Climatol., 35, 1465-1883

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Lilienthal	Friederike	Ch. Jacobi	Meteor radar quasi two-day wave observations over 10 years at Collm (51.3°N, 13.0°E)	doi:10.5194/acp-15-9917-2015	Atmos. Chem. Phys., 15, 9917-9927
Schmidtke	Gerhard	S.V. Avakyan, J. Berdermann, V. Bothmer, G. Cessateur, L. Ciraolo, L. Didkovsky, T. Dudoc de Wit, F.G. Eparvier, A. Gottwald, M. Haberreiter, R. Hammer, Ch. Jacobi., N. Jakowski, M. Kretzschmar, J. Lilensten, M. Pfeifer, S.M. Radicella, R. Schäfer, W. Schmidt, S.C. Solomon, G. Thuillier, W.K Tobiska, S. Wieman, T.N. Woods	Where does the Thermospheric Ionospheric GEospheric Research (TIGER) Program go?	doi:10.1016/j.asr.2015.07.043	Adv. Space Res., 56, 1547–1577
Guryanov	Vladimir	Ch. Jacobi, A.V. Eliseev, A.N. Fahrutdinova	Annual and semiannual harmonics of wind in the Northern stratosphere, mesosphere, and lower thermosphere	doi:10.1016/j.asr.2015.01.034	Adv. Space Res., 56, 1863-1876
Jacobi	Christoph	F. Lilienthal, C. Geißler, A. Krug	Long-term variability of mid-latitude mesosphere-lower thermosphere winds over Collm (51°N, 13°E)	doi:10.1016/j.jastp.2015.05.006	J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., 136, B, 174–186

Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI	Weitere Angaben zum Titel
Šácha	Petr	A. Kuchař, Ch. Jacobi, P. Pišoft	Enhanced internal gravity wave activity and breaking over the Northeastern Pacific / Eastern Asian region	doi:10.5194/acp-15-13097-2015	Atmos. Chem. Phys., 15, 13097-13112
Raabe	Armin	H.-J. Schönfeldt, P. Hupfer	Ozeanographie und maritime Meteorologie – Das Maritime Observatorium Zingst. In: Das Geophys. Inst. der Univ. Leipzig,	ISBN 978-3-88148-474-9	Geschichte der Meteorologie in Deutschland, DWD Selbstvlg., Bd. 9,65-74
Raabe	Armin	M. Barth, M. Wilsdorf	Maximal möglicher Niederschlag verschiedener Wiederkehrzeiten und Klimawandel	ISBN 978-3-88148-476-3	Annalen der Meteorologie, DWD Selbstvlg., Bd. 47,74-75
Raabe	Armin	R. Wagner, J. Zimmer	Power curves of whole wind farms under real operating conditions	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Inst. f. Meteorol., 53, S.87-98
Bleisteiner	Marcus	M. Barth, A. Raabe, P. Holstein	Tomografische Rekonstruktion der Raumtemperaturverteilung aus einer Raumimpulsantwort	ISBN 978-3-9814401-3-3	Wiss. Mitteil. Inst. f. Meteorol., 53, S. 99-112
Foth	Andreas	H. Baars, P. di Girolamo, B. Pospichal	Water vapour profiles from Raman lidar automatically calibrated by microwave radiometer data during HOPE	DOI: 10.5194/acp-15-7753-2015	Atmospheric Chemistry and Physics
Massaro	Giovanni	I. Stiperski, B. Pospichal, M. Rotach	Accuracy of retrieving temperature and humidity profiles by ground-based microwave radiometry in truly complex terrain	DOI: 10.5194/amt-8-3355-2015	Atmos. Meas. Tech.

Fakultät für Physik und Geowissenschaften

Institut für Meteorologie Stephanstr. 3 04103 Leipzig

Forschungsbericht 2015

3. Weitere Angaben

3.1 KOOPERATION

Instituto de Pesquisa da Amazônia (INPA), Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São Paulo, Brasilien
“Aerosol, Cloud, Precipitation, and Radiation Interactions and Dynamics of Convective Cloud Systems (ACRIDICON)”

Staatliche Russische Hydrometeorologische Universität, St. Petersburg, Prof. Alexander Pogoreltsev:
“Kopplung der Stratosphäre und Troposphäre”

Staatliche Universität, St. Petersburg, Prof. Gustav Shved: “Untersuchung von Aerosol und Wolkeneigenschaften”

Universidad Austral, Buenos Aires, Argentinien, Prof. Alejandro de la Torre: „Atmospheric Gravity Waves: Observations and Modeling“ (BMBF 01DN14001)

University of Colorado at Boulder, CIRES, Dr. Ostashev; “Acoustic tomography of the atmosphere at the Boulder Atmospheric Observatory”

University of Reading, UK; Laboratoire de Météorologie Dynamique / CNRS Paris, Frankreich:
“EU FP7-Projekt Monitoring Atmospheric Composition and Climate”

Norwegian Institute for Air Research, Oslo, Norwegen; University of Reading, UK; Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norwegen: “EU FP7-Projekt Evaluating the CLimate and Air Quality”

Météo-France, Toulouse, Frankreich; University of Cambridge, UK: „COST Activity ES0905, Basic concepts for convection parameterization in weather forecast and climate models“

University of Basilicata, Potenza, Italien, P. di Girolamo: “Kalibration von Raman-Lidar-Wasserdampfprofilen mittels Mikrowellenradiometer“

Universität Innsbruck, Österreich: „Temperaturprofile in einem Alpental aus Mikrowellenradiometer-Beobachtungen“

University of Reading, UK, A. Illingworth: “COST-Aktion TOPROF”

MeteoSchweiz, Payerne, Schweiz, A. Haefele: “Kombinierte Temperatur- und Feuchteprofile mit Mikrowellenradiometer und Raman-Lidar”

NASA Goddard Institute for Space Studies, New York (Forschungssemester J. Quaas)

3.2 GREMIUM / MITGLIEDSCHAFT

Prof. Dr. Manfred Wendisch:

- Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung (TROPOS) Leipzig, seit 2012 stellvertretender Vorsitzender.
- Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften
- Mitglied des Präsidiums der Sächsischen Akademie der Wissenschaften
- Mitglied im Vorstand der Meteorologischen Gesellschaft, Sektion Mitteldeutschland
- Gewähltes Mitglied im ICR (Internationale Strahlungskommission) innerhalb von IAMAS
- Koordinator Expert Working Groups innerhalb von EUFAR (European Facility for Airborne Research)
- Mitglied des „User Group Selection Panel“ (UGSP) innerhalb von EUFAR

- Koordinator des DFG-SPP (Schwerpunktprogramm) 1294 zu HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft), gemeinsam mit Prof. J. Curtius (Uni Frankfurt am Main) und Mirko Scheinert (TU Dresden)
- Vize-Sprecher der „Leibniz-Google School on Clouds, Aerosols, and Radiation (LGS-CAR)“
- Mitglied des Gutachtergremiums für Atmosphärenwissenschaften der Finnischen Akademie der Wissenschaften
- Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des Deutschen Wetterdienstes (DWD)
- Mitglied des Programmrates des „Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung (HErZ)“ des DWD
- Stellvertretender Vorsitzender des Wissenschaftlichen Lenkungsausschusses (WLA) für HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft)
- Sprecher des Sonderforschungsbereiches SFB-Transregio 172: “Arktische Verstärkung: Klimarelevante Atmosphären- und Oberflächenprozesse, und Rückkopplungsmechanismen (AC)³”

Prof. Dr. Johannes Quaas:

Co-chair, Aerosols, Clouds, Precipitation and Climate (gemeinsame Aktivität des IGBP/iLEAPS und WCRP/GEWEX; Mitglied des wissenschaftlichen Lenkungsausschusses seit 2010; Co-Chair seit 2013)
 Mitglied der International Commission on Clouds and Precipitation (IAMAS-ICCP), seit 2008
 Mitglied des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung e.V. (TROPOS)

Prof. Dr. Christoph Jacobi:

Mitglied im Vorstand der Meteorologischen Gesellschaft, Sektion Mitteldeutschland
 Stellv. Leiter der Division II der IAGA
 Leiter der Arbeitsgruppe II-D der IAGA: „External Forcing of the Middle Atmosphere“
 Vorsitzender der Mitgliederversammlung des TROPOS

Dr. A. Raabe:

Vorsitzender der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V., Sektion Mitteldeutschland
 Vorsitzender (stellv.) Fachausschuss Umweltmeteorologie (FAUMET) der Deutschen Meteorologischen Ges. e.V.
 Mitglied Sektorkomitee Erneuerbare Energien bei Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) des BMWiU

3.3 Mitgliedschaften in Redaktionskollegien, Herausgebergruppen**Prof. Dr. Manfred Wendisch:**

Atmos. Meas. Tech.	Co-Editor
Meteorologische Zeitschrift	Co-Editor

Prof. Dr. Christoph Jacobi:

Meteorologische Zeitschrift	Mitglied im Advisory Board
Annales Geophysicae	Editor-in-Chief

Prof. Dr. Johannes Quaas

Atmos. Chem. Phys.	Co-Editor
--------------------	-----------

Dr. A. Raabe:

Herausgeber: Wiss. Mitteil. Inst. f. Meteorol. Univ. Leipzig

4. Wissenschaftliche und technische Mitarbeiter am LIM 2015

Name	E-Mail-Adresse
Barlakas, Vasileios	vasileios.barlakas@uni-leipzig.de
Block, Karoline	karoline.block@uni-leipzig.de
Brück, Matthias	matthias.brueck@uni-leipzig.de
Brückner, Marlen	m.brueckner@uni-leipzig.de
Can, Özge	oezge.can@tropos.de
Carlsen, Tim	tim.carlsen@uni-leipzig.de
Cherian, Ribu	ribu.cherian@uni-leipzig.de
Ehrlich, André	a.ehrlich@uni-leipzig.de
Feck-Yao, Wolfgang	feckyao@uni-leipzig.de
Foth, Andreas	andreas.foth@uni-leipzig.de
Goren, Tom	tom.goren@uni-leipzig.de
Gryspeerdt, Edward	edward.gryspeerdt@uni-leipzig.de
Hirsch, Kerstin	khirsch@uni-leipzig.de
Jacobi, Christoph	jacobi@rz.uni-leipzig.de
Jäkel, Evelyn	evi.jaekel@uni-leipzig.de
Kaiser, Falk	fkaiser@rz.uni-leipzig.de
Krisna, Trismono Candra	trismono_candra.krisna@uni-leipzig.de
Kühne, Philipp	philipp.kuehne@uni-leipzig.de
Lauermann, Felix	felix.lauermann@uni-leipzig.de
Lima, Lourivaldo Mota	lourivaldo.lima@uni-leipzig.de
Lilienthal, Friederike	friederike.lilienthal@uni-leipzig.de
Mülmenstädt, Johannes	johannes.muelmenstaedt@uni-leipzig.de
Nair, Aswathy	aswathy.nair@uni-leipzig.de
Pospichal, Bernhard	bernhard.pospichal@uni-leipzig.de
Quaas, Johannes	johannes.quaas@uni-leipzig.de
Quaas, Johannes	johannes.quaas@uni-leipzig.de
Raabe, Armin	raabe@uni-leipzig.de
Rehnert, Jutta	rehnert@uni-leipzig.de
Salzmann, Marc	marc.salzmann@uni-leipzig.de
Schäfer, Michael	michael.schaefer@uni-leipzig.de
Seydel, Birgit	birgit.seydel@uni-leipzig.de
Sourdeval, Odran	odran.sourdeval@uni-leipzig.de
Sudhakar, Dipu	dipu.sudhakar@uni-leipzig.de
Tetzlaff, Gerd	tetzlaff@uni-leipzig.de
Unglaub, Claudia	unglaub@uni-leipzig.de
Weiße, Frank	weisse@uni-leipzig.de
Wendisch, Manfred	m.wendisch@uni-leipzig.de
Wilsdorf, Michael	mwils@uni-leipzig.de
Wolf, Kevin	kevin.wolf@uni-leipzig.de

5. Immatrikulationen am Institut f. Meteorologie

BSC Meteorologie													
Datum	Semester	1.FS	2. FS	3.FS	4.FS	5.FS	6. FS	7.FS	8.FS	9. FS	10.FS	>10.FS	Gesamt
15.10.2015	WS 15/16	29		10		9		3					51
15.10.2014	WS 14/15	35		14		15		3		3		1	71
15.10.2013	WS 13/14	39		23		21		13		4			100
15.10.2012	WS 12/13	60		29	1	22	2	16	1	2			133
15.10.2011	WS 11/12	60		27		26	1	19		1			134
15.10.2010	WS 10/11	64		34		20							118
15.10.2009	WS 09/10	67		21		20							108
15.10.2008	WS 08/09	71		28		12							111
15.10.2007	WS 07/08	98		15									113
13.12.2006	WS 06/07	31											31

MSC Meteorologie							
Datum	Semester	1.FS	2. FS	3.FS	4.FS	>=5.FS	Gesamt
15.10.2015	WS 15/16	15		18		19	52
15.10.2014	WS 14/15	19		18		16	53
15.10.2013	WS 13/14	18		16		20	54
15.10.2012	WS 12/13	18		20	1	15	54
15.10.2011	WS 11/12	21		17		10	48
15.10.2010	WS 10/11	20		9		5	34
15.10.2009	WS 09/10	11					11

Diplom Meteorologie													
Datum	Semester	1.FS	2. FS	3.FS	4.FS	5.FS	6. FS	7.FS	8.FS	9. FS	10.FS	>10.FS	Meteo_Diplom
15.10.2013	WS 13/14											2	2
17.10.2012	WS 12/13											3	3
16.10.2011	WS 11/12											3	3
15.10.2010	WS 10/11											14	14
15.10.2009	WS 09/10								0	14	0	7	21
15.10.2008	WS 08/09					0	14	0	23	1	25		63
15.10.2007	WS 07/08			0	22	0	26	1	18	2	19		88
13.12.2006	WS 06/07	0	40	0	36	0	24	2	14	1	17		175
15.10.2005	WS 05/06	109	0	49	0	30	2	16	1	17	1	13	237
08.12.2004	WS 04/05	97	0	35	1	20	0	19	0	12	1	15	200
03.12.2003	WS 03/04	68	1	25	0	20	1	13	1	12	1	13	155
14.10.2002	WS 02/03	45	0	19	0	16	0	15	1	12	1	9	118
06.12.2001	WS 01/02	43	0	21	0	16	0	13	0	7	0	5	105
07.12.2000	WS 00/01	41	1	27	0	22	0	8	0	6	1	6	112
01.12.1999	WS 99/00	40	0	24	0	9	0	9	0	6	1	6	95
16.12.1998	WS 98/99	36	0	11	0	17	1	9	1	5	0	8	88
10.11.1997	WS 97/98	29	0	17	0	10	1	8	0	7	0	4	76

6. Abschlussarbeiten Institut für Meteorologie 2015

Promotionen

Marlen Brückner

Abschluss: 31.03.2015

Retrieval of Optical and Microphysical Cloud Properties Using Ship-based Spectral Solar Radiation Measurements over the Atlantic Ocean

Carolin Rösch

Abschluss: 31.03.2015

New aspects of air contamination by the interaction of indoor and urban air

Michael Rösch

Abschluss: 31.03.2015

Untersuchung zur Generierung und zum Immersionsgefrierverhalten supermikroner, quasimonodisperser Mineralstaubpartikel

Susan Hartmann

Abschluss: 22.06.2015

An immersion freezing study of mineral dust and bacterial ice nucleating particles

Stefan Horn

Abschluss: 17.07.2015

Simulations of complex atmospheric flows using GPUs - the model ASAMgpu -

Andreas Weigelt

Abschluss: 22.06.2015

An optical particle counter for the regular application onboard a passenger aircraft: instrument modification, characterization and results from the first year of operation

Peter Bräuer

Abschluss: 12.10.2015

Extension and application of a tropospheric aqueous phase chemical mechanism (CAPRAM) for aerosol and cloud models

Shan Huang

Abschluss: 14.12.2015

Chemical composition of the submicrometer aerosol over the Atlantic Ocean

Habilitationen auf dem Gebiet der Meteorologie im Jahr 2015

Dr. Kerstin Schepanski

Abschluss: 16.11.2015

Controls on Dust Entrainment into the Atmosphere

Bachelor- Abschlussarbeiten:

Chevalier, Karine	Phenology-based agroclimatological evaluations of selected climate elements and comparison with calendar-based evaluations of different natural areas of Germany for the period of 1992-2014
Claus, Thomas	Adaption des agrarmeteorologischen Wasserhaushaltsmodells METVER für Anwendungen auf Forststandorten
Cremer, Roxana	Interactions between clouds and sea ice in the Arctic
Doktorowski, Tobias	Analyse der zeitlichen und räumlichen Variabilität der Strahlungsgrößen über einem Antarktischen Schneefeld aus Messungen während AISAS im Dezember 2013
Geißler, Christoph	Trends des meridionalen Windes in der Mesosphäre
Hanmi, Cheng	Einflüsse multidekadalischer Variabilität auf den asiatischen Sommermonsun
Hein, Justine	Solarer Einfluss auf den ionosphärischen Elektronengehalt
Hörnig, Sabine	Evaluierung der Simulation von Mischphasenwolken in Klimamodellen
Jungandreas, Leonore	Evaluierung von Wolkenbeobachtungen durch Satellitendaten mit Bodenbeobachtungen
Lemme, Anneline	Über den Einfluss von Saharastaub auf die hochreichende Konvektion im Gebiet des tropischen Atlantiks
Lochmann, Moritz	Windprofilmessung über einer Stadt
Lubitz, Jasmin	Potenzial von Messungen der spektralen Strahldichte aus Gipfelperspektive zur Ableitung von mikrophysikalischen Wolkenparametern
Mewes, Silke	Vergleich von Satellitenprodukten von METEOSAT SEVIRI und MODIS für flache konvektive Wolken und Konsequenzen für die Charakterisierung ihres Lebenszyklus
Rafiq-Dost, Timorsha	Statistik von Flüssigwasserwolken über Leipzig
Rörup, Birte	Distribution of Water Vapour in Context to the Parametrization in Climate Models
Schubert, Jan	Beeinflusst aktischer Meereisverlust im Sommer die Zirkulation der mittleren Breiten im folgenden Winter?
Stammer, Peter	Einfluss von Ruß auf die spektrale Heizraten von Cirrus
Tatzelt, Christian	Fernerkundung der Wolkenklassen mit Hilfe der Kombination von aktiven und passiven Satellitendaten
Wenke, Marius	Agrarklimatologische Untersuchungen thermischer Zustandsgrößen in ausgewählten räumlichen und zeitlichen Skalen
Zimmer, Stefan	Statistische Untersuchung der Veränderung phänologischer Leitphasen von 1961 bis 2014 in der Interklim-Region

Master-Abschlussarbeiten

Bär, Jewgenia	Zur Parametrisierung trockener und nasser Partikeldeposition in der mesoskaligen Transportmodellierung am Beispiel von Seesalz und Wüstenstaub
Bechler, Josephine	An investigation of the hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity of mixed organic/inorganic aerosol particles
Donth, Tobias	Ableitung von aerosoloptischer Eigenschaften aus bodengebundenen Strahlungsmessungen
Düsing, Sebastian	Schließung aerosoloptischen Eigenschaften zwischen luftgetragenen in-situ- und bodengebundenen LIDAR-Messungen
Emmrich, Stefanie	The effect of cities on aerosol and cloud properties concerning the planetary boundary layer observed with rural and urban lidar and sun photometer measurements in Melpitz and Leipzig
Göhler, Robby	Darstellung und Einfluss von durchbrochener Bewölkung auf den Ertrag von Photovoltaik-Anlagen und dessen Prognose
Grawe, Sarah	Investigations on the Immersion Freezing Behavior of Ash Particles at the Leipzig Aerosol Cloud Interaction Simulator (LACIS)
Hellner, Lisa	Untersuchungen des Immersionsgefrierverhaltens natürlicher Böden am Leipzig Aerosol Cloud Interaction Simulator (LACIS)
Hemmer, Friederike	Analysis of the Global Distribution of Ice Crystal Number Concentrations
Hertel, Daniel	Bayesche Modellierung des Schnee-Wasser Äquivalentes
Heyn, Irene	Analyse des effektiven Strahlungsantriebs anthropogener Aerosole im terrestrischen Spektralbereich
Kilian, Philipp	Bestimmung von Niederschlagsraten mittels eines X-Band-Radars
Lauermann, Felix	Charakterisierung der Variabilität der Strahlungsabkühlung am Oberrand von arktischer Grenzschichtbewölkung
Löser, Danny	Reduktion der Emission von Rußaerosolen: Analyse der "Co-Benefits" für Klima und Luftqualität
Markwitz, Christian	Simulation of Stratiform Mixed-Phase Clouds in the Arctic Boundary Layer
Padelt, Julian	Untersuchungen zum Einfluss des thermodynamischen Umgebungszustandes und des Eisnukleationspartikels (INP) auf das Gefrieren und die Oberflächenstruktur der entstehenden Eiskristalle
Rempel, Martin	Objekt-basierte Bewertung der Güte von COSMO-DE Konvektionsvorhersagen mittels Meteosat
Rittmeister, Franziska	The African dust and smoke layer over the tropical Atlantic during the spring season 2013: Ship-based lidar observations from Guadeloupe to Cape Verde
Särclinger, Martin	Untersuchung des Einflusses meteorologischer Faktoren und des regionalen Hintergrunds auf die Aerosolbelastung in der Stadt Leipzig
Schneider, Florian	Climatic Change in the Arctic: Analysis of model simulations
Szodry, Kai-Erik	Meteorologische Situationen, die die Entstehung von Staubfahnen in Island begünstigen
Wagen, Robert	American Dustbowl - Das Zusammenspiel von Dürre, Gewittern und Haboobs
Wolf, Kevin	Flugzeuggetragene Fernerkundung von Cirren mittels zweier unabhängiger Spektrometersysteme

**Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der
Universität Leipzig**

- | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Band 1 | <i>A. Raabe, G. Tetzlaff und W. Metz</i> (Edn.), 1995: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig I |
| Band 2 | <i>R. Devantier</i> , 1995: Wolkenbildungsprozesse über der südwestlichen Ostsee - Anwendungen eines neuen Wolkenschemas in einem mesoskaligen Modell |
| Band 3 | <i>J. Laubach</i> , 1996: Charakterisierung des turbulenten Austausches von Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid über niedriger Vegetation anhand von Eddy-Korrelations-Messungen |
| Band 4 | <i>A. Raabe und J. Heintzenberg</i> (Edn.), 1996: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig II |
| Band 5 | Wind- und Seegangsatlas für das Gebiet um Darß und Zingst |
| Band 6 | <i>D. Hinneburg, A. Raabe und G. Tetzlaff</i> , 1997: Teil I: Windatlas
<i>W. von Hoyningen-Huene und G. Tetzlaff</i> (Edn.), 1997: Sediment and Aerosol
Teil I: Beiträge zur Alfred-Wegener-Konferenz, Leipzig 1997
Teil II: Aktuelle Beiträge aus dem Institut für Meteorologie |
| Band 7 | <i>B.-R. Beckmann</i> , 1997: Veränderungen in der Windklimatologie und in der Häufigkeit von Sturmhochwassern an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns |
| Band 8 | <i>P. Posse</i> , 1997: Bestimmung klimarelevanter Parameter des maritimen Aerosols unter besonderer Berücksichtigung der Nichtkugelform realer Aerosolteilchen |
| Band 9 | <i>A. Raabe, K. Arnold und J. Heintzenberg</i> (Edn.), 1998: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig III |
| Band 10 | Wind- und Seegangsatlas für das Gebiet um Darß und Zingst, Teil II, 1998:
<i>D. Hinneburg, A. Raabe und G. Tetzlaff</i> : Vergleich Windatlas -Beobachtungsdaten; <i>M. Börngen, H.-J. Schönfeldt</i> , <i>F. Riechmann, G. Panin und G. Tetzlaff</i> : Seegangsatlas; <i>M. Stephan und H.-J. Schönfeldt</i> : Sedimenttransportatlas |
| Band 11 | <i>J. Rissmann</i> , 1998: Der Einfluss langwelliger Strahlungsprozesse auf das bodennähe Temperaturprofil |
| Band 12 | <i>A. Raabe, K. Arnold und J. Heintzenberg</i> (Edn.), 1999: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig IV |
| Band 13 | <i>U. Müller, W. Kuttler und G. Tetzlaff</i> (Edn.), 1999: Workshop Stadtclima 17. / 18. 02. 1999 in Leipzig |
| Band 14 | <i>R. Surkow</i> , 1999: Optimierung der Leistungsverfügbarkeit von Windenergie durch ihre Integration in Wind-Biogas-Hybridanlagen |
| Band 15 | <i>N. Mölders</i> , 1999: Einfache und akkumulierte Landnutzungsänderungen und ihre Auswirkungen auf Evapotranspiration, Wolken- und Niederschlagsbildung |
| Band 16 | <i>G. Tetzlaff und U. Grünwald</i> (Edn.), 1999: 2. Tagung des Fachausschusses Hydrometeorologie 15./16. 11. 1999 in Leipzig |
| Band 17 | <i>A. Raabe und K. Arnold</i> (Edn.), 2000: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig V |
| Band 18 | <i>K. Arnold</i> , 2000: Ein experimentelles Verfahren zur Akustischen Tomographie im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht |
| Band 19 | <i>A. Ziemann</i> , 2000: Eine theoretische Studie zur akustischen Tomographie in der atmosphärischen Grenzschicht |
| Band 20 | <i>Ch. Jacobi</i> , 2000: Midlatitude mesopause region dynamics and its coupling with lower and middle atmospheric processes |
| Band 21 | <i>M. Klingspohn</i> , 2000: Interdekadische Klimavariabilität über dem Nordatlantik – Statistische Analysen und Modellstudien – |
| Band 22 | <i>A. Raabe und K. Arnold</i> (Edn.), 2001: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VI |
| Band 23 | <i>K. Arnold, A. Ziemann, G. Tetzlaff, V. Mellert und A. Raabe</i> (Edn.), 2001: International Workshop Tomography and Acoustics: Recent developments and methods 06. - 07.03.2001 in Leipzig |
| Band 24 | <i>O. Fanenbruck</i> , 2001: Ein thermophysiolgisches Bewertungsmodell mit Anwendung auf das Leipziger Stadtgebiet |
| Band 25 | <i>M. Lange</i> , 2001: Modellstudien zum CO ₂ -Anstieg und O ₃ -Abbau in der mittleren Atmosphäre und Einfluss des Polarwirbels auf die zonale Symmetrie des Windfeldes in der Mesopausenregion |
| Band 26 | <i>A. Raabe und K. Arnold</i> (Edn.), 2002: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VII |
| Band 27 | <i>M. Simmel</i> , 2002: Ein Modul zur spektralen Beschreibung von Wolken und Niederschlag in einem Mesoskalenmodell zur Verwendung auf Parallelrechnern |
| Band 28 | <i>H. Siebert</i> , 2002: Tethered-Balloon Borne Turbulence Measurements in the Cloudy Boundary Layer |
| Sonderband | <i>G. Tetzlaff</i> (Hrsg.), 2002: Atmosphäre - Aktuelle Beiträge zu Luft, Ozon, Sturm, Starkregen und Klima |
| Band 29 | <i>U. Harlander</i> , 2003: On Rossby wave propagation in atmosphere and ocean |

- Band 30 *A. Raabe und K. Arnold* (Edn.), 2003: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VIII
- Band 31 *M. Wendisch*, 2003: Absorption of Solar Radiation in the Cloudless and Cloudy Atmosphere
- Band 32 *U. Schlink*, 2003: Longitudinal Models in Biometeorology: Effect Assessment and Forecasting of Ground-level Ozone
- Band 33 *H. Heinrich*, 2004: Finite barotrope Instabilität unter synoptischem Antrieb
- Band 34 *A. Raabe und K. Arnold* (Edn.), 2004: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig IX
- Band 35 *C. Stolle*, 2004: Three-dimensional imaging of ionospheric electron density fields using GPS observations at the ground and on board the CHAMP satellite
- Band 36 *A. Raabe und K. Arnold* (Edn.), 2005: Meteorologische Arbeiten (X) und Jahresbericht 2004 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 37 *A. Raabe und K. Arnold* (Edn.), 2006: Meteorologische Arbeiten (XI) und Jahresbericht 2005 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 38 *K. Fröhlich*, 2006: The Quasi Two-Day Wave – its impact on zonal mean circulation and wave-wave interactions in the middle atmosphere
- Band 39 *K. Radtke*, 2006: Zur Sensitivität von Starkwindfeldern gegenüber verschiedenen meteorologischen Parametern im Mesoskalenmodell LM
- Band 40 *K. Hungershöfer*, 2007: Optical Properties of Aerosol Particles and Radiative Transfer in Connection with Biomass Burning
- Band 41 *A. Raabe* (Hrsg.), 2007: Meteorologische Arbeiten (XII) und Jahresbericht 2006 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 42 *A. Raabe* (Hrsg.), 2008: Meteorologische Arbeiten (XIII) und Jahresbericht 2007 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 43 *A. Kniffka*, 2008: Einfluss der Inhomogenitäten von Aerosol, Bodenalbedo und Wolken auf das aktinische Strahlungsfeld der Atmosphäre
- Band 44 *M. Barth*, 2009: Akustische Tomographie zur zeitgleichen Erfassung von Temperatur- und Strömungsfeldern
- Band 45 *A. Raabe* (Hrsg.), 2009: Meteorologische Arbeiten (XIV) und Jahresbericht 2008 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 46 *G. Stober*, 2009: Astrophysical Studies on Meteors using a SKiYMET All-Sky Meteor Radar
- Band 47 *A. Raabe* (Hrsg.), 2010: Meteorologische Arbeiten (XV) und Jahresbericht 2009 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 48 *A. Raabe* (Hrsg.), 2011: Meteorologische Arbeiten (XVI) und Jahresbericht 2010 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 49 *A. Raabe* (Hrsg.), 2012: METTOOLS_VIII Tagungsband
- Band 50 *A. Raabe* (Hrsg.), 2012: Meteorologische Arbeiten (XVII) und Jahresbericht 2011 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 51 *A. Raabe* (Hrsg.), 2013: Meteorologische Arbeiten (XVIII) und Jahresbericht 2012 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 52 *A. Raabe* (Hrsg.), 2014: Meteorologische Arbeiten (XIX) und Jahresbericht 2013 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 53 *A. Raabe* (Hrsg.), 2015: Meteorologische Arbeiten (XX) und Jahresbericht 2014 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 54 *A. Raabe* (Hrsg.), 2016: Meteorologische Arbeiten (XXI) und Jahresbericht 2015 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig