

WISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

aus dem Institut für Meteorologie der
Universität Leipzig

BAND 58



M. Wendisch (Hrsg.)
Meteorologische Arbeiten XXV
Jahresbericht 2019



UNIVERSITÄT
LEIPZIG

Wissenschaftliche Mitteilungen

aus dem
Institut für Meteorologie der Universität Leipzig



ISBN 978-3-9814401-8-8

**Meteorologische Arbeiten (XXV) und
Jahresbericht 2019 des Instituts für
Meteorologie der Universität Leipzig**

Hrsg.: Manfred Wendisch

Leipzig 2020

Band 58

Vaishnav, R., Jacobi, Ch.: Ionospheric response to the 25-26 August 2018 intense geomagnetic storm	1
Brückner, M., Lonardi, M., Ehrlich, A., Wendisch, M., Jäkel, E. Schäfer, M., Quaas, J., Kalesse, H.: Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAIC): Overview of LIM Contributions	11
Seidel, C., Lochmann, M.: Statistische Analyse der jährlichen Windverteilung für energiemeteorologische Anwendungen an der Station Lindenberg	20
Jahresbericht des Instituts für Meteorologie 2019	34

(An author correction was published online at the end of this file)

Ionospheric response to the 25-26 August 2018 intense geomagnetic storm

R. Vaishnav, Ch. Jacobi

*Institute for Meteorology, Universität Leipzig, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, Germany
E-Mail: rajesh_ishwardas.vaishnav@uni-leipzig.de*

Summary: The thermosphere-ionosphere regions are mainly controlled by the solar, but also by geomagnetic activity. In this case study, the Earth's ionospheric response to the 25-26 August 2018 intense geomagnetic storm is investigated using the International GNSS System (IGS) Total Electron Content (TEC) observations. During this major storm, the minimum disturbance storm time (Dst) index reached -174 nT. We use observations and model simulations to analyse the ionospheric response during the initial phase and the main phase of the magnetic storm. A significant difference between storm day and quiet day TEC is observed. The O/N_2 ratio observed from the GUVI instrument onboard the TIMED satellite is used to analyse the storm effect. The result shows a clear depletion of the O/N_2 ratio in the high latitude region, and an enhancement in the low latitude region during the main phase of the storm. Furthermore, the Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere electrodynamics (CTIPE) model simulations were used. The results suggest that the CTIPE model can capture the ionospheric variations during storms.

Zusammenfassung: Die Regionen der Ionosphären und Thermosphäre werden hauptsächlich von der Sonne sowie auch von geomagnetische Aktivität beeinflusst. In dieser Fallstudie wurde die ionosphärische Reaktion der Erde auf den starken geomagnetischen Sturm vom 25./26. August 2018 unter Verwendung der Gesamtelektronengehaltsdaten (Total Electron Content, TEC) vom Internationalen GNSS Service untersucht. Während dieses großen Sturms wurde ein "Disturbance Storm Time Index" Dst von -174 nT erreicht. Beobachtungen und Modellsimulationen wurden verwendet, um die ionosphärische Reaktion während der Anfangsphase und der Hauptphase des magnetischen Sturms zu untersuchen. Ein signifikanter Unterschied zwischen TEC während eines Sturmtages und eines ruhigen Tages wurde beobachtet. Das vom GUVI-Instrument an Bord des TIMED-Satelliten beobachtete O/N_2 -Verhältnis wurde verwendet, um den Sturmeffekt weiter zu untersuchen. Das Ergebnis zeigt eine deutliche Abnahme/Zunahme des O/N_2 Verhältnis in hohen/niedrigen Breiten während der Hauptphase des Sturms. Darüber hinaus wurde das Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere ectrodynamics (CTIPE) Modell verwendet. Die Ergebnisse legen nahe, dass das CTIPE-Modell die ionosphärischen Schwankungen während eines Sturms erfassen kann.

1 Introduction

Solar radiation is one of the crucial parameters that influence and control the thermosphere-ionosphere (T-I) region. The radiation varies at different time scales, and different parts of the solar radiation spectrum originate from different regions of the solar surface.

During times of quiet solar activity, however, the T-I region is not only controlled by the variability of solar radiation, but also by lower atmospheric forcing and geomagnetic activity. In particular, geomagnetic storms result in Sun-Earth interaction. These storms are generally produced due to coronal mass ejections (CMEs) from solar active regions, and by high speed solar wind generated from coronal holes. Geomagnetic storms due to CMEs are very intense (Chen et al., 2012). These intense geomagnetic storms greatly influence the ionosphere and change the behavior of the ionosphere (e.g., expressed in the maximum electron density N_mF_2) by modifying the electron density either positively or negatively. During storms, the magnetospheric energy and particle precipitation are greatly increased, especially in the polar regions. The high energy particles increase the ionization and contribute to increasing the electron density and ultimately the total electron content (TEC, given in units of $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ electrons } m^{-2}$).

TEC is one of the most frequently used parameters to define the ionospheric state. During periods of quiet geomagnetic activity, solar radiation is the main source of energy input into the T-I, with photoionization as the major process. Photoionization and its variability is dependent on the solar extreme ultraviolet (EUV, 0-105 nm) radiation. It varies temporally and spatially due to varying solar flux, astronomical and geometrical aspects, and the complex interaction of the atmosphere with the solar radiation (Mukhtarov et al., 2013). Many researchers have explored possible relations between solar radiation variability and the ionosphere (e.g. Kutiev et al., 2013; Jacobi et al., 2016; Vaishnav et al., 2018, 2019).

During times of low solar activity, the geomagnetic activity becomes more important, and it influences the ionosphere more strongly in relation to other influencing factors. There are several studies that reported the influence of the geomagnetic activity on the ionosphere, and the depletion and enhancement of electron density depends on the intensity and phase of geomagnetic storms (e.g. Sutton et al., 2005; Liu et al., 2010; Correia et al., 2017; Astafyeva et al., 2018; Hocke et al., 2019; Qian et al., 2020). Such studies are of great importance as intense geomagnetic storms can affect radio wave propagation and navigation systems like Global Navigation Satellite Systems (GNSS). During storms, the energy input is mainly increasing in the high latitude region, but ionospheric perturbation are varying with latitude, and also globally, as the dynamics of the F2 region is very complex (e.g. Mendillo et al., 1970; Danilov, 2013). There are several proxies to define the geomagnetic activity, such as the disturbance storm-time (Dst) index, which describes equatorial magnetic field disturbances, the Kp and Ap indices, which are based on mid-latitude magnetometer observations, and the Bz component of the interplanetary magnetic field (IMF). The latter is connected with the Earth magnetic field. Using these proxies, several investigations have been performed that examine the impact of a geomagnetic storm on the ionosphere region (e.g. Astafyeva et al., 2018; Blagoveshchensky and Sergeeva, 2020; Bhattacharyya et al., 2019).

The availability of general circulation models (GCMs) allows us to explore the effect of geomagnetic storms, which may play an essential role in the modulation of the ionosphere (e.g. Fuller-Rowell et al., 1996; Qian et al., 2020). Some frequently used GCMs are the Thermosphere Ionosphere Electrodynamics General Circulation Model (TIEGCM, Richmond et al., 1992), and the Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere Electrodynamics (CTIPe, Fuller-Rowell et al., 1987; Codrescu et al., 2012). The CTIPe model capability to reproduce the storm features has been reported by various authors (e.g.

Astafyeva et al., 2016; Fernandez-Gomez et al., 2019)

The main aim of the present study is to understand the ionospheric response during an intense geomagnetic storm on 25-26 August 2018 using IGS TEC observations, the GUVI O/N_2 ratio, and their comparison with the CTIPE model simulated electron density and O/N_2 ratio.

2 Data sources and numerical model used

We have used TEC values taken from global ionospheric maps available from the International GNSS Service (IGS, Hernández-Pajares et al., 2009) provided by NASA's data archive service (CDDIS, 2020). IGS-TEC maps are available in a latitude/longitude resolution of $2.5^\circ/5^\circ$ with a time resolution of 2 hours. Geomagnetic indices such as the Dst, IMF Bz, Interplanetary Electric Field (IEF Ey), proton density (Np), and Kp index have been used.

A global map of the O/N_2 ratio is obtained from the Global Ultraviolet Imager (GUVI) onboard the Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics (TIMED) satellite (Strickland et al., 1995). The TIMED satellite operated in a 630 km circular orbit with an inclination of 74° .

Furthermore, CTIPE model simulations have directly used from the Community Coordinated Modeling Center (CCMC) at GSFC through their public Runs on Request system (<http://ccmc.gsfc.nasa.gov>). The CTIPE model is an advanced version of the CTIM model (Fuller-Rowell et al., 1987), and is a global, first principle, non-linear, time-dependent, 3-D, numerical, physics-based coupled thermosphere-ionosphere-plasmasphere model, which consists of four fully coupled distinct components, namely (a) a neutral thermosphere model (Fuller-Rowell and Rees, 1980), (b) a high-latitude ionosphere convection model (Quegan et al., 1982), (c) a mid- and low-latitude ionosphere plasmasphere model (Millward et al., 1996), and (d) an electrodynamics model (Richmond et al., 1992). The geographic latitude/longitude resolution is $2^\circ/18^\circ$. To run the model, external inputs are required like solar UV and EUV, Weimer electric field, TIROS/NOAA auroral precipitation fixed time-dependent hemisphere power (GW) and hemispheric power index, and tidal forcing from the Whole Atmosphere Model (WAM) and F10.7 Codrescu et al. (2012).

The model output contains information on global distribution for neutrals (temperature; the density of the three major species and electron density) and several other parameters.

3 Results

3.1 Features of the intense geomagnetic storm on 26 August 2018

During solar cycle 24, several geomagnetic storms have occurred. One of the most intense magnetic storms has been reported on 26 August 2018 (Abunin et al., 2020; Blagoveshchensky and Sergeeva, 2020). Figure 1 shows the variations in the geomagnetic parameters (Dst, Bz, Ey, and Np), which are used here for describing this intense storm. Dst index shows the changes of Earth's internal magnetic field. The upper panel of Figure 1 shows its temporal behaviour during the storm. The storm commencement (initial phase of the storm) starts around 12 UT on 25 August, and Dst reaches a minimum value of -174 nT at 06:00 UT on 26 August. The z component of magnetic field Bz is shifted from

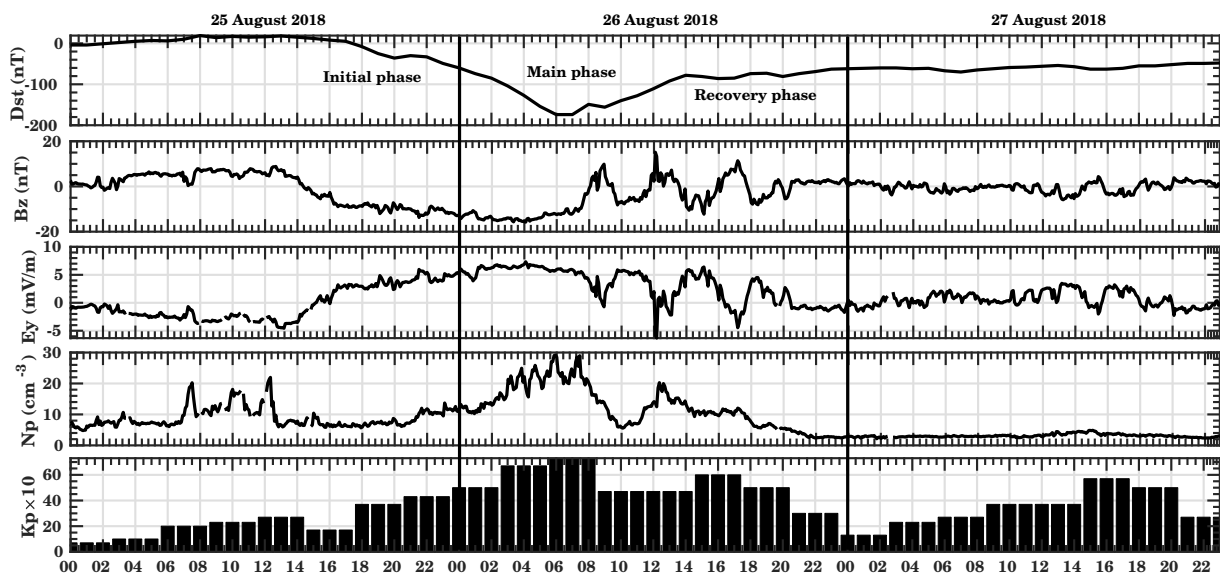


Fig. 1: Variations in the geomagnetic parameters (Dst , Bz , Ey , Np , and Kp) during 25-27 August 2018.

positive to negative after 12 UT on August 26, when the CME arrives, and the magnetic field was compressed. This triggered the main phase of the storm. Thus, from the Dst index, it can be stated that there is an intense storm, which could disturb the ionosphere. In Figure 1 various other parameters are also shown, such as the Ey , Np , and Kp index. The latter was about 3 at the initial phase, and it increased to 8 at the end of the main phase. The peak value of Ey increased to 7 mV/m during the storm. Furthermore, Np shows a maximum value of about 30 cm^{-3} , and multiple peaks occur during the main phase of the storm. The recovery phase starts after the main phase, and the Dst index remains negative for the next several hours. The solar activity was low during 25-27 August 2018, with an average F10.7 index of 72 solar flux units. Hence during this period, the ionospheric behaviour was significantly controlled by the geomagnetic activity.

3.2 IGS TEC variations

The ionospheric state may be represented by different parameters, such as TEC, the peak electron density of the F2 region ($NmF2$), and corresponding height ($HmF2$). Here, we have used TEC observations to analyze the behavior of the ionosphere on 25-26 August 2018. Our prime motivation is to understand the global impact of the geomagnetic storm. During an intense geomagnetic storm, most of the ionospheric parameters are disturbed. Figure 2 shows the global TEC maps at 06:00 and 08:00 UT on 25 and 26 August 2018. The initial phase of the storm starts at noon on 25 August 2018, hence we have chosen 06:00 and 08:00 UT of that day as a quiet period to compare with the storm day 26 August. Maximum observed TEC during the quiet time was about 26 TECU at low latitudes. The figure shows a significant difference from the quiet day to disturbed conditions. Maximum observed TEC during the storm day was about 40 TECU. In comparison to the quiet day, TEC increased in the low latitude region. The solar activity was quite low and nearly the same during both days. Hence the difference in observed TEC is due to geomagnetic conditions, as the solar activity was very low. Furthermore, to explore the effect of a geomagnetic storm on the diurnal variations, the

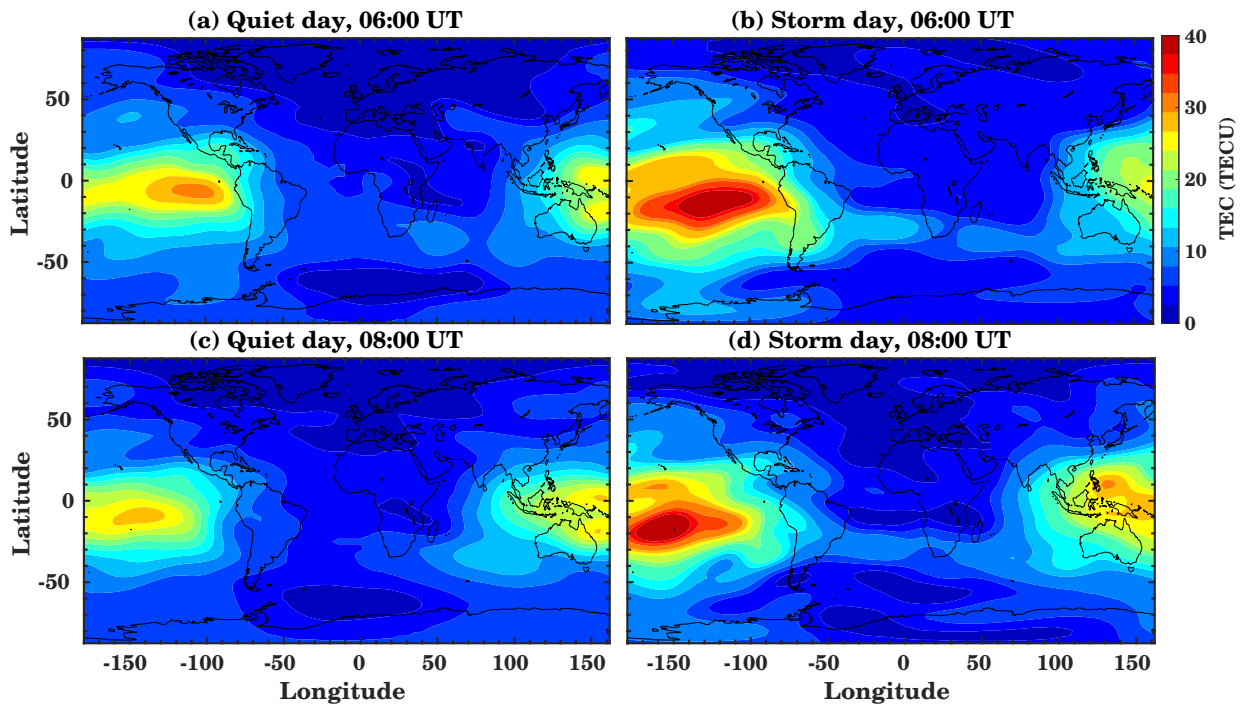


Fig. 2: Global IGS TEC map for 06:00 UT (a,b) and 08:00 UT (c,d) on a quiet (25 August, left) and a storm day (26 August, right).

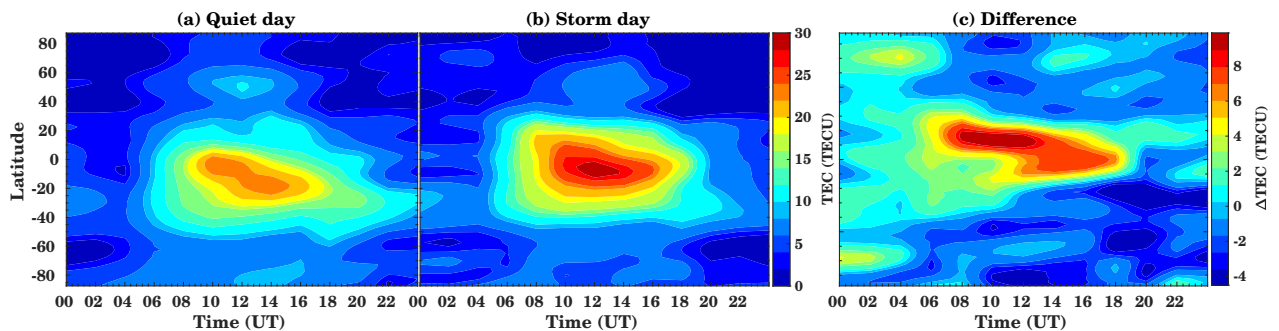


Fig. 3: Latitudinal vs. temporal variations of TEC at 10°E during (a) a quiet day (25 August) and (b) a storm day (26 August), (b) and (c) its difference.

IGS TEC observations at 10°E longitude are used. Figure 3 shows the diurnal TEC variations as a plot of latitude vs. time during (a) a quiet day, (b) a storm day, and (c) its difference. Here we have used 25 August as a quiet day to compare with the storm day 26 August. The figure shows a significant difference between the storm and quiet day. The maximum difference in TEC of about 9 TECU is observed in the low latitude region during afternoon hours. From quiet to storm days, the TEC values increase in the low latitude region while it decreases in the high latitude region.

3.3 GUVI O/N_2 ratio

The ionospheric state is highly perturbed during intense geomagnetic activity. Hence the effect can also be seen in the neutral composition. The thermosphere composition is strongly influenced by solar radiation and plays a significant role in the electron density variations during quiet geomagnetic conditions. The ionosphere electron density is mainly

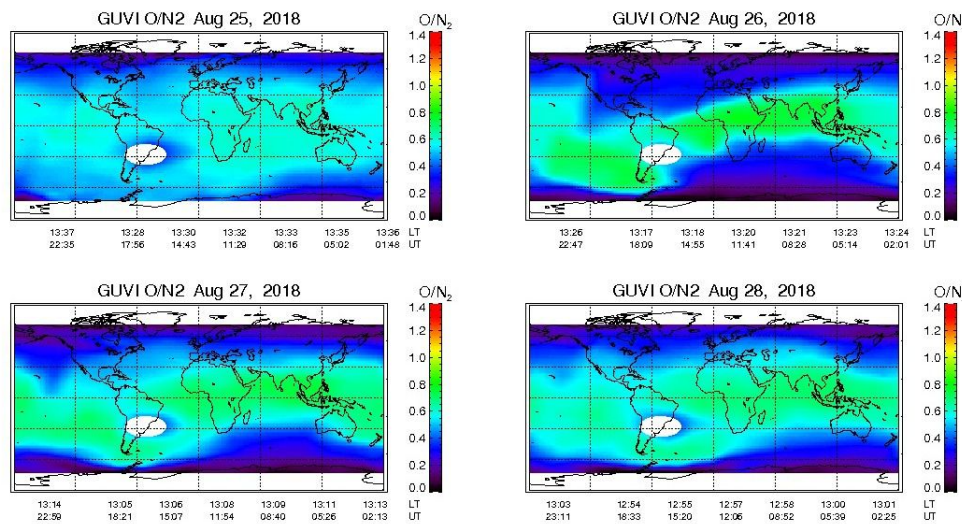


Fig. 4: The thermospheric O/N_2 ratio observed from the GUVI instrument onboard TIMED satellite during 25-28 August 2018.

controlled by the photoionization of atomic oxygen neutrals and in turn of the dissociation of molecular oxygen. The photoionization of atomic oxygen is directly linked with the electron density and therefore with TEC. Hence during geomagnetic storm conditions, there is a significant increase in the atomic oxygen ion density and more photoionization. As a result, the overall TEC increases. Hence it would be interesting to see the effect of a geomagnetic storm on the O/N_2 ratio. The O/N_2 ratio is directly associated with the composition of the thermosphere ionosphere system.

The thermosphere O/N_2 ratio maps are available from the TIMED/GUVI for days before, during, and after the storm. They are shown in Figure 4. The figure shows that compared to the quiet day, during storm days, the O/N_2 ratio decreases in the high latitude region and significantly increases in the low latitude region. The O/N_2 ratio is mainly controlled by the thermosphere neutral wind.

3.4 CTIPe model Simulations for 25-26 August 2018

Figure 5 shows the modeled global distribution of TEC for 06:00 UT and 07:30 UT, before and during storm days. The CTIPe modeled TEC shows significant differences during quiet and storm days. During a storm, the electron density is increased in the low latitude region while it decreases in the high latitude region. This suggests that CTIPe model simulations are in agreement with the IGS TEC observations, see Figures 2 and 3. Recently, Fernandez-Gomez et al. (2019) shows similar results and discussed the CTIPe model capabilities to reproduce the major storm and suggested possible ways to further improve the numerical physics-based model.

Furthermore, the O/N_2 ratio simulated by the CTIPe model has been used to compare the results with GUVI observation. Figure 6 shows the CTIPe modeled O/N_2 ratio at 06:00 UT and 07:30 UT during quiet and storm days. We observe significant differences between quiet and storm days. Similar to the GUVI observed O/N_2 ratio in Figure 4, the modeled O/N_2 ratio during a storm is also decreased in the high latitude region and enhances in the low latitude region. Fuller-Rowell et al. (1996) show that the down-

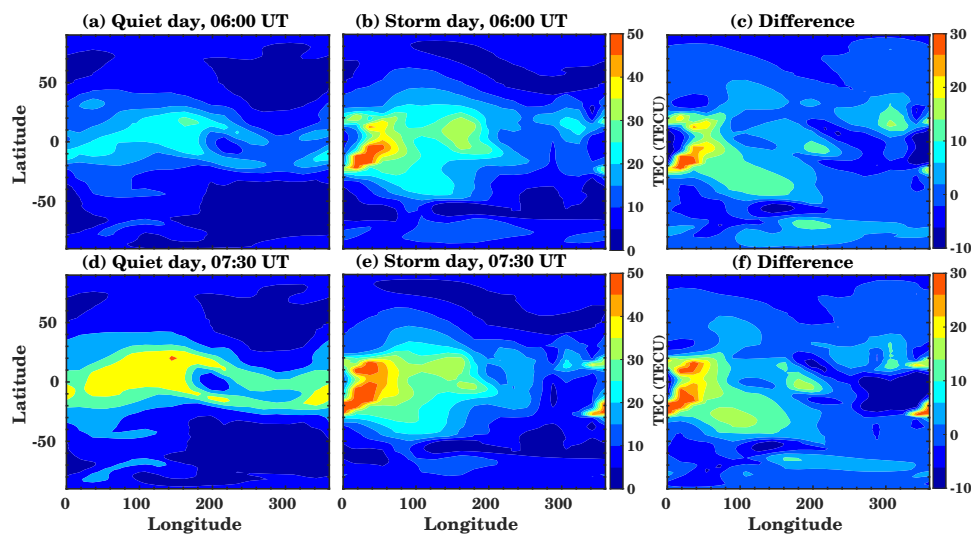


Fig. 5: CTIPe modeled TEC for 06:00 UT (a,b) and 07:30 UT (d,e) on quiet and storm days and corresponding difference plot (storm-quiet days, c,f).

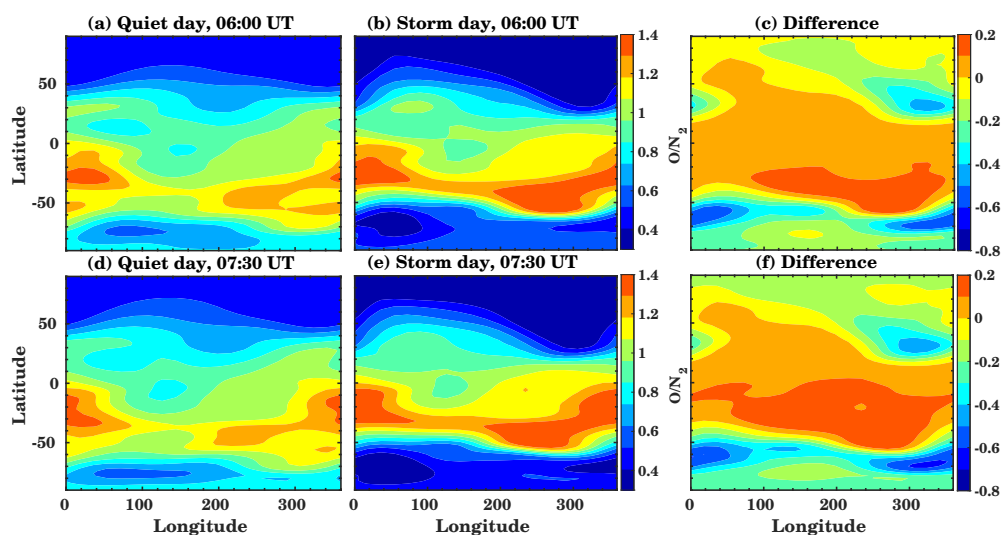


Fig. 6: CTIPe modeled O/N_2 for 06:00 UT (a,b) and 07:30 UT (d,e) on quiet and storm days and corresponding difference plot (storm-quiet days, c,f).

welling of neutrals due to thermospheric circulation in the low and middle latitudes results in increasing atomic oxygen density, which contributes to an increasing O/N_2 ratio and consequently increasing TEC. The difference plot (c, f) suggest a clear increase in the O/N_2 ratio in the low- and mid-latitude, and a decrease in the high latitude regions. In summary, the CTIPe modeled TEC and O/N_2 ratio shows a significant effect of geomagnetic storms. The model shows sufficient capability to reproduce the storm event.

4 Conclusions

In this case study, electron density disturbances in the Earth's ionosphere during the 25-26 August 2018 severe geomagnetic storm with minimum Dst index -174 nT was investigated using IGS-TEC observations. A significant difference between storm day and quiet day TEC is observed. The O/N_2 ratio observed from the GUVI instrument onboard

the TIMED satellite is used to examine the impact of the magnetic storm. The result shows a clear depletion of O/N_2 ratio in the high latitude region and enhancement in the low latitude region during the main phase of the storm. Furthermore, Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere electrodynamics (CTIPe) model simulations were used. The results suggest that the CTIPe model can capture the ionospheric variations during the storms, and simulated TEC variability agrees with the one shown by IGS TEC.

Acknowledgements

The Dst index, IMF Bz, IEF Ey, Np, Kp index and daily F10.7 index datasets are available from the OMNIWeb website (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>). IGS TEC maps have been kindly provided via NASA through <ftp://cdis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/ionex/>. The CTIPe simulation results were provided by the Community Coordinated Modeling Center (CCMC) at GSFC through their public Runs on Request system (<http://ccmc.gsfc.nasa.gov>). The study has been supported by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) through grant No. JA 836/33-1.

References

- Abunin, A. A., Abunina, M. A., Belov, A. V., and Chertok, I. M., 2020: Peculiar Solar Sources and Geospace Disturbances on 20–26 August 2018, *Solar Physics*, 295, doi: 10.1007/s11207-019-1574-8.
- Astafyeva, E., Zakharenkova, I., and Pineau, Y., 2016: Occurrence of the dayside three-peak density structure in the F2 and the topside ionosphere, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121, 6936–6949, doi:10.1002/2016ja022641.
- Astafyeva, E., Zakharenkova, I., Hozumi, K., Alken, P., Coïsson, P., Hairston, M. R., and Coley, W. R., 2018: Study of the Equatorial and Low-Latitude Electrodynamic and Ionospheric Disturbances During the 22–23 June 2015 Geomagnetic Storm Using Ground-Based and Spaceborne Techniques, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 2424–2440, doi:10.1002/2017ja024981.
- Bhattacharyya, A., Fedrizzi, M., Fuller-Rowell, T. J., Gurrum, P., Kakad, B., Sripathi, S., and Sunda, S., 2019: Effect of Magnetic Storm Related Thermospheric Changes on the Evolution of Equatorial Plasma Bubbles, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 124, 2256–2270, doi:10.1029/2018ja025995.
- Blagoveshchensky, D. and Sergeeva, M., 2020: Ionospheric parameters in the European sector during the magnetic storm of August 25–26, 2018, *Advances in Space Research*, 65, 11–18, doi:10.1016/j.asr.2019.07.044.
- CDDIS: GNSS Atmospheric Products, available at: http://cdis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/atmospheric_products.html, Last accessed: 2020-02-15, 2020.
- Chen, G., Xu, J., Wang, W., Lei, J., and Burns, A. G., 2012: A comparison of the effects of CIR- and CME-induced geomagnetic activity on thermospheric densities and

- spacecraft orbits: Case studies, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 117, doi:10.1029/2012ja017782.
- Codrescu, M. V., Negrea, C., Fedrizzi, M., Fuller-Rowell, T. J., Dobin, A., Jakowsky, N., Khalsa, H., Matsuo, T., and Maruyama, N., 2012: A real-time run of the Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere Electrodynamics (CTIPE) model, *Space Weather*, 10, doi:10.1029/2011sw000736.
- Correia, E., Spogli, L., Alfonsi, L., Cesaroni, C., Gulisano, A. M., Thomas, E. G., Ramirez, R. F. H., and Rodel, A. A., 2017: Ionospheric F-region response to the 26 September 2011 geomagnetic storm in the Antarctica American and Australian sectors, *Annales Geophysicae*, 35, 1113–1129, doi:10.5194/angeo-35-1113-2017.
- Danilov, A., 2013: Ionospheric F-region response to geomagnetic disturbances, *Advances in Space Research*, 52, 343–366, doi:10.1016/j.asr.2013.04.019.
- Fernandez-Gomez, I., Fedrizzi, M., Codrescu, M. V., Borries, C., Fillion, M., and Fuller-Rowell, T. J., 2019: On the difference between real-time and research simulations with CTIPE, *Advances in Space Research*, 64, 2077–2087, doi:10.1016/j.asr.2019.02.028.
- Fuller-Rowell, T., Codrescu, M., H, R., Moffett, R., and Quegan, S., 1996: On the seasonal response of the thermosphere and ionosphere to geomagnetic storms, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 101, 2343–2353, doi:10.1029/95JA01614.
- Fuller-Rowell, T. J. and Rees, D., 1980: A Three-Dimensional Time-Dependent Global Model of the Thermosphere, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37, 2545–2567, doi:10.1175/1520-0469(1980)037<2545:attdtg>2.0.co;2.
- Fuller-Rowell, T. J., Rees, D., Quegan, S., Moffett, R. J., and Bailey, G. J., 1987: Interactions between neutral thermospheric composition and the polar ionosphere using a coupled ionosphere-thermosphere model, *Journal of Geophysical Research*, 92, 7744, doi:10.1029/ja092ia07p07744.
- Hernández-Pajares, M., Juan, J. M., Sanz, J., Orus, R., Garcia-Rigo, A., Feltens, J., Komjathy, A., Schaer, S. C., and Krankowski, A., 2009: The IGS VTEC maps: a reliable source of ionospheric information since 1998, *Journal of Geodesy*, 83, 263–275, doi:10.1007/s00190-008-0266-1.
- Hocke, K., Liu, H., Pedatella, N., and Ma, G., 2019: Global sounding of F region irregularities by COSMIC during a geomagnetic storm, *Annales Geophysicae*, 37, 235–242, doi:10.5194/angeo-37-235-2019.
- Jacobi, C., Jakowski, N., Schmidtke, G., and Woods, T. N., 2016: Delayed response of the global total electron content to solar EUV variations, *Advances in Radio Science*, 14, 175–180, doi:10.5194/ars-14-175-2016.
- Kutiev, I., Tsagouri, I., Perrone, L., Pancheva, D., Mukhtarov, P., Mikhailov, A., Lastovicka, J., Jakowski, N., Buresova, D., Blanch, E., Andonov, B., Altadill, D., Magdaleno, S., Parisi, M., and Torta, J. M., 2013: Solar activity impact on the

- Earth's upper atmosphere, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A06, doi:10.1051/swsc/2013028.
- Liu, J., Zhao, B., and Liu, L., 2010: Time delay and duration of ionospheric total electron content responses to geomagnetic disturbances, *Annales Geophysicae*, 28, 795–805, doi:10.5194/angeo-28-795-2010.
- Mendillo, M., Papagiannis, M. D., and Klobuchar, J. A., 1970: Ionospheric Storms at Midlatitudes, *Radio Science*, 5, 895–898, doi:10.1029/rs005i006p00895.
- Millward, G., Moffett, R., Quegan, S., and Fuller-Rowell, T., 1996: A coupled thermosphere-ionosphere-plasmasphere model (CTIP), *STEP handbook on ionospheric models*, pp. 239–279.
- Mukhtarov, P., Pancheva, D., Andonov, B., and Pashova, L., 2013: Global TEC maps based on GNSS data: 1. Empirical background TEC model, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 118, 4594–4608, doi:10.1002/jgra.50413.
- Qian, L., Wang, W., Burns, A. G., Chamberlin, P. C., and Solomon, S. C., 2020: Responses of the Thermosphere and Ionosphere System to Concurrent Solar Flares and Geomagnetic Storms, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, doi:10.1029/2019ja027431.
- Quegan, S., Bailey, G., Moffett, R., Heelis, R., Fuller-Rowell, T., Rees, D., and Spiro, R., 1982: A theoretical study of the distribution of ionization in the high-latitude ionosphere and the plasmasphere: first results on the mid-latitude trough and the light-ion trough, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 44, 619–640, doi:10.1016/0021-9169(82)90073-3.
- Richmond, A. D., Ridley, E. C., and Roble, R. G., 1992: A thermosphere/ionosphere general circulation model with coupled electrodynamics, *Geophysical Research Letters*, 19, 601–604, doi:10.1029/92GL00401.
- Strickland, D. J., Evans, J. S., and Paxton, L. J., 1995: Satellite remote sensing of thermospheric O/N₂ and solar EUV: 1. Theory, *Journal of Geophysical Research*, 100, 12 217, doi:10.1029/95ja00574.
- Sutton, E. K., Forbes, J. M., and Nerem, R. S., 2005: Global thermospheric neutral density and wind response to the severe 2003 geomagnetic storms from CHAMP accelerometer data, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 110, doi:10.1029/2004ja010985.
- Vaishnav, R., Jacobi, C., Berdermann, J., Schmolter, E., and Codrescu, M., 2018: Ionospheric response to solar EUV variations: Preliminary results, *Advances in Radio Science*, 16, 157–165, doi:10.5194/ars-16-157-2018.
- Vaishnav, R., Jacobi, C., and Berdermann, J., 2019: Long-term trends in the ionospheric response to solar extreme-ultraviolet variations, *Annales Geophysicae*, 37, 1141–1159, doi:10.5194/angeo-37-1141-2019.

Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAiC): Overview of LIM Contributions

Brückner, M.¹, Lonardi, M.¹, Ehrlich, A.¹, Wendisch, M.¹, Jäkel, E.¹
Schäfer, M.¹, Quaas, J.¹, Kalesse, H.¹

¹ *Leipzig Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig*
E-mail: m.brueckner@uni-leipzig.de

Summary: The first year-round Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAiC) expedition into the central Arctic starting in September 2019 explores the Arctic climate system. The project has been designed by an international consortium of leading polar research institutions, led by the Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (AWI). Within the German research consortium (AC)³ causes and effects of the rapid rise of near-surface air temperatures in the Arctic are investigated. The consortium contributes significantly to the MOSAiC expedition. Contributions from the Leipzig Institute for Meteorology are summarized in this paper.

Zusammenfassung: Im September 2019 startete die erste ganzjährige Expedition in die zentrale Arktis mit dem Namen Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAiC) um das arktische Klimasystem zu erforschen. Dieses Projekt wurde von einem internationalen Konsortium, federführend vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), konzipiert. Innerhalb des deutschen Sonderforschungsbereich/Transregio (AC)³ werden die Ursachen und Auswirkungen des rapiden Anstiegs der bodennahen Lufttemperatur in der Arktis untersucht. Das Konsortium trägt wesentlich zur MOSAiC Expedition bei. Die Beiträge des Leipziger Instituts für Meteorologie werden in diesem Artikel zusammengefasst.

1 Introduction

For meteorologists and climate scientists, the Arctic is one of the most interesting regions on Earth. Here, climate changes currently take place at an unprecedented pace and intensity, and the reported dramatic changes have not been completely anticipated. The Arctic is warming more rapidly than the rest of the world, a process referred to as the Arctic amplification.

Over the past 25 years, scientists have observed a remarkable increase of near-surface air temperatures, which exceeds the global warming by a factor of 2 to 3 (Wendisch et al., 2017). To find out why this is happening, in January 2016 the German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) launched a new Transregional Collaborative Research Center (TR 172) called "Arctic Amplification: Climate Relevant Atmospheric and Surface Processes, and Feedback Mechanisms." This effort, known by the abbreviation (AC)³, has as its overarching scientific objectives the identification,

investigation, and evaluation of key processes involved in Arctic amplification; improving the understanding of the major feedback mechanisms; and quantifying the relative importance of these mechanisms. In January 2020, the second phase of the project started.

The overarching goals for phase II are to identify, investigate, and evaluate the key processes contributing to Arctic amplification, to improve the understanding of the local and remote feedback mechanisms, and to quantify their relative importance for Arctic amplification. Specifically, we will investigate the full annual cycle of Arctic climate changes, and the scarcely observed central Arctic. Furthermore, we will cover larger spatial scales with a particular emphasis on process studies, such as warm air intrusions into the Arctic or cold air outbreaks, as important examples of Arctic mid-latitude linkages. (AC)³ will expand the assessment of the oceanic and sea ice compartments and their links to the atmosphere. As an important collaborative effort, the consortium is involved decisively in a major observational campaign. To obtain data over the entire annual cycle from the central Arctic, we have already initiated research to make unique German university based contributions to the international Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAiC) expedition. The campaign data will be analyzed in collaboration with modelling activities building mostly on the unique Icosahedral non-hydrostatic (ICON) model family.

During the MOSAiC expedition (<https://www.mosaic-expedition.org/>), the German ice breaker Research Vessel (RV) Polarstern (central observatory), will be frozen in the Siberian sea ice in fall 2019 along with a distributed network of research sites on the ice (Fig. 1). This observational constellation will move across the Arctic ice cap with the natural transpolar drift of the sea ice for a full year. The drifting cruise will be accompanied by a number of intensive aircraft observations, measurements from coordinated ships and land stations, as well as numerous satellite analyses and coordinated modelling efforts including weather forecast and climate models. As a result of the observations, shortcomings in the numerical description of Arctic processes and sources of erroneous forecasts in the Arctic will be identified. This will contribute to an improved understanding of linkages between the Arctic and the mid-latitude weather phenomena and reduce climate projection uncertainties on global and regional scales. The Science magazine has referenced MOSAiC as one of the top areas of research and policy, likely to gain wide public recognition in 2019 and 2020 (Brainard, 2019). (AC)³ is a major German player within the international MOSAiC (Fig. 1) consortium in which 17 nations are involved. (AC)³ will lead two of the planned airborne campaigns (MOSAiC-Airborne observations in the Central Arctic, MOSAiC-ACA) using the Polar 5 and Polar 6 aircraft of AWI to complement the observations on RV Polarstern.

The airborne campaigns are scheduled to take place in March/April and in August/September 2020. LIM (AC)³ Projects A03, B03, and C01 will be involved in these airborne campaigns. Furthermore, (AC)³ will deliver a crucial component of the remote sensing and in-situ observations on RV Polarstern (projects B07, C01), contribute with the balloon measurements on the drifting ice station (A02), and take part in specific oceanic and sea ice in-situ measurements during the drift (C01). MOSAiC will provide unique opportunities to validate satellite retrievals in the central Arctic. Almost all projects of (AC)³ with modelling focus will use the data collected during MOSAiC (D02, E01). Several PhD students of (AC)³ will directly participate in the six legs of

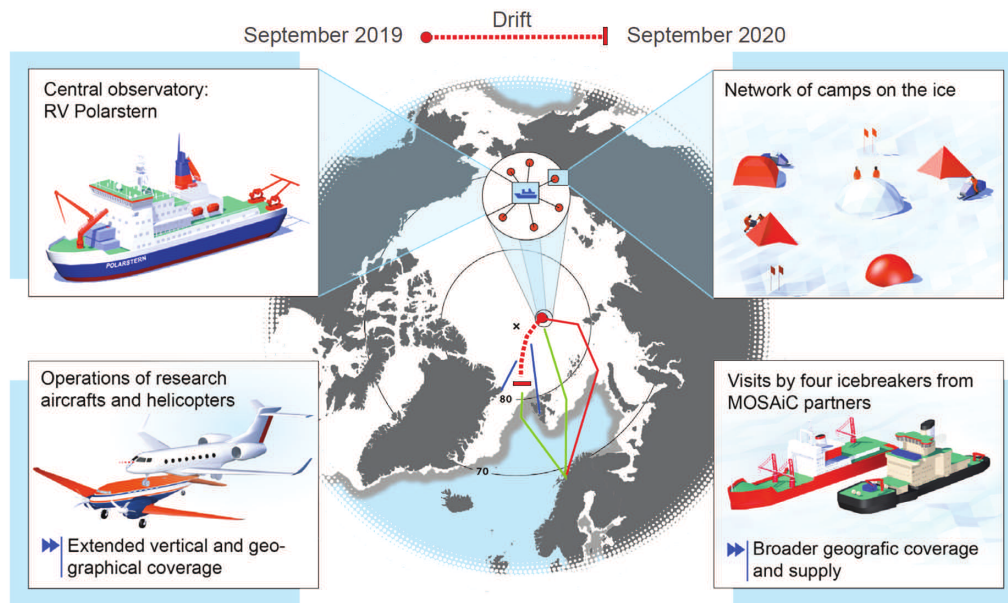


Figure 1: *Scheme of the MOSAiC expedition with its four main components. Source: <https://www.mosaic-expedition.org/>.*

the MOSAiC cruise. Cooperation with MOSAiC research teams in the fields of sea ice physics, physical oceanography, biogeochemistry, and ecology will strongly contribute to the goals of (AC)³.

2 Project contributions to MOSAiC

In the following sections, an overview on the Leipzig Institute for Meteorology (LIM) involved (AC)³ project contributions to MOSAiC is given.

2.1 Project A02 – Local energy budget profiles

The main objective of the combined LIM and Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS) team during leg 4 of MOSAiC is the operation of BELUGA (Balloon-borne moduLar Utility for profilinG the lower Atmosphere). BELUGA is a tethered balloon platform (Egerer et al., 2019) that has proven to be a powerful tool in understanding atmospheric processes in the Arctic boundary layer. The system is composed of a tethered balloon, a winch with 2 km of tether and a set of scientific payloads that can be installed under the balloon. The balloon is roughly 12 m long and is filled with Helium for its 90 cubic meters of capacity, allowing to carry 20 kg of dynamic payload under fair weather conditions. A 400 kg electrically powered winch rolls the Kevlar tether that connects the balloon to the ground, allowing to control the altitude (up to 1.5 km) and the climb rate of the balloon. The tether is equipped with slings to allow the installation of specifically developed payloads, which are the scientific heart of the system. The payloads consist in a standard meteorology sensor, a broadband radiation probe (CyLIMDER), an aerosol probe (CAMP), a turbulence probe, an ice particle sampler (VIPS), a cloud water sampler (CWS), a filter sampler (HALFBAC) and a transponder to track the position of

the balloon. The strength of the system is its capability to carry different combinations of instruments, which allows to compare data from different probes. This makes it possible to investigate more in depth specific processes such as the relation among aerosol and radiation, the in cloud energy budget and the evolution of clouds life. Furthermore, the scalability of the system allows for changes in case of not ideal weather conditions. Different configurations are planned, each targeting a specific process, and having an own flight plan are illustrated in Fig. 2.

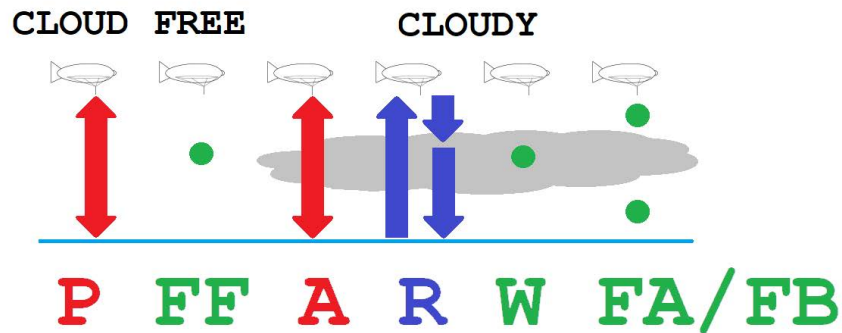


Figure 2: Planned BELUGA configurations during MOSAiC expedition including a simple profiling configuration (P), and a filter sampling package (FF) during cloud free conditions, and an aerosol package (A), broadband radiation package (R), a wet package (W), and the FF can be deployed above (FA) and below (FB) clouds.

In cloud free conditions, a simple profiling package (P) is scheduled to collect data about the atmospheric conditions to provide a base for statistical analysis and for comparison with the cloudy situation. This package consists of the standard meteorology, CAMP, CyLIMDER and the turbulence probe. With the same cloud free conditions, a filter sampling package (FF) can be deployed at a fixed height. In this case, the instruments used are the standard meteorology, CAMP and HALFBAC.

A wider range of combinations is available for cloudy cases. An aerosol package (A) will profile the entire boundary layer, collecting information on aerosol distribution and its relations with particle phase (ice or liquid) and turbulence. This is done using the standard meteorology, CAMP, VIPS, and the turbulence probe. A package investigating the broadband radiation (R) is instead the heart of LIM scientific interests. This setup will profile inside the cloud and the underlying boundary layer with particular care for the cloud's base and top, as well as the inversions. The radiation data will be analyzed together with the cloud ice properties to investigate the radiative impact of the latter, and with turbulence data to provide energy budgets at fixed heights. The instruments in use will be the standard meteorology, CyLIMDER, VIPS and the turbulence probe. Sampling the cloud itself is an almost unique opportunity, therefore a wet package (W) has been elaborated in order to sample the cloud water and ice. This is done using the standard meteorology, CWS and VIPS. Finally, the same filter sampler setup (FF) used in the cloud free case can be deployed above the cloud (FA) or below (FB).

LIM aims to use these data to answer the scientific questions included in the working group A02 of the (AC)³ project. As a general achievement, a long term (2 months) deployment of BELUGA on the ice allows to investigate the seasonal statistics of irradiance profiles through boundary layer clouds from an in situ perspective. This can be done using the data from CyLIMDER and comparing them with model simulations (libRadtran) and other remote sensing instruments (OCEANET and ARM). Furthermore, these data could be extended by airborne measurements from A03.

A second issue to investigate is the radiative effect of cloud microphysics. Starting from some case studies with analogous macrophysical conditions, microphysical differences can be compared to estimate their impact of the broadband radiation. Furthermore, one could build the story of the microphysics: starting from the aerosol concentration and size (CAMP) determine the source and number of INP (CWS and HALFBAC) to get finally to the ice particles (VIPS), observing the changes in the radiation (CyLIMDER). This work could be extended with comparisons to models and remote sensing.

Finally, energy fluxes in Arctic boundary layer clouds will be investigated using different scenarios. For example, different cloud states could be compared (single layer mixed cloud VS ice cloud) as well as different cloud positioning (cloud capping inversion VS cloud inside the inversion).

The team will first establish its own infrastructure (Balloon Town) on the ice floe and then conduct daily surveys on the ice on a 8-17 schedule. The work will not consist in just the operation of BELUGA but also on all the technical maintenance of the related infrastructure, instrument repairs, data storage and backup, production of quicklooks. On top of that, the team will be involved in the common activities of the scientific crew, such as 2 daily briefings and evening scientific communications, as well as polar bear safety duties.

2.2 Project A03 – Areal energy flux profiles

The MOSAiC-ACA aircraft measurements accompanying the MOSAiC expedition will be planned together with all participating international groups outside of (AC)³, e.g., from France, Finland, and Russia. Polar 5 & 6 will sample data in March/April and in late summer of 2020. This will enlarge our data sets allowing the season dependent analysis. The expected major outcome will be vertical profiles of (i) mean meteorological variables, (ii) turbulence statistics, and (iii) solar and thermal-infrared radiative fluxes. New aspects will be considered during the data analysis focusing on changing parameters along air–mass trajectories, in the best case towards the position of RV Polarstern. Flights with suitable patterns in the ship’s environment will also be performed, aiming to compare the mast and tethered balloon data on the ice camp. The long transects will further deliver valuable statistics on the variability of the radiative properties and will be applied to refine the known mode structure of the radiative forcing in Arctic regions.

The Polar aircraft will use almost identical instrumentation as during Arctic Cloud Observations Using Airborne Measurements during Polar Day (ACLOUD, Wendisch et al., 2019). The aircraft will be equipped with sensors for mean meteorological variables, five-hole probes (100 Hz data of pressure and wind vector), fast (100 Hz) Pt-100 temperature and Licor humidity sensors, as well as broadband and spectral radiation instruments (irradiance and radiance, solar and thermal-infrared). Laser altimeters will

be used for sea–ice topography detection (20 kHz). Sea–ice cover and high clouds are monitored with digital cameras. Surface temperature will be measured with a radiation thermometer (KT19). Additionally, Polar 5 will use two imaging spectrometers (visible, near-infrared) and a new thermal-infrared imager (in cooperation with B03 and C01). This will enable to resolve horizontal small–scale inhomogeneities of the cloud top and/or surface in the range of a meter. The flight patterns will focus on the measurement of vertical flux profiles and their horizontal variability. Air–mass modification studies will be accomplished by dropsonde measurements, performed along large distances, e.g., between Svalbard and Polarstern.

2.3 Project B03 – Mixed-phase cloud observations

MOSAiC-ACA (Svalbard) in early spring and late summer 2020 uses the Polar 5 & 6 aircraft. These measurements will address seasonal differences and bridge the ground–based observations of Polarstern, Ny–Ålesund, and the Cold-air Outbreaks in the Marine Boundary Layer Experiment (COMBLE, <https://www.arm.gov/research/campaigns/amf2020comble>; Bear island and Andenes). MOSAiC-ACA Spring will most likely be dominated by mixed–phase clouds and a high background aerosol concentration, while in MOSAiC-ACA Summer low level liquid clouds and lower aerosol concentrations are more likely (Mioche et al., 2015; Croft et al., 2016; Nomokonova et al., 2019).

MOSAiC-ACA is based on the ALOUD instrumentation. The remote sensing capabilities of Polar 5 will be extended by the thermal infrared (IR) imager VELOX which is suitable for cloud remote sensing over sea ice. Instead of MiRAC-P a lower frequency MW radiometer (20-60 GHz) will be operated in order to provide enhanced sea ice information also for B05 and temperature profile information. The CVI system on board Polar 6 will be upgraded by a tunable diode laser (TDL) hygrometer to measure the collected condensed water content (CWC) and a cloud condensation nucleus counter. Cloud and aerosol in–situ observations will be obtained in collaboration with the CAESAR (Cold-Air outbreak Experiment in the Sub-Arctic Region) aircraft campaign (<https://apps3.awi.de/YPP/pdf/stream/163>). The operation of the instruments requires technical preparation, an intense characterization in the laboratory and development of data post processing; especially for the new instrumentation. After quality checks and post processing, the data will be published as a collected data base within PANGAEA. The research flights primarily aim to follow air masses (warm and cold), that experience air mass transformation. During MOSAiC-ACA, the air masses ideally origin from or are transported to the location of Polarstern. To identify areas most suitable for the analysis, a detailed planning including extended weather forecast, forward and backward trajectories will be performed.

2.4 Project B07 – Sea ice leads and clouds

The wintertime Arctic sea ice area is characterized by different degrees of fracturing. Openings in the sea ice start as narrow cracks, which can develop to larger leads reaching hundreds of meters to kilometers width. Mostly near the coast and along landfast ice, extended areas of open water (polynyas) can develop. Leads and polynyas result in a

substantial heat and moisture flux from the relatively warm ocean to the cold atmosphere.

We will make use of extensive long-term remote-sensing observations from the one-year long MOSAiC drifting observatory with the RV Polarstern and the coastal station Utqiaġvik (formerly known as Barrow) of the US-Department of Energy (DOE) Atmospheric Radiation Measurement (ARM) program at the North Shore of Alaska to extend the focus area of (AC)³ to the Central and Western Arctic. To quantify the influence of leads or polynyas on clouds, the micro- and macrophysical properties of surface-coupled clouds during onshore winds (or winds towards the Polarstern observatory during MOSAiC) in the presence of leads or polynyas will be compared to clouds observed during onshore winds in closed sea-ice conditions.

2.5 Project C01 – Surface heterogeneity and flux observations

During the one-year MOSAiC expedition, a comprehensive data set will be collected to describe the seasonality and inter-annual variability of spectral and broadband radiative flux densities through the atmosphere and ocean compartments as functions of sea ice properties (surface type, albedo and transmittance, snow/ice thickness and ice floe distribution, ice surface and bottom roughness). Measurements will extend from local to regional scales by means of remote stations, radiation buoys, and helicopter surveys, which will allow comparisons on a satellite footprint scale. The ground-based observations will be accompanied by airborne sampling with the AWI Polar 5 & 6 aircraft in two periods (March-April and August- September 2020).

Typical scales of the spatial heterogeneity and 2D horizontal distributions of the surface properties (albedo α , directional reflectance, surface type, temperature T_{Sur}) will be derived from airborne radiation measurements during MOSAiC for different seasons and regions. We will complement our instrumentation by a multi-wavelength thermal infrared imager for retrieving 2D surface temperature fields. The three parameters (α , T_{Sur} , surface type) will be directly used to validate and improve the surface albedo parameterization applied in climate models. 2D fields of surface albedo and temperature will serve as input for the 3D RTM to quantify the local 3D effects in the solar and thermal infrared spectral range. A subset of surface observations (infrared, hyperspectral, laser scanner, ice thickness) will additionally be available from helicopter measurements during MOSAiC, which has the potential to bridge spatial and temporal scales.

Seasonal differences in the derived surface properties from the spring and summer MOSAiC aircraft campaigns observations will be analyzed. Data from the helicopter measurements will deliver additional surface properties to fill the gap between the MOSAiC aircraft campaigns on a local and regional scale. In phase I, the surface albedo parameterization of HIRHAM-NAOSIM was adjusted based on ACLOUD measurements in May/June. Jäkel et al. (2019) based on the solar zenith angle and cloud coverage (B03). Therefore, it will be investigated how these environmental variables will affect the measured surface albedo and the directional reflection in terms of the hemispherical directional reflection functions (HDRF), and how accurate the measured surface albedo can be reproduced by the adjusted surface albedo parameterization throughout the annual cycle.

2.6 Project D02 – Aerosol-cloud interactions

We will provide (i) simulation output from the ICON-HAM model with nests for the MOSAiC campaign for use by the (AC)³ teams, and (ii) an evaluation of the ICON-HAM model using the field campaign data.

The MOSAiC drift experiment will provide the unique opportunity for a process-level evaluation of Arctic aerosol and mixed-phase clouds in ICON-HAM at the model grid scale and throughout the Arctic year. MOSAiC data will be used to evaluate the annual cycle of modelled Arctic aerosol and its impact on clouds and radiation and, specifically, the representation of aerosol aging and removal. The development of the ocean emission scheme will also largely benefit from the biogeochemical investigations during MOSAiC. In terms of Arctic mixed-phase and ice-cloud processes, the focus will be on evaluating the modelled ice crystal number concentration, N_i , and its sensitivity to the INP budget, as well as the influence of the Wegener-Bergeron-Findeisen (WBF) mechanism and ice crystal fall speed on ice-cloud evolution. Another key evaluation issue is the boundary layer impact on cloud and aerosol-cloud processes. The MOSAiC model runs will be performed using ICON-HAM with grid spacings of approx. 40 km globally, 13 km over the Arctic north of 60°N, and up to 5 km for nests along the MOSAiC drift track, using the local grid-refinement capability. The nesting approach helps to achieve sufficient comparability between model and observations and allows to link local processes with associated climate signals.

2.7 Project E01 – Lapse rate feedback

The objective of E01 is to synthesize (AC)³ research with respect to Arctic feedback processes. The focus is on the lapse-rate feedback (LRF). E01 feeds (AC)³ results from various investigations into models across scales, including the ICON general circulation model (GCM).

The high-resolution simulations focus on air masses in four geographical regions of key importance for Arctic amplification, including the high Arctic, marginal sea ice zone, open ocean, and land masses. Field-campaign data in those regions will be used to constrain the simulations, including the MOSAiC campaign. Comparing resolved clouds and inversions under different climate forcing will provide new insights into the role of small-scale processes versus large-scale dynamics in the LRF. In addition, the research will further elucidate the impact of ocean-atmosphere interactions, in particular the role played by sea ice.

The key method of E01 is modelling using the ICON model family across scales. The LIM team will run ICON in GCM mode ([$O(100\text{ km})$] resolution) and – for combination with the MOSAiC field campaign – in NWP mode ([$O(1\text{ km})$] resolution).

Using the output of the ICON-GCM simulations, the LRF will be analyzed in more detail for the MOSAiC focus areas. From the simulations, we choose areas of interest with a distinct signal in the LRF, which are sampled by recent or upcoming field campaigns. For the central Arctic, we focus on cloud vs cloud free states as identified by surface pressure (Stramler et al., 2011; Morrison et al., 2012), and select a location visited by the Polarstern during MOSAiC.

Simulations in numerical weather prediction (NWP) mode at [$O(1\text{ km})$] horizontal

resolution were carried out by the LIM team in phase I of (AC)³ to accompany the ACLOUD and PASCAL measurement campaigns (Wendisch et al., 2019) and proved very useful to interpret measurements and to evaluate the model. We will simulate with the ICON-NWP model in R2B10 resolution (2.5 km) the MOSAiC campaign that GCM simulations suggest are relevant to advance the process understanding.

3 References

- Brainard, J.: All eyes on polar ice, *Science*, 363 (6422), 8–10, doi:10.1126/science.363.6422.8, 2019.
- Croft, B., Martin, R. V., Leaitch, W. R., et al.: Processes controlling the annual cycle of Arctic aerosol number and size distributions, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 3665–3682, doi:10.5194/acp-16-3665-2016, 2016.
- Egerer, U., Gottschalk, M., Siebert, H., Ehrlich, A., and Wendisch, M.: A new setup for combined turbulence and radiation measurements using a tethered balloon in the cloudy Arctic, *Atmos. Meas. Tech.*, accepted, doi:10.5194/amt-2019-80, 2019.
- Jäkel, E., Stapf, J., Wendisch, M., et al.: Validation of the sea ice surface albedo scheme of the regional climate model HIRHAM–NAOSIM using aircraft measurements during the ACLOUD/PASCAL campaigns, *Cryosphere*, 13, 1695–1708, doi:10.5194/tc-13-1695-2019, 2019.
- Mioche, G., Jourdan, O., Ceccaldi, M., and Delanoë, J.: Variability of mixed-phase clouds in the Arctic with a focus on the Svalbard region: a study based on spaceborne active remote sensing, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 2445–2461, doi:10.5194/acp-15-2445-2015, 2015.
- Morrison, H., de Boer, G., Feingold, G., et al.: Resilience of persistent Arctic mixed-phase clouds, *Nat. Geosci.*, 5, 11–17, doi:10.1038/NNGEO1332, 2012.
- Nomokonova, T., Ebell, K., Löhnert, U., et al.: Statistics on clouds and their relation to thermodynamic conditions at Ny–Ålesund using ground-based sensor synergy, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 1–22, doi:10.5194/acp-19-1-2019, 2019.
- Stramler, K., Del Genio, A., and Rossow, W. B.: Synoptically driven Arctic winter states, *J. Clim.*, 47, 1747–1762, doi:10.1175/2010JCLI3817.1, 2011.
- Wendisch, M., Brückner, M., Burrows, J. P., et al.: ArctiC Amplification: Climate Relevant Atmospheric and SurfaCe Processes, and Feedback Mechanisms: (AC)³, *Eos*, 98, doi:10.1029/2017EO064803, 2017.
- Wendisch, M., Macke, A., Ehrlich, A., et al.: The Arctic Cloud Puzzle: Using ACLOUD/PASCAL Multi-Platform Observations to Unravel the Role of Clouds and Aerosol Particles in Arctic Amplification, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 100 (5), 841–871, doi:10.1175/BAMS-D-18-0072.1, 2019.

Statistische Analyse der jährlichen Windverteilung für energiemeteorologische Anwendungen an der Station Lindenberg

Seidel, C.¹, Lochmann, M.²

¹ *Institut für Meteorologie, Stephanstraße 3, 04103 Leipzig,
E-mail: cs68reva@studserv.uni-leipzig.de*

² *Institut für Meteorologie, Stephanstraße 3, 04103 Leipzig,
E-mail: moritz.lochmann@uni-leipzig.de*

Summary: The statistical analysis of measurements from the Doppler lidar at the 'Lindenberg Meteorological Observatory - Richard Assmann Observatory' (MOL-RAO) provides important findings about the mean wind field in Lindenberg. In the mean wind speed and direction seasonal and annual cycles were identified. Some seasonal features in the wind speed could be associated with particular weather conditions. In addition to the mean wind conditions at a specific place, the analysis and forecast of short-term changes in the wind speed, so-called ramp-events, is very important for the operation of wind turbines. This work shows the potential of a Doppler lidar for an improvement of the energy prediction for wind turbines as well as for the analysis of the mean wind field.

Zusammenfassung: Die statistische Auswertung von Windmessdaten des Dopplerlidars am 'Meteorologischen Observatorium Lindenberg - Richard-Abmann-Observatorium' (MOL-RAO) hat Erkenntnisse über die jährliche Windverteilung an der Station Lindenberg geliefert. So konnten Jahrgänge der Windgeschwindigkeit und -richtung ermittelt werden. Die mittlere Windgeschwindigkeit schwankt zu allen Zeiten periodisch aller 5 bis 10 Tage, wobei im klimatologischen Winter höhere Amplituden und Maxima auftreten als im Sommer. Zudem konnten jahreszeitliche Besonderheiten im Verlauf der Windgeschwindigkeit mit bestimmten Wetterlagen in Verbindung gebracht werden. Für den Betrieb von Windenergieanlagen (WEA) ist neben den mittleren Windverhältnissen vor Ort, auch die Analyse und Prognose kurzfristiger Änderungen in der Windgeschwindigkeit, so genannter Ramp-Ereignisse, von Interesse. Diese werden unter anderem durch Fronten oder Konvektion ausgelöst und treten gehäuft im Frühjahr und Sommer auf. Die Arbeit konnte das Potential eines Dopplerlidars für die Auswertung solcher Ereignisse, aber insbesondere auch der statistischen Windverteilung an einem Standort zur Verbesserung der Leistungsprognose von WEA aufzeigen.

1 Einleitung

Der Ertrag von Windenergieanlagen (WEA) wird maßgeblich von den am jeweiligen Standort vorherrschenden Windverhältnissen bestimmt. Um Prognosen des Energieertrags zu optimieren, aber auch neue Standorte zu prüfen, sind langjährige Messungen und Statistiken der Windverhältnisse in der atmosphärischen Grenzschicht notwendig.

Aufgrund der sehr guten zeitlichen und vertikalen Auflösung ist ein Dopplerlidar besonders gut geeignet. Neben der Untersuchung der mittleren Windverhältnisse im Jahresverlauf zur Abschätzung des Gesamtenergieertrags, sind auch präzise, kurzfristige Prognosen zur Regulierung der ins Netz eingespeisten Strommenge möglich. Hierbei ist insbesondere die Prognose kurzfristiger starker Schwankungen der Windgeschwindigkeit, sogenannter Ramp-Ereignisse, aber auch das Auftreten des Low-Level-Jets (LLJ) wichtig für den Betrieb der Anlagen und muss untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit dienen als Zuarbeit einer Doktorarbeit, die sich mit erneuerbaren Energien und deren Optimierung, insbesondere der Verbesserung von kurzfristigen Leistungsprognosen für Windenergie, beschäftigt. Als Anwendungsbeispiel für die Windanalysen dienen Windenergieanlagen der Firma Vestas in Lindenberg (Vestas, 2011).

2 Auswertung der Daten

Der dieser Arbeit zu Grunde liegende Datensatz wurde im Zeitraum vom 01.01.2014 bis 14.05. 2019 am MOL-RAO mittels eines Dopplerlidars aufgenommen. Dabei handelt es sich jeweils um Mittelwerte über Messwerte der letzten 30 Minuten. Das Messgerät, ein Dopplerlidar des Typs 'Streamline' der Firma 'HALO Photonics', und die grundlegende Datenverarbeitung werden in Päscke et al. (2015) und Leinweber (2013) beschrieben. Besonderer Dank gilt dem DWD Lindenberg für die Bereitstellung der Daten des Dopplerlidars, welche diese statistische Auswertung ermöglicht haben.

2.1 Vertikale Auflösung und Auswahl der untersuchten Höhen

Die vertikale Auflösung der Messungen unterscheidet sich für verschiedene Zeiträume, wobei die gesamte Messhöhe jeweils in eine unterschiedliche Anzahl Höhenlevel aufgeteilt wurde. Um die Daten dennoch vergleichen zu können, wurden für die betrachteten Höhen jeweils Nearest-Neighbour-Werte verwendet, wodurch Abweichungen der Messhöhe von der angegebenen Höhe bis zu 15,8 m entstehen können, deren Einfluss jedoch für die hier gemachten Auswertungen gering sind. Im Hinblick auf die Anwendung der Statistiken für energiemeteorologische Betrachtungen, wurden Höhen im Bereich des Rotors von WEA gewählt. Die WEA in Lindenberg, auf die sich die angegebene Doktorarbeit bezieht, erstrecken sich mit einer Nabenhöhe von 100 m und einem Rotordurchmesser von 80 m etwa über einen Höhenbereich von 60 bis 140 m (Vestas (2011), S.14). Deshalb werden im Folgenden Höhen von 70, 100 und 200 m für die Analyse der Windverhältnisse verwendet. Zur Veranschaulichung der weiteren Entwicklung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe in der atmosphärischen Mischungsschicht wird zusätzlich eine weitere Höhe von 1000 m bzw. 500 m betrachtet.

2.2 Zeitliche Auflösung der Daten

Im angegebenen Zeitraum vom 01.01.2014 bis 14.05.2019 liegen für zwei Zeitabschnitte, welche sich jeweils über ein reichliches Jahr erstrecken, relativ kontinuierlich Daten vor, sodass sich auf die Auswertung dieser Zeiträume konzentriert wurde. Das ist zum einen der Zeitraum 01.01.2014 bis 01.06.2015 mit einer Messlücke vom 24.05. bis

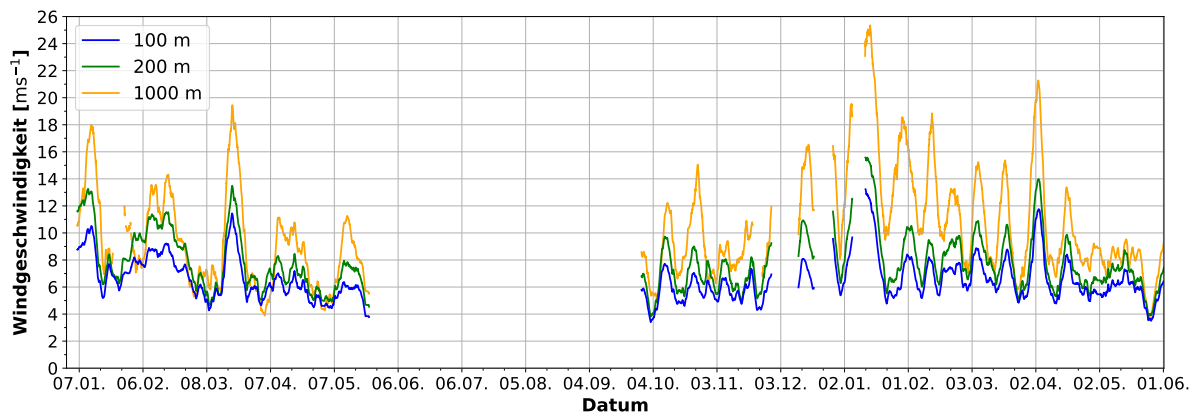
22.9.2014 und zum anderen der Zeitraum 01.06.2018 bis 14.05.2019 mit einer Messlücke vom 18.10. bis 03.12.2018. Desweiteren liegen Messwerte vom 15.11.2016 bis 28.03.2017 vor. Neben den Datenlücken aufgrund von fehlenden Messungen, kommen im Datensatz noch einzelne Werte oder kleinere Zeiträume vor, in denen die Messungen aufgrund fehlender Rückstreupartikel oder vorhandener Wolken gestört oder verfälscht worden sind. Diese sind im Datensatz als 'not a number' (NaN) markiert und werden bei den Berechnungen vernachlässigt. Der Anteil der vorhandenen Messwerte an der Gesamtanzahl der möglichen Messwerte in einem bestimmten Zeitraum wird im Folgenden als prozentuale Datenabdeckung bezeichnet.

2.3 Datenabdeckung

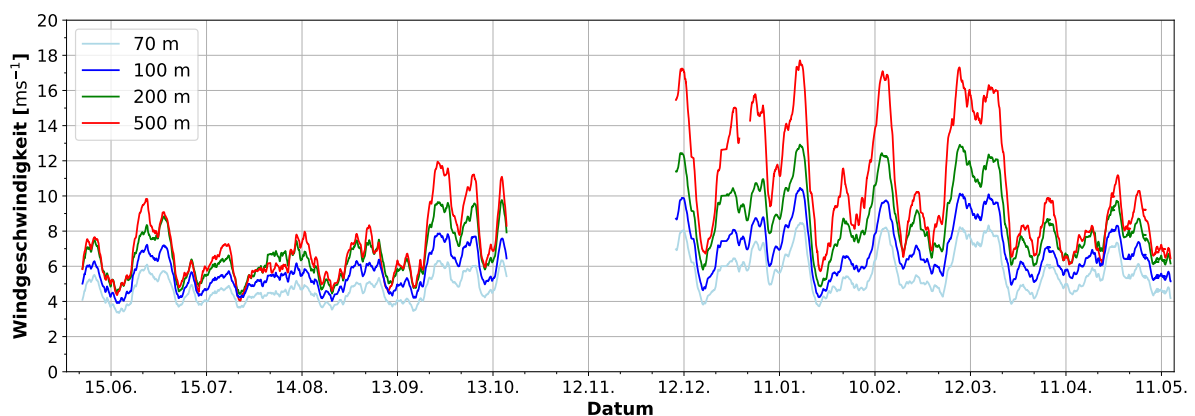
Die Datenabdeckung unterscheidet sich je nach Zeitraum und Höhe. Dabei konnte festgestellt werden, dass sie mit der Höhe abnimmt, was in der zunehmenden Anzahl an Störfaktoren wie zum Beispiel Wolken in größerer Höhe und der Abnahme von Aerosolpartikeln mit der Höhe begründet liegt. Für den gesamten Datensatz liegt die Datenabdeckung auch in 1000m noch bei 78,7%, für kleinere Zeiträume kann das aber stark abweichen. In der Nabenhöhe der Beispiel-WEA von 100m ist die Datenabdeckung für alle ausgewerteten Zeiträume mit mindestens 97,5% sehr gut, was für die Anwendung eines Dopplerlidars für die Leistungsprognose von WEA spricht. Für die Analyse jahreszeitlicher Besonderheiten wurden jeweils alle verfügbaren Datenpunkte des gesamten Datensatzes, die in der entsprechenden Jahreszeit liegen, zusammengefasst. Beim Vergleich der vier Jahreszeiten muss beachtet werden, dass jeweils unterschiedlich viele Daten vorliegen. Für Frühling und Winter liegen jeweils Messdaten aus 3 bis 4 Jahren vor, wodurch diese Ergebnisse gut vergleichbar sind und als repräsentativ angesehen werden können. Für Sommer und Herbst liegen jeweils nur aus einem Jahr Daten vor, weshalb zwischenjährliche Abweichungen nicht abgebildet werden können. Zudem ist die Datenabdeckung in größeren Höhen im Winter deutlich geringer als in den anderen Jahreszeiten, da in dieser Zeit häufiger tiefe Wolken vorkommen und die Grenzschicht allgemein niedriger ist.

3 Untersuchung der Windgeschwindigkeit

Zur Analyse der Windverhältnisse wird die Windgeschwindigkeit im folgenden Kapitel als Zeitreihe für verschiedene Höhen und Zeiträume dargestellt. Für kurze Zeiträume können direkt die 30-min-Mittelwerte verwendet werden. Zur Betrachtung längerer Zeiträume wird die Darstellung als laufendes Mittel nötig, bei dem im speziellen Fall jedem Datenpunkt das Mittel über die letzten 5 Tage (entsprechend 240 Messwerten) zugeordnet wird. Dieser Zeitraum entspricht ungefähr der Frequenz durchziehender Zykklonen, die in unseren Breiten wetterbestimmend sind, und macht sie in der Auswertung erkennbar. Bei fehlenden Messungen über einen Zeitraum von weniger als drei Tagen wird die Linie des laufenden Mittels jeweils durchgezogen und das Mittel über die Lücke hinweg berechnet. Solche Lücken treten insgesamt nur 11-mal im gesamten Datensatz auf und sind somit vernachlässigbar. Diese Vorgehensweise ist auf Lücken aufgrund fehlender Messungen in allen Höhen beschränkt. Um entstehende Lücken in einzelnen Höhen abzubilden, wird der jeweilige Mittelwert nur unter der Voraussetzung berech-



(a) Zeitraum 01.01.2014-01.06.2015



(b) Zeitraum 01.06.2018-14.05.2019

Abbildung 1: Die Jahrgänge der Windgeschwindigkeit im Vergleich für zwei ausgewertete Zeiträume für verschiedene Höhen dargestellt als laufendes Mittel über die letzten 5 Tage. In (a) wurde der Übersicht halber auf die Darstellung der Windgeschwindigkeit in 70 m Höhe verzichtet, da diese parallel zu der in 100 m bei etwas niedrigeren Werten verläuft. Im Zeitraum (b) wurde aufgrund besserer Datenabdeckung eine Höhe von 500 m als Vergleichshöhe gewählt.

net, dass im Mittelungszeitraum für mindestens 50% der Datenpunkte Werte vorliegen. Diese Darstellung der 5-Tages-Mittelwerte erlaubt einen Überblick über die mittleren Windgeschwindigkeiten am Standort über ein Jahr oder einige Monate und das Ableiten erkennbarer Jahrgänge.

3.1 Der Jahrgang 2014-15

Der in Abbildung 1a gezeigte Jahrgang der Windgeschwindigkeit vom 01.01.2014-01.06.2015 weist einen relativ gleichmäßigen Wechsel zwischen Zu- und Abnahme der Windgeschwindigkeit etwa aller 5 Tage auf, welcher sich durch Änderungen der Wetterlage und den Durchzug von Zykklonen begründen lässt. Meist ist zudem eine zunehmende Windgeschwindigkeit mit der Höhe erkennbar, wie sie aus dem Grenzschichtprofil (Kraus, 2008) zu erwarten ist. Nur in wenigen Fällen bei allgemein schwachem Wind liegt eine so gut durchmischte Atmosphäre vor, dass sich die Windgeschwindigkeit mit

der Höhe kaum ändert. Besonders starke Winde über mehrere Tage treten vor allem im Winter und Frühjahr auf, was auf das Auftreten von Tiefdruckgebieten mit tieferem Kerndruck inklusive Sturmtiefs in diesen Jahreszeiten zurückzuführen ist.

Diese Aussage konnte durch genauere Analyse des Windgeschwindigkeitsverlaufs und der zugehörigen Wetterlagen im Januar 2015 belegt werden. Dabei waren in den 5-Tages-Mittelwerten vom 22.12.2014 bis 04.02.2015 zwei starke Maxima in der mittleren Windgeschwindigkeit zu erkennen, die sich eindeutig auf den Durchzug mehrerer Sturmtiefs zurückführen ließen. Vom 21.12.-26.12.2014 bestimmte Sturmtief Freia (unwetterzentrale.de) das Wetter in Lindenberg und sorgte für erhöhte Windgeschwindigkeiten in allen Höhen. Vom 7.01.-16.01.2014 folgten mehrere Tiefdruckgebiete, darunter vier Orkantiefs direkt aufeinander, die mit ihren Frontensystemen für starke Westwinde in Lindenberg sorgten und das Windmaximum von über 25 m s^{-1} im Jahresgang in Abb. 1a erklären. Die anschließende Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit und das Erreichen des nächsten Maximums konnten durch Zwischenhocheinfluss und den Durchzug eines weiteren Tiefdrucksystems vom 28.01.-04.02. begründet werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die starken aber recht gleichmäßigen Schwankungen in der Windgeschwindigkeit insbesondere im Winter und Frühjahr auf den Wechsel zwischen Tiefdrucksystemen mit tiefem Kerndruck und Hochdruckeinfluss beruhen.

3.2 Der Jahresgang 2018-19

Der in Abbildung 1b dargestellte Jahresgang der Windgeschwindigkeit vom 01.06.2018 bis 14.05.2019 zeigt ebenfalls deutliche Schwankungen aller 5 bis 10 Tage, die auf den Wechsel der Wetterlage zwischen Durchzug von Zyklonen und Zwischenhochs zurückzuführen sind. Diese Schwankungen sind, wie auch schon für den Zeitraum 2014-15 festgestellt, im Winter regelmäßiger ausgeprägt und erreichen deutlich höhere Maxima, da im Winter mehr und regelmäßiger Zyklonen mit tieferem Kerndruck vorkommen. Allerdings liegen die Frequenzen der Schwankungen für dieses Jahr bei etwa 10 Tagen. Im Sommer dagegen sind die Schwankungen schwächer und weisen geringere Frequenzen auf, was unter anderem an häufigen Hochdrucklagen im Sommer 2018 liegt. Außerdem erreichen die mittleren Windgeschwindigkeiten geringere Maximalwerte als im Winter. Das gilt insbesondere für den Wind in höheren Schichten. Von April bis September nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe nur wenig bis gar nicht zu, wohingegen in den anderen Monaten eine deutliche Zunahme zu erkennen ist. Besonders auffällig ist die Drängung der Kurven aus den betrachteten Höhen vom Juni bis September 2018, die auf einen geringen vertikalen Gradienten schließen lässt. Das bedeutet, dass über den gesamten Zeitraum von Anfang Juli bis Mitte September eine sehr gut durchmischte Grenzschicht vorgelegen haben muss. Hinzu kommt eine über mehrere Tage erkennbare Abnahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe Anfang August, die dem zu erwartenden Grenzschichtprofil widerspricht. Aus diesem Grund wurde der Zeitraum vom 29.07.-14.08.2018 genauer analysiert.

Die Messwerte der 30-min-Mittelwerte sind in Abb. 2 dargestellt und zeigen häufig sehr ähnliche Windgeschwindigkeiten in allen Höhen. Besonders vom 30.07. bis 03.08. ist in den Nächten eine deutliche Geschwindigkeitsabnahme mit der Höhe erkennbar. Tagsüber ändern sich die Verhältnisse, sodass die Windgeschwindigkeit mit der Höhe annähernd konstant bleibt. Dasselbe Phänomen ist auch vom 05.-10.08. zu erkennen. Die

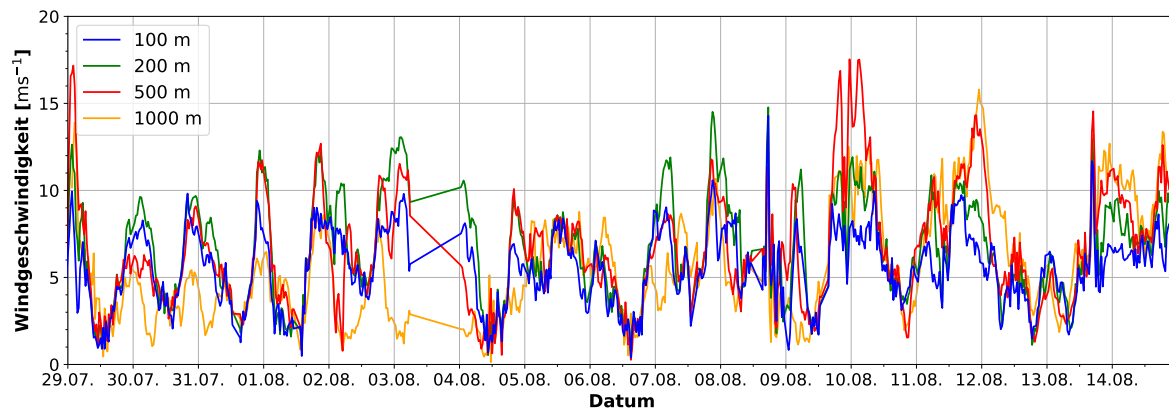


Abbildung 2: Der Verlauf der Windgeschwindigkeit vom 29.07.-14.08.2018 als Darstellung der im Datensatz zur Verfügung stehenden 30-min-Mittelwerte für vier verschiedene Höhen.

Analyse der Großwetterlage mit Hilfe von Bodenwetterkarten des DWD-Archivs (wetter3.de) ergab, dass über den gesamten Zeitraum eine sehr stationäre Hochdruckwetterlage mit wenigen schwachen stationären Fronten vorlag, die kaum Wetteraktivitäten brachten. Der Wind war, wie auch die Messwerte zeigen, allgemein sehr schwach, sodass wenig Dynamik in der Atmosphäre herrschte und die Strahlung einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Grenzschicht hatte. Dadurch konnte es zur Ausprägung eines charakteristischen Tagesganges der Atmosphärischen Grenzschicht (Stull, 1988) kommen, wie er häufig bei Hochdrucklagen auftritt. Dieses Phänomen ist eindeutig im Verlauf der Windgeschwindigkeit an den Tagen vom 30.07. bis 03.08. und 05.-10.08. erkennbar, wobei das Maximum der Windgeschwindigkeit zwischen 200 und 500 m Höhe liegt und kurz vor Mitternacht erreicht wird. Als Grund für dieses starke Maximum kann das Auftreten eines Low-Level-Jets vermutet werden. Tagsüber nimmt die Windgeschwindigkeit dann in einer konvektiven, gut durchmischten Grenzschicht ab und ändert sich kaum mit der Höhe.

3.3 Das Auftreten eines Low-Level-Jets

Um das Auftreten eines Low-Level-Jets (LLJ) zu überprüfen und zu bestätigen, wurde die Entwicklung des Windprofils im Laufe einer Nacht analysiert, die in Abbildung 3 dargestellt ist. Ausgangspunkt der Entwicklung soll das Profil am 31.07. um 12:01 UTC bilden, das typisch für eine konvektive Grenzschicht ist, die sich häufig am Tag in Hochdruckgebieten ausprägt. Bis zum Sonnenuntergang 19:00 UTC ändert sich diese Schichtung kaum. Nach dem Sonnenuntergang beginnt die Windgeschwindigkeit zunächst gleichmäßig in allen Höhen bis etwa 1600 m zuzunehmen. Ab etwa 21:00 steigt die Windgeschwindigkeit dann in 200 – 400 m deutlich stärker an und bildet in diesem Bereich einen klassischen LLJ aus, der 22:00, in diesem Fall 3 h nach Sonnenuntergang, seine maximale Ausprägung erreicht hat. Im Profil um 22:00 ist dann eine Abnahme des Windes zwischen 300 und 1600 m und eine erneute Zunahme ab dieser Höhe zu erkennen, was auf eine Grenzschichthöhe von etwa 1600 m schließen lässt. In Abbildung 3b ist die Auflösung des LLJ in der zweiten Nachthälfte dargestellt. Bis zum Sonnenauf-

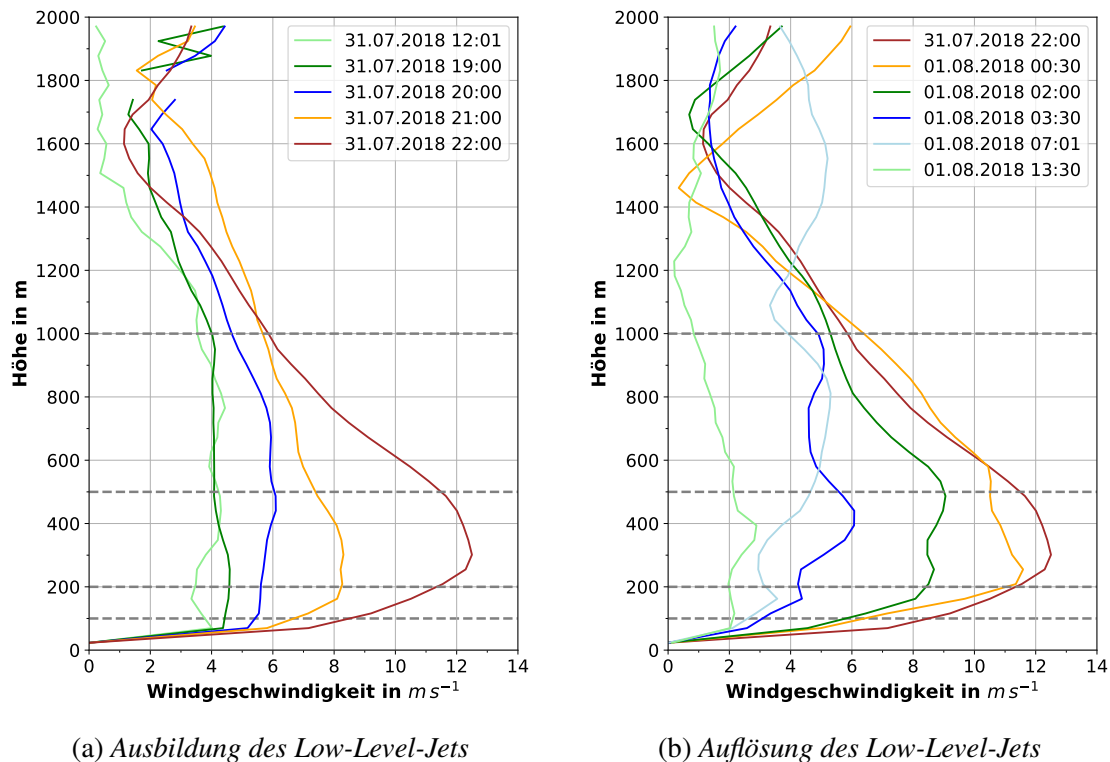


Abbildung 3: Die zeitliche Entwicklung des Vertikalprofils der Windgeschwindigkeit zeigt die Ausbildung eines Low-Level-Jets am 31.07.2018 und seine Auflösung am 01.08.2018.

gang am 01.08.2018 um 3:30 UTC nimmt die Windgeschwindigkeit in allen Höhen bis 1000 m stark ab, sodass sie zum Sonnenaufgang in diesem Bereich nahezu konstant ist. Erkennbar sind zwei leichte Maxima im Profil in 400 und 1000 m Höhe, die auf die beginnende Turbulenz in der Grenzschicht zurückzuführen sind. Bis zum Mittag verstärkt sich die Durchmischung, wodurch sich erneut eine konvektive Grenzschicht ausbilden kann. Diese Entwicklung des Windprofils im Laufe eines Tages bestätigt das Auftreten des charakteristischen Tagesganges der Windgeschwindigkeit in Hochdruckgebieten an diesem Tag. Die Auswertung der Windprofile weiterer Nächte mit ähnlichen Verläufen ergab für alle Nächte vom 30.07. bis 02.08. und 07.-10.08. das Auftreten eines LLJ. Aufgrund der mit der Höhe nahezu gleichbleibenden Windgeschwindigkeit tagsüber, überwiegen im 5-Tages-Mittel die nächtlichen, durch den LLJ hervorgerufenen Profile, welche eine Abnahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe oberhalb von 200 m zeigen. Langanhaltende Hochdruckwetterlagen im Sommer konnten somit sogar in den 5-Tages-Mittelwerten abnehmende Windgeschwindigkeiten mit der Höhe bewirken. Aus den Profilen der Windgeschwindigkeit in Abb. 3 wird zudem die große Bedeutung des LLJ für den Betrieb von Windenergieanlagen deutlich. In der Nabenhöhe vieler Anlagen von 100 m nimmt beispielsweise die Windgeschwindigkeit in den 3 Stunden nach Sonnenuntergang um fast das Doppelte zu, um dann in den 5,5 Stunden bis Sonnenaufgang um einen noch größeren Betrag wieder abzunehmen. Diese Differenzen führen zu einem erheblichen Unterschied in der Menge produzierten Stroms. Aus der Leistungskurve der Anlagen, auf die in dieser Arbeit Bezug genommen wird (Vestas, 2011), ergibt

sich ein Anstieg der Leistung von 50 auf 800 kW innerhalb von 3 Stunden bei einer Zunahme der Windgeschwindigkeit von $4,5 \text{ ms}^{-1}$ auf knapp $8,5 \text{ ms}^{-1}$. Bis zum Sonnenaufgang sinkt die Windgeschwindigkeit dann sogar unter die Einschaltgeschwindigkeit von 4 ms^{-1} , sodass kein Strom mehr produziert werden kann. Diese Leistungsdifferenzen müssen bei der Einspeisung ins Stromnetz durch die Regulierung anderer Energieträger ausgeglichen werden, weshalb es sehr wichtig ist, sie sicher prognostizieren zu können. Zudem ergibt sich besonders zur Zeit der maximalen Ausprägung des LLJ ein sehr starker Gradient über den Bereich der Rotorblätter, die sich von etwa 60 bis 140 m Höhe erstrecken. Aus dem Profil der maximalen Ausprägung um 22:00 ergibt sich etwa eine Zunahme von 6 ms^{-1} in 60 m auf 10 ms^{-1} in 140 m Höhe. Dadurch wirken auf die obere Flügelspitze des Rotors größere Kräfte als auf die untere Spitze, was einen Stressfaktor für die Anlage darstellt. Die Übertragung der Messergebnisse auf die Anlagen gilt nicht unmittelbar, da sie nicht exakt am selben Ort stehen. In der Region um das MOL-RAO sind jedoch ähnliche Windverhältnisse zu erwarten.

3.4 Verallgemeinerung des Jahresgangs der Windgeschwindigkeit

Zum besseren Vergleich der Entwicklung der mittleren Windgeschwindigkeit im Laufe eines Jahres sind in Abbildung 4 die 5-Tages-Mittel aller im Datensatz vorkommenden Zeiträume für eine Höhe von 100 m dargestellt. Zunächst ist die unterschiedliche Häufigkeit an Daten aus den einzelnen Monaten und Jahreszeiten erkennbar. Im Winter und Frühling liegen deutlich mehr Messungen vor als im Sommer und Herbst, wodurch die Ergebnisse aus diesen Zeiträumen unterschiedlich repräsentativ sind.

Beim Vergleich aller dargestellten Verläufe fällt auf, dass in allen Kurven zu allen Zeiten im Jahr Schwankungen in der Windgeschwindigkeit mit einer Frequenz von etwa 10 Tagen auftreten. Wie in den vorangegangenen Abschnitten für einzelne Monate beschrieben wurde, sind diese auf den Wechsel der Großwetterlage zurückzuführen. Dabei wechseln sich jeweils ein ausgedehntes Tiefdrucksystem, das die Maxima in der Windgeschwindigkeit erzeugt, und ein Zwischenhoch ab. Diese Abfolge sorgt für gleichmäßige Schwankungen, wie sie zum Beispiel im Winter 2015 zu sehen sind. Bei genauerer Betrachtung wie in Abb. 1a lässt sich in diesem Fall immer eine Zunahme der Windstärke mit der Höhe feststellen. Bei einer ausgedehnten Hochdruckwetterlage über mehrere Tage oder sogar Wochen sind die Amplituden der Schwankungen schwächer und erreichen geringere Frequenzen, wie es zum Beispiel im Sommer 2018 häufig der Fall war. Die zeitlichen Verläufe aller Messperioden zeigen zudem, dass im Winter in allen Höhen deutlich höhere mittlere Windgeschwindigkeiten erreicht werden als im Sommer. Im Verlauf des Jahres sind geringere maximale Windgeschwindigkeiten im Sommer zu erkennen, Mitte September nehmen diese zu und im Dezember bis März kommen die stärksten Winde vor. Ab Anfang April bis Mai erreichen die mittleren Windgeschwindigkeiten ähnliche Werte wie im Herbst. Diese Abstufungen treffen einerseits auf die Maxima in den Mittelwerten zu, andererseits aber auch auf die Amplitude der Schwankungen. Die höheren Windgeschwindigkeiten im Winter und Frühjahr sind auf eine dynamischere Atmosphäre im Winter mit regelmäßig durchziehenden Zyklonen zurückzuführen, die sich mit Zwischenhochs abwechseln. Im Sommer dagegen kommen häufiger Hochdruckwetterlagen über mehrere Tage vor, die für schwächere mittlere Winde und dem gehäuftem Auftreten von konvektiven oder stabilen atmosphärischen Grenzschich-

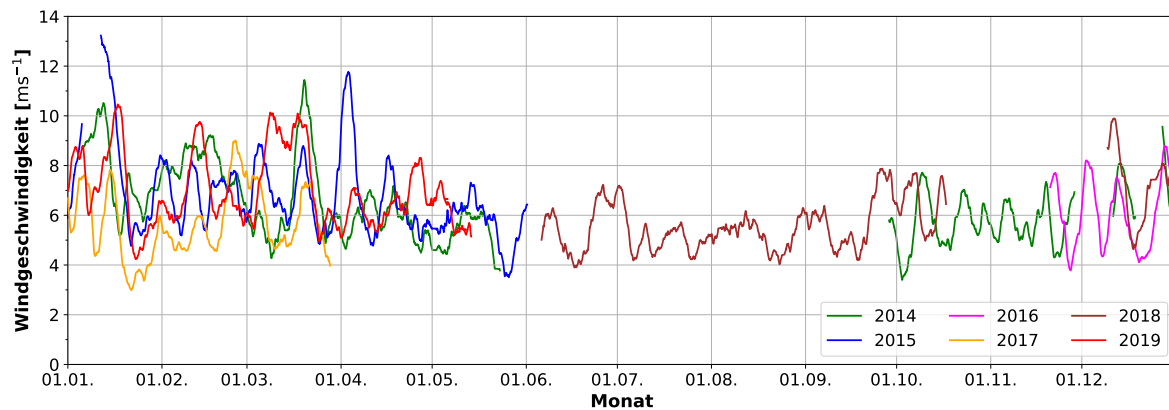


Abbildung 4: *Laufendes Mittel der Windgeschwindigkeit über die letzten 5 Tage in 100 m Höhe.*

ten sorgen. Insbesondere im Sommer 2018 traten diese Wetterlagen sehr häufig auf. Erstaunlich ist zudem, dass die Verläufe aus verschiedenen Jahren zum Teil sehr ähnlich sind. So verlaufen die mittleren Windgeschwindigkeiten aus den Jahren 2017 und 2019 von Mitte Januar bis Mitte Februar annähernd parallel. Das starke Minimum Mitte Januar ist neben 2017 und 2019 ebenfalls in den Daten von 2015 erkennbar. Außerdem weisen die vier verschiedenen Jahre (2014, 2015, 2017 und 2019) Mitte März alle zur selben Zeit ein Maximum in der Windgeschwindigkeit auf, welches jedoch unterschiedlich groß ist. Ebenso verhalten sich die gemittelten Messwerte der Jahre 2014, 2016 und 2018 Anfang Dezember. Im Mittel kann also von einem Jahresgang in der Windgeschwindigkeit ausgegangen werden, der sein Maximum im Winter und sein Minimum im Sommer hat. Um diese These jedoch sicher bestätigen zu können, sind kontinuierliche Messungen über mehrere Jahre notwendig.

4 Untersuchung der Windrichtung

Neben dem Jahresgang der Windgeschwindigkeit wurde auch die jahreszeitliche Änderung der Windrichtung untersucht. Dazu sind in Abbildung 5 die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung in 100 m Höhe in Form von Windrosen für jede Jahreszeit dargestellt, wobei jeweils alle im Datensatz vorhandenen Daten aus der betreffenden Jahreszeit zusammengefasst wurden. Das führt zu sehr großen Unterschieden in der Datenbasis der Verteilungen, welche in Abschnitt 2.3 erläutert wurden. Lindenberg liegt südöstlich von Berlin in Mitteleuropa unter dem Einfluss der Westwindzirkulation der gemäßigten Breiten, weshalb allgemein mit einer vorwiegend westlichen Anströmung zu rechnen ist. Es werden nur die Messwerte aus 100 m Höhe analysiert, da dies die Nabenhöhe der betrachteten WEA ist, in welcher die mittlere Anströmungsrichtung auf die Anlage herrscht. Auch wenn die Verteilungen für Sommer und Herbst aufgrund weniger Daten nicht verallgemeinert werden können, sind einige Muster zu erkennen. So kann in allen Windrosen mit Ausnahme der vom Herbst eine Hauptwindrichtung aus westlichen Richtungen festgestellt werden, wobei diese im Frühling und Sommer eine nördliche und im Winter und Herbst eine südliche Komponente besitzt. Die größten Windgeschwindigkeiten treten nur aus diesen Richtungen auf. Grund dafür ist die allgemeine Zirkulation. Im

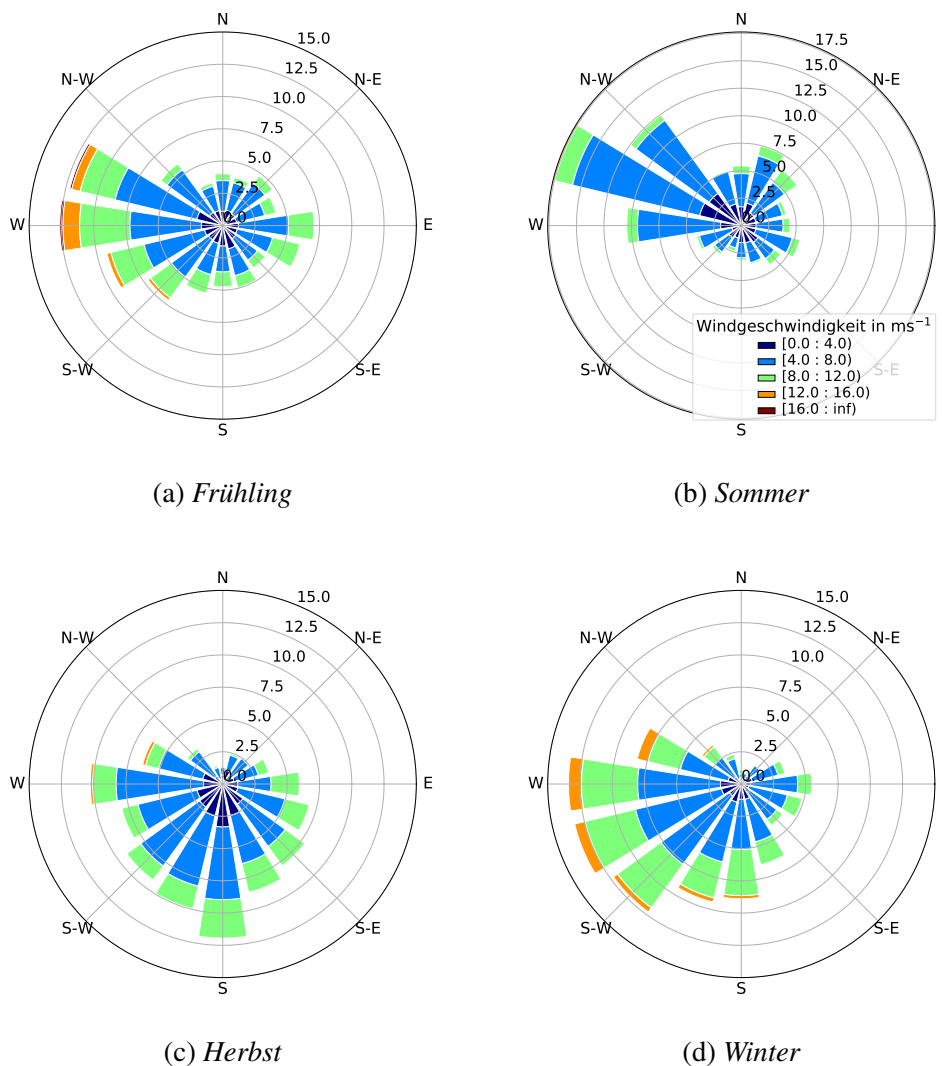


Abbildung 5: Zum Vergleich der Windrichtungsverteilung in den vier Jahreszeiten wurden in den Windrosen jeweils alle Daten aus der betreffenden Jahreszeit dargestellt.

Herbst und Winter ziehen vorwiegend Zyklonen von Westen direkt über Lindenberg und sorgen durch die zyklonale Drehung für südwestliche Anströmungen. Im Frühling und besonders im Sommer verschieben sich diese nach Norden und es bestimmen häufiger Hochdruckgebiete das Wetter, deren Kerne südlich von Lindenberg liegen. Durch die antizyklonale Drehung kommen dann nordwestliche Strömungen vor. Insbesondere im Sommer 2018 lagen diese Hochs häufig über Nordeuropa, sodass der Wind aus Nordost wehte. Es könnte also ein Jahresgang der Hauptwindrichtung vermutet werden, der eine Schwingung zwischen Südwest im Winter und Nordwest im Sommer darstellt. Im Mittel ist somit eine Hauptwindrichtung von West mit jeweils gleich großer Nord- und Südwestkomponente zu erwarten. Dennoch fallen die gemessenen Windrichtungen im Herbst 2014 aus diesem Muster und es kann anhand der verfügbaren Messdaten nicht geklärt werden, ob diese eine Ausnahme oder der Regelfall sind. Deshalb müsste die These über einen Windrichtungsjahresgang anhand längerer, kontinuierlicher Messungen überprüft werden.

5 Ramp-Ereignisse

Sogenannte Ramp-Ereignisse bezeichnen Situationen, in denen sich die Windgeschwindigkeit in einer kurzen Zeit erheblich ändert. In der Windenergiebranche werden diese Ereignisse häufig über starke Zu- oder Abnahmen der gewonnenen Windenergie definiert, da diese beim Einspeisen in das Stromnetz besonders beachtet werden müssen. Dafür sind möglichst präzise Vorhersagen solcher Ereignisse notwendig, die jedoch bisher noch wenig erforscht sind (Ferreira et al., 2011). Im Folgenden werden Ramp-Ereignisse in dem untersuchten Datensatz identifiziert und Zeit und Stärke des Auftretens in der Nabenhöhe der Anlagen von 100 m analysiert. Interessant ist insbesondere, ob zu bestimmten Zeiten oder Wetterlagen gehäuft solche Ereignisse auftreten. Dazu wurden Ereignisse gesucht zu denen die Windgeschwindigkeit in 30 Minuten um mehr als 3 ms^{-1} zu- oder abnimmt, was einem Unterschied zwischen zwei 30-min-Mittelwerten von 3 ms^{-1} oder mehr entspricht. Die wirkliche Änderung der Windgeschwindigkeit in einer halben Stunde kann somit stärker ausgefallen sein, als dies durch die Mittelwerte abgebildet wird. Zudem wurden nur Ramp-Ereignisse betrachtet, bei denen der größere Windgeschwindigkeitswert über 4 ms^{-1} beträgt, da dies die Einschaltgeschwindigkeit der Beispiel-WEA ist und Änderungen unterhalb dieses Werts für diese Anlagen irrelevant sind.

Auf Grundlage dieser festgelegten Kriterien für Ramp-Ereignisse, konnten im vorliegenden Datensatz 111 Ramp-on- und 100 Ramp-off-Ereignisse identifiziert werden, welche in Abbildung 6 abhängig von ihrer Stärke und dem Zeitpunkt im Jahr dargestellt sind. Dabei konnte eine Häufung der Ereignisse in den Frühlingsmonaten März, April und Mai, die aus drei verschiedenen Jahren vorliegen, festgestellt werden. Die vier Winter weisen dagegen mit Ausnahme des Januars 2015 eine geringe Anzahl an Ramp-Ereignissen auf. Die Werte aus jeweils einem Sommer und Herbst sind zwar wenig vergleichbar, zeigen jedoch eine höhere Auftrittsfrequenz in den Sommermonaten 2018 als im Herbst 2014. Zudem kamen insbesondere in den Frühlingsmonaten 2015 und den Sommermonaten 2018 mehr Ramp-on- als Ramp-off-Ereignisse vor. Dasselbe gilt für einige andere Monate im Frühling, aber auch im Herbst. Für die Wintermonate dagegen wurden durchgängig mehr Ramp-off-Ereignisse identifiziert. Als Grund für die Unterschiede sind verschiedene Ursachen für Ramp-Ereignisse in den Jahreszeiten zu vermuten, wie zum Beispiel das Auftreten eines Low-Level-Jets oder von Gewittern vorwiegend im Sommer oder Fronten mit starken Windsprüngen im Herbst und Winter. Eine genaue Untersuchung der Ursachen könnte ein Thema einer zukünftigen Arbeit darstellen.

Neben der Häufigkeit mit der Ramp-Ereignisse auftreten, sind die Zeitpunkte im Jahr und die Stärke mit der sie auftreten von Interesse, welche in Abbildung 6 dargestellt sind. Am häufigsten treten Geschwindigkeitsunterschiede von $3 - 4 \text{ ms}^{-1}$ auf, je größer die Differenzen desto seltener treten sie auf. Die größten Unterschiede liegen dabei bei Ramp-on-Events vor. Die maximal gemessene Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden 30-min-Mitteln betrug $7,9 \text{ ms}^{-1}$ am 01.06.2018 um 16:00 UTC. Am selben Tag traten noch je zwei weitere Ramp-on- und Ramp-off-Ereignisse geringerer Stärke auf. Als Ursache sind durch starke Konvergenz ausgelöste Gewitter zu vermuten.

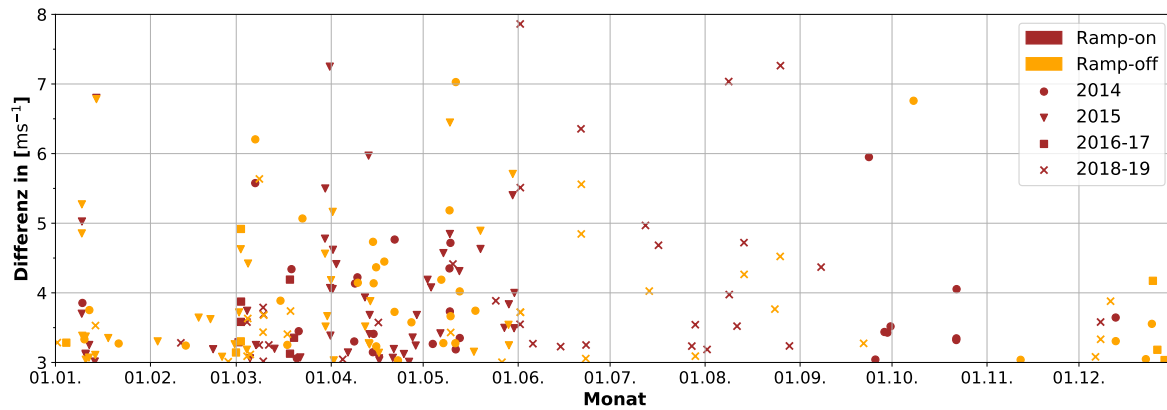


Abbildung 6: Änderung der Windgeschwindigkeit in den letzten 30 min für alle im Datensatz vorkommenden Ramp-Events in einer Höhe von 100 m (rot: Ramp-on- und orange: Ramp-off-Ereignisse). Die unterschiedlichen Formen ordnen die Messwerte zudem den einzelnen Jahren zu. Der Zeitraum 2016-17 bezieht sich dabei auf den 15.11.2016 - 28.03.2017, der Zeitraum 2018-19 auf den 01.06.2018 - 14.5.2019.

Diese Schwankungen bedeuten große Änderungen in der Energieproduktion durch WEA. Im Extrembeispiel der maximalen Zunahme stieg die Windgeschwindigkeit innerhalb einer halben Stunde von $2,8$ auf $10,7 \text{ ms}^{-1}$ an, was mit Blick auf die Leistungskurve der Beispiel-Anlagen einem Anstieg der Leistung der WEA von 0 auf 1.400 kW entspricht. Aber auch Ramp-Ereignisse mit einer Geschwindigkeitsdifferenz von 3 ms^{-1} führen schon zu einer erheblichen Änderung in der ins Netz eingespeisten Leistung.

Beim Vergleich der Winter- und Frühlingsmonate, für die ähnlich viele Messwerte vorliegen, sind im Frühling häufiger Ramp-Ereignisse zu verzeichnen, die zudem mit größeren Geschwindigkeitsdifferenzen einhergehen. Beispielhaft wurde für einige Zeiten mit gehäuftem Auftreten von Ramp-Ereignissen die Wetterlage hinzugezogen, um mögliche Ursachen der Windgeschwindigkeitsänderungen zu ergründen. In den meisten betrachteten Fällen ist der Grund für das Ramp-Event eine Kaltfront oder eine Konvektionslinie. Insbesondere die Ramp-Ereignisse im Sommer 2018 mit vielen Hochdruckwetterlagen stehen im Zusammenhang mit Konvektion. Da in Hochdruckgebieten meist schwache Winde vorherrschen, können diese Ramp-Ereignisse sehr stark ausfallen. Zudem sind sie schlecht und nur sehr kurzfristig prognostizierbar. Frontdurchgänge sind besser prognostizierbar, führen jedoch nicht in jedem Fall zu einem Ramp. Wann genau dies der Fall ist, wurde hier nicht untersucht. Die im Winter und Frühling beobachteten Ramps stehen jedoch oft in Zusammenhang mit Fronten, insbesondere Kaltfronten. Als weiterer Grund für Ramp-on-Ereignisse könnte ein sich bildender Low-Level-Jet vermutet werden, was anhand der hier ausgewerteten Daten jedoch nicht überprüft wurde.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Auswertungen der Messungen des Doppler-Lidars MOL-RAO konnten sowohl monatliche als auch jahreszeitliche Regelmäßigkeiten in Verlauf und Verteilung der Windgeschwindigkeit und -richtung festgestellt werden. Die Analyse des Verlaufs

der über fünf Tage gemittelten Windgeschwindigkeiten ergab für alle vorliegenden Messzeiträume eine ähnliche Frequenz von etwa 5 Tagen, mit der die Windgeschwindigkeit schwankt. Zudem konnte sowohl ein Jahresgang der Windgeschwindigkeit, als auch der Windrichtung ausgemacht werden.

Im Sommer herrschen schwache Winde aus Nordnordwest vor, die im Mittel mit einer geringeren Frequenz und Amplitude schwanken. Im Herbst nehmen die mittleren Windgeschwindigkeiten zu, wie auch Frequenz und Amplitude der Schwankungen und es ist eine Drehung der Hauptwindrichtung auf südlichere Richtungen zu vermuten. Die größten mittleren Windgeschwindigkeiten und Amplituden werden bei Hauptwindrichtungen aus südwestlichen Richtungen im Winter bis Anfang März erreicht. Im Rest des Frühlings nehmen die Windgeschwindigkeiten wieder auf das Sommerniveau ab und der mittlere Wind dreht auf West. Einen Grund für diese Verläufe liefert die jahreszeitlich variierende allgemeine atmosphärische Zirkulation. Im Winter herrschen von Westen durchziehende Zykclone mit zum Teil tiefem Kerndruck vor, während im Sommer häufiger ausgedehnte Hochdruckgebiete das Wetter in Lindenberg bestimmen. Im Allgemeinen konnte anhand der Messwerte die Hauptwindrichtung von West bestätigt werden. Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Windrosen für unterschiedliche Datenmengen und einzelne Jahre sehr verschieden sein können, weshalb immer möglichst viele Daten ausgewertet werden sollten. Die Analyse der Entwicklung des Windprofils innerhalb einer Nacht konnte zur Untersuchung des Low-Level-Jets genutzt werden und hat den Vorteil eines Lidars aufgezeigt, höhenaufgelöst zu messen. Dieser Vorteil eines Dopplerlidars stellt ein Potential zur Verbesserung der Leistungsprognosen von WEA dar.

Die Untersuchung der Messungen auf Ramp-Ereignisse in 100m Höhe ergab bei einer insgesamt geringen Anzahl dieser Ereignisse ein gehäuftes Auftreten im Frühling und Sommer. Als Gründe konnten für einige Beispiele Fronten oder Konvektion nachgewiesen werden. Beim Betracht der beobachteten Stärken der Ramp-Ereignisse in Bezug zur Leistungskurve einer beispielhaften Windenergieanlage wurde die große Relevanz der Untersuchung solcher Ereignisse deutlich. Zur Verbesserung der Prognose von Ramp-Events müssen die Gründe genauer erforscht werden, wozu eine detailliertere Analyse der Wetterlagen und ein Hinzuziehen weiterer Wetterdaten notwendig ist.

Alle Ergebnisse dieser Arbeit müssen im Verhältnis zum Datensatz betrachtet werden und dürfen nicht als statistisches Mittel angenommen werden, da die Zeiträume dazu zu kurz und die Verteilung der Messdaten auf die Monate zu ungleichmäßig sind. Dazu müssen die Ergebnisse durch Auswertung kontinuierlicher Messungen über mehrere Jahre bestätigt werden. Dennoch konnten die mittleren Windverhältnisse in Lindenberg gut abgeschätzt werden. Die Arbeit hat gezeigt, dass sich die hochaufgelösten Daten eines Dopplerlidars einerseits sehr gut für die Analyse der mittleren Windverhältnisse an einem Ort eignen, andererseits aber auch die Auswertung bestimmter Ereignisse wie Low-Level-Jets oder Ramp-Ereignisse ermöglichen. Diese Auswertungen können letztlich zur Verbesserung der Windprognosen beitragen, welche zum effizienten Betrieb von Windenergieanlagen nötig sind.

Literatur

- Ferreira, C., Gama, J., Matias, L., Botterud, A., and Wang, J.: A survey on wind power ramp forecasting., Tech. rep., Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States), 2011.
- Kraus, H.: Grundlagen der Grenzschichtmeteorologie, Springer, 2008.
- Leinweber, R und Lehmann, V.: Erprobung eines Infrarot-Doppler-Lidars, MOL-RAO aktuell, 2013.
- Päschke, E., Leinweber, R., and Lehmann, V.: An assessment of the performance of a 1.5 μm Doppler lidar for operational vertical wind profiling based on a 1-year trial, Atmospheric Measurement Techniques, 8, 2251–2266, 2015.
- Stull, R. B.: An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic Publishers, 1988.
- unwetterzentrale.de: URL <http://www.unwetterzentrale.de/uwz/956.html>, zuletzt abgerufen am 24.05.2020.
- Vestas: URL <https://www.ledsjovind.se/tolvmanstegen/Vestas%20V90-2MW.pdf>, abgerufen am 27.08.2019, 2011.
- wetter3.de: URL http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html, zuletzt abgerufen am 04.09.2019.

Forschungsbericht 2019
Bearbeitete Forschungsprojekte**Institut für Meteorologie****Direktor Prof. Dr. M. Wendisch**

Allgemeine Meteorologie; Manfred Wendisch
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

Schlagnworte: 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 Schneeralbedo, 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. 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 Strahlungstransfermodell angekoppelt sind. Durch die Einbindung von Messdaten in die Modelle und einem anschließenden Vergleich zwischen simulierter und gemessener Schneeralbedo sowie durch Sensitivitätsstudien werden Parametrisierungen der Schneeralbedo, 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: nein

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

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)

Professor Dr. Joachim Curtius, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Atmosphäre und Umwelt

Dr.-Ing. Mirko Scheinert, Technische Universität Dresden, Institut für Planetare Geodäsie

Projektmitarbeiter: Gunda Nitzsche, Anja Schwarz, Jörg Schmidt

Projektbeginn: 2010

Projektende: 2019

Beschreibung

Das Ziel des Antrages ist die zentrale Koordination des SPP 1294 'Atmosphären- und Erdsystemforschung mit HALO' (HALO: HighAltitude and Long Range Research Aircraft, Hochfliegendes und weitreichendes Forschungsflugzeug). Das Projekt dient der Förderung der Zusammenarbeit und Kommunikation innerhalb der HALO Missionsteams und den individuellen Projektpartnern, die im SPP eingebunden sind. Die drei Koordinatoren (M. Wendisch, Universität Leipzig; J. Curtius, Universität Frankfurt am Main; M. Scheinert, Technische Universität Dresden) vertreten den SPP gegenüber der DFG, dem Wissenschaftlichen Lenkungsausschuss (WLA) für HALO, dem HALO Projektteam des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-FX) und der Öffentlichkeit. Der DFG Anteil an den Missionskosten wird an der Universität Leipzig zentral verwaltet. Die Finanzmittel für Maßnahmen zur Förderung der Gleichstellung werden verwaltet, und die Ausbildung der jungen Wissenschaftler wird koordiniert. Monatliche Telefonkonferenzen

der drei Koordinatoren, jährlich Statusseminare und thematische Workshops werden organisiert. Spezielle Sitzungen auf internationalen Konferenzen und Veröffentlichungen von Spezialausgaben in internationalen Zeitschriften werden initiiert und befördert. Die SPP Internet-Seite wird überarbeitet, fortlaufend aktualisiert und gewartet. Um die Arbeit der Koordinatoren zu unterstützen, werden eine halbe Position eines Wissenschaftlichen Administrators und eine Stelle für einen HALO Nutzerkoordinator beantragt. 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

The goal of this proposal is the central coordination of the SPP 1294 'Atmospheric and Earth System Research with HALO' (HALO: High Altitude and Long Range Research Aircraft). The project serves the promotion of cooperation and communication among the HALO mission teams and the individual project participants involved in the SPP. The three coordinators (M. Wendisch, University of Leipzig; J. Curtius, University of Frankfurt am Main; M. Scheinert, Dresden University of Technology) represent the SPP at the DFG, the scientific steering committee of HALO (WLA: Wissenschaftlicher Lenkungsausschuss), the HALO project team of the German Aerospace Center (DLR-FX), and the public. The DFG share of the mission costs will be centrally administered by the University of Leipzig. The funds for measures to promote gender equality are managed, and the training of young researchers is coordinated. Monthly teleconferences of the three coordinators, annual status seminars, and topical workshops will be organized. Special sessions at international conferences and publications of special issues are initiated and pursued. The SPP web page will be revised, continuously updated, and maintained. To support the three coordinators in conducting these tasks, funding of a half-time position of a Scientific Administrator and a HALO User Coordinator is applied for. 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, Projekt number 179953493 and Projekt number 316646266

.....

EUFAR2 - European Facility for Airborne Research in Environmental and Geo-sciences**Schlagworte: flugzeuggetragene Forschung****Projektleiter:** M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)**Projektmitarbeiter:****Projektbeginn: 2014****Projektende: 2018**

Beschreibung (Deutsch- Pflicht; <2000 Zeichen)

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.

Weiterführung: nein ja

Mittelgeber: EU**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 Forschungsflugzeuges 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/ein

Mittelgeber: DAAD

Einfluss der Eisphase auf den Strahlungsantrieb von Wolken: Messungen und Representation in numerischen Wettervorhersagemodellen

Influence of ice phase on radiative forcing of clouds: Observations and representation in numerical weather prediction models

Schlagnworte: flugzeuggetragene Messungen, Wolken, Strahlungsantrieb, Eisphase

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

Projektmitarbeiter: Kevin Wolf

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019

Beschreibung

Methoden der flugzeuggetragenen passiven Fernerkundung mit Hilfe spektraler, solarer und reflektierter Strahldichten werden zur Ableitung der thermodynamischen Phase, der optischen Dicke und des Partikeleffektivradius von Wolken während der HALO Missionen NARVAL-II und NAWDEX angewendet. Insbesondere werden die horizontalen und vertikalen Verteilungen der thermodynamischen Phasen in unterschiedlichen Wolkentypen untersucht. Die Kombination mit anderen HALO-Fernerkundungsinstrumenten einschließlich Radar und Mikrowellensensoren ist geplant. Gleichzeitige Messungen der Wolkenalbedo werden durchgeführt und zur Analyse der Abhängigkeit des Strahlungsantriebs von Wolken-makrophysikalischen und mikrophysikalischen Eigenschaften verwendet. Auf der Basis von breitbandigen und spektralen Strahlungsgrößen dient die gemessene spektrale Wolkenalbedo zur Bewertung von Ergebnissen des ECMWF Integrated Forecast System (IFS). In mehreren Schritten werden 1D und 3D Strahlungstransfermodelle zusammen mit Beobachtungen verwendet, um die Unsicherheiten in der ECMWF-Vorhersage zu identifizieren. Unsicherheiten in Bezug auf das Strahlungsschema und die simulierten Wolkeneigenschaften werden separiert.

Description

The airborne passive solar remote sensing of spectral reflected radiance will be applied to derive cloud thermodynamic phase, optical thickness, and particle effective radius during the HALO Missions NARVAL-II and NAWDEX. In particular, cloud thermodynamic phase and its horizontal and vertical distribution in different cloud types will be investigated. Combination with other remote sensing instruments of HALO including active radar and passive microwave sensors is planned. Simultaneous measurements of cloud top albedo will be derived and used to analyse the dependence of cloud radiative forcing on cloud macrophysical and microphysical properties.

Measured spectral cloud top albedo will be employed to evaluate the ECMWF Integrated Forecast System (IFS) on the basis of broadband and spectral radiative quantities. In different steps, 1D and 3D radiative transfer models will be utilized in combination with the observations to identify and quantify uncertainties in IFS forecasts and analysis fields. Uncertainties due to the radiations scheme and simulated cloud properties will be separated.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, SPP 1294, Projekt number 316500630

Hochaufgelöste Messungen von Turbulenz, Wolkenmikrophysik, und Strahlungsabkühlungsraten in der Einmischungszwischenschicht 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 Laueremann

Projektbeginn: 2015

Projektende: 20198

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 Turbulenzen wodurch trockene und warme Umgebungsluft in die Wolke eingemischt wird, so dass 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 mit den zwei kombinierten, hubschraubergetragenen Messsystemen ACTOS (Airborne Cloud Turbulence Observation System) und SMART--HELIOS (Spectral Modular Airborne Radiation measurement system) vorgeschlagen. Die Messungen finden auf den Azoren statt. Beide Messsysteme werden durch einen langsam fliegenden Hubschrauber getragen. Das kombinierte Messsysteme-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: Janein

Mittelgeber: DFG, WE 1900/33-1, Projekt number 275522730

STRATOCLIM - Stratospheric and upper tropospheric processes for better climate predictions

Schlagworte: flugzeuggetragene Forschung

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

Projektmitarbeiter: Tim Carlsen

Projektbeginn: 2013

Projektende: 2018

Beschreibung (Deutsch- Pflicht; <2000 Zeichen)

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: nein

Mittelgeber: EU

SFB/Transregio 172 „Arktische Verstärkung“

Zentrale Dienstleistungen, Verwaltung und Koordinierung (Z01)

Central services, administration and coordination (Z01)

Schlagworte: Arktis.

Projektleiter:

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

Prof. Dr. Susanne Crewell, Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie

Prof. Dr. Justus Notholt, Universität Bremen, Institut für Umweltphysik

Projektmitarbeiter: Dr. Marlen Brückner, Dr. Christa Engler

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019/2023

Beschreibung (Deutsch- Pflicht; <2000 Zeichen)

Innerhalb des TR 172 Antrages werden Mittel für die zentrale Koordinierung beantragt. Dieses Teilprojekt dient dazu, die Kooperationen und Kommunikation im Verbund unter den einzelnen wissenschaftlichen Projekten und Clustern zu fördern. Aus diesem Grund werden monatliche Videokonferenzen, halbjährliche Meetings, jährliche wissenschaftliche Konferenzen, als auch spezielle Workshops organisiert und durchgeführt. Die Mittel für Gleichstellungsmaßnahmen werden dazu verwendet um junge Wissenschaftler/innen in Zusammenarbeit mit lokalen Graduiertenschulen zu trainieren. Die internationale Präsenz des TR 172 wird etabliert. Eine Internetseite wird erstellt und implementiert. Die logistische Organisation und wissenschaftliche Planung von intensiven Messkampagnen innerhalb des TR 172 werden durch das Projekt Z01 unterstützt. Öffentlichkeitsarbeit zwischen den verschiedenen Partnern wird organisiert und koordiniert.

Description

Funds for the central coordination of TR 172 are requested within this proposal. The project serves the promotion of cooperation and communication among the individual scientific projects and clusters. Monthly video conferences, biannual general assemblies, annual scientific conferences, as well as topical workshops will be organized and conducted. The funds for measures to promote gender equality are managed the training of young researchers is coordinated, in collaboration with local graduate schools. The international visibility of TR 172 will be fostered. A web page will be set up and maintained. The logistic organization and scientific planning of the extensive observational campaigns within TR 172 will be supported by project Z01. Public outreach activities will be organized and coordinated between the different partners.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, TRR 172, Projekt number 268020496

SFB/Transregio 172 „Arktische Verstärkung“

Fesselballongetragene Messungen des Energiebudgets in der wolkenbedeckten Zentralarktis (A02)

Tethered balloon-borne energy budget measurements in the cloudy central Arctic (A02)

Schlagworte: Arktis, ballongetragene Messungen, Energiebilanz, Strahlungsabkühlung.

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

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

Projektmitarbeiter: Matthias Gottschalk, Michael Lonardi

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019/2023

Beschreibung

Während der Forschungsfahrt von FS Polarstern im Frühsommer (Mai bis Juni) 2017 werden Fesselballon-getragene Messungen von einer Eisschollenstation analysiert. Atmosphärische Vertikalprofile (bis zu einem Kilometer Höhe) der turbulenten Energieflüsse (sensible und latente Wärme), Strahlungsenergieflüsse und turbulente Impulserhaltung werden gemessen. Die Beobachtungen werden den Einfluss von makrophysikalischen (Wolkenbasishöhe, Temperatur, geometrische Dicke, Wolkenbedeckung) und mikrophysikalischen (effektiver Tropfenradius) Eigenschaften von arktischen tiefen Wolken auf (i) die Profile der Flüsse, (ii) den entsprechenden Strahlungsantrieb und (iii) die damit verbundenen netto Erwärmung/Abkühlung der bodennahen Lufttemperatur untersuchen.

Description

Tethered balloon-borne measurements from an ice-floe camp during the cruise of RV Polarstern in early summer (May to June) 2017 will be analysed. Atmospheric vertical profiles (up to one-kilometer altitude) of turbulent energy fluxes (sensible and latent heat), radiative energy fluxes, and turbulent fluxes of momentum will be measured. The observations will investigate the influence of macrophysical (cloud base height and temperature and geometric thickness, cloud cover) and microphysical (effective radius) properties of Arctic low-level clouds on (i) the profiles of fluxes, (ii) the respective radiative forcing, and (iii) the related net warming/cooling of the near-surface air temperature.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, TRR 172, Projekt number 268020496

SFB/Transregio 172 „Arktische Verstärkung“

Einfluss von tiefen Wolken auf die arktische atmosphärische Grenzschichtturbulenz und -Strahlung (A03)

Impact of low-level clouds on Arctic atmospheric boundary layer turbulence and radiation (A03)

Schlagworte: Arktis, flugzeuggetragene Messungen, Energiebilanz, Strahlungsabkühlung.

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

Dr. Christof Lüpkes, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Projektmitarbeiter: Johannes Stapf

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019/2023

Beschreibung (Deutsch- Pflicht; <2000 Zeichen)

Vertikalprofile von Strahlungsenergie- und Turbulenzenergieflüssen sowie Impulserhaltung werden untersucht durch (i) Verwendung vorheriger Schiffs- und Flugzeugkampagnen und (ii) durch die Analyse neuer Messungen von zwei geplanten Flugzeugkampagnen über dem Arktischen Ozean. Die beiden neuen Kampagnen beziehen die AWI Forschungsflugzeuge Polar 5 & 6 ein, um die vertikalen Flussprofile als Funktion von Wolken- und Meereisbedeckung unter verschiedenen synoptischen Bedingungen zu messen. Die Flugzeugbeobachtungen sind für Mai/Juni 2017 und März 2019 geplant und decken somit Zeiträume starker (Spätwinter) und schwacher (Frühsommer) arktischer Verstärkung ab.

Description

Tethered balloon-borne measurements from an ice-floe camp during the cruise of RV Polarstern in early summer (May to June) 2017 will be analysed. Atmospheric vertical profiles (up to one-kilometer altitude) of turbulent energy fluxes (sensible and latent heat), radiative energy fluxes, and turbulent fluxes of momentum will be measured. The observations will investigate the influence of macrophysical (cloud base height and temperature and geometric thickness, cloud cover) and microphysical (effective radius) properties of Arctic low-level clouds on (i) the profiles of fluxes, (ii) the respective radiative forcing, and (iii) the related net warming/cooling of the near-surface air temperature.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, TRR 172, Projekt number 268020496

SFB/Transregio 172 „Arktische Verstärkung“

Einfluss von Bodenheterogenität auf den Strahlungsantrieb und Ableitung von Aerosol- und Wolkeneigenschaften in der Arktis (C01)

Influence of surface heterogeneity on radiative forcing and retrieval of aerosol and cloud properties in the Arctic (C01)

Schlagworte: Arktis, flugzeuggetragene Messungen, Eis- und Schneeealbedo, BRDF

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

Dr. Georg Heygster, Universität Bremen, Institut für Umweltphysik (IUP)

Projektmitarbeiter: Dr. Evelyn Jäkel

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019/2023

Beschreibung

Für die Arktis ist ein diskontinuierlicher Albedo Unterschied zwischen hoch reflektierenden Schnee/Eisoberflächen und meist stark absorbierenden Meeresoberflächen typisch. In diesem Teilprojekt wird quantifiziert, inwiefern diese Heterogenität der Reflektionseigenschaften der Erdoberfläche (i) den Strahlungsantrieb von Wolken (Erwärmung/Abkühlung) und (ii) die Fernerkundungsprodukte von Wolken und Aerosolpartikeln beeinflussen. Aus diesem Grund werden flugzeuggetragene Messungen und Strahlungstransfermodellierungen vorgeschlagen.

Description

In the Arctic, a discontinuous albedo contrast between highly reflecting snow/ice and mostly absorbing sea surfaces is typical. In this project it will be quantified how these affect (i) the radiative forcing of clouds (warming/cooling), and (ii) the remote sensing products of clouds and aerosol particles. For this purpose, airborne measurements and Radiative Transfer modelling studies are proposed.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, TRR 172, Projekt number 268020496

SFB/Transregio 172 „Arktische Verstärkung“**Charakterisierung von arktischen Mischphasenwolken durch flugzeuggetragene in-situ Messungen und Fernerkundung (B03)**

Characterization of Arctic mixed-phase clouds by airborne in-situ measurements and remote sensing (B03)

Schlagnworte: Arktis, flugzeuggetragene Messungen, Mischphasenwolken.

Projektleiter: Dr. André Ehrlich (a.ehrlich@uni-leipzig.de)

Professor Dr. Susanne Crewell, Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie

Professor Dr. Andreas Macke, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. (TROPOS)

Projektmitarbeiter: Elena Ruiz

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019/2023

Beschreibung

Dieses Teilprojekt schlägt neuartige Beobachtungsstrategien für arktische Wolken vor durch Kombination von flugzeuggetragenen Fernerkundungsmethoden mit in-situ mikrophysikalischen Messungen von Wolken- und Aerosoleigenschaften. Unter der Verwendung von zwei nebeneinanderfliegenden Flugzeugen (Polar 5 & 6) wird es möglich sein die mikrophysikalischen Partikeleigenschaften innerhalb von Wolken gleichzeitig durch in-situ Sensoren zu messen. Ebenfalls werden die vertikale Säule und deren Strahlungseinfluss mittels Fernerkundungsmessungen oberhalb von Wolken gemessen. Beide Kampagnen werden im Sommer 2017 (ACLOUD, Svalbard) und Frühling 2019 (AFLUX, Svalbard und Grönland) durchgeführt, um typische arktische Grenzschichtwolken als Teil der hauptsächlich experimentellen Aktivitäten innerhalb des TR 172 zu untersuchen.

Description

The project proposes novel observation strategies for Arctic clouds by combining airborne remote sensing with in-situ microphysical measurements of cloud and aerosol properties. Using two identical collocated aircraft, Polar 5 and 6, it will be possible to simultaneously measure the microphysical particle characteristics within clouds by in-situ sensors and probe the vertical column and radiative impact from remote sensing measurements above clouds. Two campaigns will be performed in summer 2017 (ACLOUD, Svalbard) and spring 2019 (AFLUX, Svalbard and Greenland) to investigate typical Arctic boundary layer clouds as part of the major experimental activities of the TR 172.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG, TRR 172, Projekt number 268020496

SFB/Transregio 172 „Arktische Verstärkung“**Wechselwirkungen von Schnee auf Meereis mit atmosphärischen Bestandteilen inklusive Ruß (C02)**

Interactions of snow on sea ice with atmospheric constituents including black carbon (C02)

Schlagworte: Arktis, flugzeuggetragene Messungen, Black Carbon, Eis und Schneeralbedo

Projektleiter: Dr. André Ehrlich (a.ehrlich@uni-leipzig.de)

Dr. Rüdiger Gerdes, Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung

Projektmitarbeiter: Tobias Donth

Projektbeginn: 2016

Projektende: 2019

Beschreibung

Gleichzeitige Beobachtungen von atmosphärischem Ruß und Rußpartikeln in Schnee- und Bodeneigenschaften sind selten. Daher wird dieses Teilprojekt flugzeug- und bodengebundene Beobachtungen von Aerosolen und Rußkonzentrationen kombinieren, sowie optische Schneeeigenschaften und deren Rückkopplungsmechanismen in der arktischen Region untersuchen. In-situ Messungen von atmosphärischen Rußpartikeln (boden- und flugzeuggetragen) in Verbindung mit Rußpartikeln in Schneeproben und Fernerkundungsbeobachtungen von Schneeeigenschaften werden zusammengefügt.

Description

Concurrent observations of atmospheric Black Carbon (BC), and BC in snow and surface properties are rare. Hence, this project will combine airborne and ground-based observations of aerosols and BC concentrations and snow optical properties to investigate their feedback mechanisms in Arctic regions. In-situ measurements of atmospheric BC (ground-based and airborne) along with sampling of BC in snow and remote sensing observations of snow properties will be merged.

Weiterführung: janein

Mittelgeber: DFG, TRR 172, Projekt number 268020496

Entwicklung von tropischer hochreichender Konvektion abgeleitet aus bodengebundenen abbildenden Spektrometernmessungen

Evolution of tropical deep-convective clouds derived from ground-based imaging spectroradiometer measurements

Schlagworte: Konvektive Wolken, atmosphärische Strahlung, bodengebundene Fernerkundung

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

Projektmitarbeiter: Kátia Mendes de Barro (katia.mendes_de_barros@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2017

Projektende: 2020

Beschreibung

Im Rahmen des Projekts soll aus bodengebundenen Wolkenseitenmessungen der reflektierten Strahlung mittels eines abbildenden Spektrometersystems von tropischer hochreichender Konvektion auf das Vertikalprofil der mikrophysikalischen Eigenschaften der Wolke geschlossen werden. Damit soll die vertikale Entwicklung von hochreichender Konvektion, die eine wesentliche klimarelevante Rolle spielt, unter Berücksichtigung des Einflusses von Aerosolpartikeln und von thermodynamischen Bedingungen auf das Tropfenwachstum charakterisiert werden. Die geplanten Messungen sollen auf einem 320 m hohen Messturm (ATTO: Amazonian Tall Tower Observatory), der kürzlich im brasilianischen Regenwald errichtet wurde, stattfinden. ATTO ist mit Messgeräten ausgestattet, die meteorologische, chemische und Aerosolparameter liefern. Die Messregion bietet ideale Beobachtungsbedingungen mit klar definierten Jahreszeiten (Regen- und Trockenzeit), täglicher Konvektion und variablen Aerosolbedingungen. Aus den Messungen eines neuen abbildenden Spektrometersystems, SPIRAS (Spectral Imaging Radiation System) sollen Vertikalprofile der thermodynamischen Phase und der Partikelgröße mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung und mit Hilfe von adaptierten Verfahren unter Verwendung von dreidimensionalen Strahlungstransportsimulationen abgeleitet werden. Damit sollen vertikale Bereiche, die das Tropfenwachstum beschreiben (Diffusion, Koaleszenz, Mischphasenbereich und Vereisung), identifiziert werden. Zusätzliche Messungen einer Infrarotkamera und eines scannenden Depolarisations-Lidars werden für die Höhen- und Temperaturbestimmung der beobachteten Wolkenelemente herangezogen. Zusätzlich werden die Polarisationsmessungen des Lidars zur Bestimmung der thermodynamischen Phase verwendet, um den wichtigen Phasenübergang zu identifizieren. Mit Hilfe der gewonnenen Daten werden außerdem Annahmen (Effektivradius als konservative Wolkeneigenschaft) wie sie von Ableitungsverfahren zur Bestimmung von mikrophysikalischen Wolkenprofilen aus Satellitenmessungen gemacht werden, überprüft.

Description

Specifically the project will derive the vertical profile of microphysical properties of tropical deep-convective clouds (DCC) from ground-based measurements of reflected radiation from cloud sides by an imaging spectroradiometer system. This general objective is to characterize the vertical evolution of DCCs, which play an important role in the Earth's climate system. The evolution will be studied with respect to the impact of aerosol and thermodynamic conditions on the cloud particle growth. The planned measurements will be performed on the new Amazonian Tall Tower Observatory (ATTO), of 320 m height situated in the Amazon Basin near the equator. ATTO is equipped with instruments to measure micrometeorological and atmospheric chemical variables, as well as aerosol properties. It provides ideal observation conditions with clear seasons (wet and

dry season), and daily occurrence of DCCs in a highly variable environment with respect to concentrations and types of aerosol particles. The new imaging spectroradiometer system, SPIRAS (SPectral Imaging Radiation System), will be used to derive vertical profiles of thermodynamic phase and cloud effective radius with high temporal and spatial resolution by means of adapted methods based on three-dimensional radiative transfer simulations. In this way vertical zones characterizing the droplet growth (diffusion, coalescence, mixed-phase, and glaciation) will be identified. Auxiliary measurements by an infrared camera and a scanning depolarization Lidar will be used to estimate the height and the temperature of the observed cloud element. Additionally, polarization measurements by Lidar will support the retrieval of the thermodynamic phase which is important to identify the phase transition. By means of the data obtained we will validate assumptions (effective particle radius as conservative cloud property) of retrieval methods for satellite-based observations to derive microphysical profiles.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG WE 1900/34-1, Projekt number 310366544
.....

Fernerkundung und Strahlungsantrieb von Inhomogenen Passatwind-Cumuli

Remote Sensing and Radiative Forcing of Inhomogeneous Trade-Wind Cumuli

Schlagworte: Passatwind-Cumuli, atmosphärische Strahlung, flugzeuggetragene Fernerkundung

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

Projektmitarbeiter: [Samkeyat Shohan \(sm_samkeyat.shohan@uni-leipzig.de\)](mailto:sm_samkeyat.shohan@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 2019

Projektende: 2022

Beschreibung

Das Hauptziel des Projektes besteht in der Quantifizierung des großskaligen Strahlungsantriebes von flachen Passatwind Cumulus-Wolken als Funktion der makro- und mikrophysikalischen Wolkeneigenschaften, der räumlichen Anordnung der Wolken, und der mesoskaligen Vertikalbewegung. Wir kombinieren makro-, mikrophysikalische und Strahlungseigenschaften von Passatwindwolken, welche von flugzeuggetragenen Fernerkundungsbeobachtungen und in-situ Strahlungsmessungen abgeleitet werden. Diese Messungen werden an Bord von HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) während der Messkampagne EUREC4A (EUcidating the Role of Cloud-Circulation Coupling in ClimAte) östlich von Barbados im Februar 2020 gewonnen. Um die relevanten Wolken- und Strahlungsdaten ableiten zu können, werden wir die Instrumentierung von HALO erweitern durch (i) eine multispektrale thermisch-infrarote Kamera, und (ii) auf- und abwärts gerichtete, halbräumliche Breitband-Pyranometer und Pyrgeometer. Die breitbandigen Radiometer werden solare und terrestrische Strahlungsflussdichtemessungen liefern, um den atmosphärischen Strahlungshaushalt in Flughöhe zu quantifizieren. Die thermisch-infrarote Kamera wird die Helligkeitstemperatur in verschiedenen Spektralbändern mit hoher räumlicher (5 Meter) und zeitlicher (20 Hz) Auflösung bestimmen. Diese Geräte wurden noch nicht

auf HALO eingesetzt. Deshalb besteht ein wichtiger Teil des vorgeschlagenen Arbeitsplanes in intensiven Tests und Kalibrierungen der neuen Geräte und der Entwicklung von Software zur Handhabung und Auswertung der Daten. Die thermisch-infrarote Kamera wird verwendet, um Wolkenprodukte abzuleiten. Dies umfasst Felder der Temperatur am Wolkenoberrand, Flüssigwasserspfad und Effektivradien. Die Felder werden statistisch analysiert, um den Bedeckungsgrad, den Grad der Organisation, und die Wolkengrößenverteilung zu erhalten. Die Daten werden mit atmosphärischen Parametern (Temperatur-/Feuchteprofile, Hintergrundaerosol, großskalige Divergenz) korreliert. Die Beobachtungen mit den Breitband-Radiometern werden in Kombination mit den Feldern der Wolkeneigenschaften, die von den Messungen mit der thermisch-infraroten Kamera abgeleitet werden, analysiert. Die Quantifizierung des Wolken-Strahlungsantriebes für unterschiedliche Wolkenbedeckungen sowie Wolkenoberkantentemperaturen wird zeigen, wie empfindlich der Wolken-Strahlungsantrieb im Hinblick auf makroskopische Eigenschaften und die Anordnung der Passatwolken ist. Eine Parametrisierung dieser Empfindlichkeiten hilft bei der Beschreibung von Passatwind-Wolken in numerischen Wettervorhersage- und globalen Klimamodellen.

Description

The core objective of the project is to quantify the large-scale radiative forcing of shallow trade-wind cumuli as a function of the cloud macrophysical and microphysical properties, the cloud spatial organization, and the mesoscale vertical motion. We will combine macrophysical, microphysical, and radiative properties of trade-wind cumuli obtained from airborne remote sensing cloud observations and in situ irradiance measurements aboard the High Altitude and Long Range Research Aircraft (HALO) during the EUciding the Role of Cloud-Circulation Coupling in ClimAte (EUREC4A) campaign east of Barbados in February 2020. To retrieve the relevant cloud and radiation data, we will extend the instrumentation of HALO by (i) a multi-wavelength thermal infrared (IR) imager, and (ii) pairs of upward and downward looking, hemispheric broadband pyranometers and pyrgeometers. These broadband radiometers will provide solar and terrestrial irradiance measurements to quantify the atmospheric radiation budget at flight level. The thermal IR imager will map the cloud top brightness temperatures at different thermal IR spectral bands with high spatial (5 m) and temporal (20 Hz) resolution. The instruments were not operated on HALO yet. Therefore, a crucial part of the proposed work plan is related to extensive tests and calibrations of the new instruments and developing tools for handling and post processing the data. The thermal IR imager will be used to develop an IR-based cloud product, providing maps of cloud top temperature, cloud liquid water path and cloud effective droplet size. The maps will be analysed statistically to obtain the cloud fraction, degree of clustering, and cloud size distributions. The data will be correlated with atmospheric parameters (temperature/humidity profiles, background aerosol, large-scale divergences). The observations of the broadband radiometers will be analysed in combination with the maps of cloud properties derived from the thermal IR imager. Quantifying the cloud radiative forcing for scenes of trade-wind cumuli with different cloud fraction, degree of clustering, and cloud top temperatures will indicate how sensitive the cloud radiative forcing is with respect to the macroscopic properties and organization of trade-wind cumuli. Parameterizing this sensitivity provides a tool to evaluate the representation of trade-wind cumuli in numerical weather prediction models and global climate models.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG Projekt Nummer 422897361

.....

Theoretische Meteorologie; Johannes Quaas
AG Wolken und globales Klima

Learning about cloud brightening under risk and uncertainty: Investigation of feasibility, traceability, Incentives and de-centralised governance of limited-area climate engineering (LEAC-II)

Schlagworte: Klima-Engineering, Klimawandel, Wolken impfen

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter: Dr. Dipu Sudhakar (dipu.sudhakar@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.6.2016

Projektende: 31.5.2019

Beschreibung

Im Rahmen des Schwerpunktprojekts „Climate engineering – risks, challenges, opportunities?“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft untersucht das Projekt „LEAC-II“ in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Umweltökonomie an der Universität Kiel, inwiefern eine Beeinflussung des Klimas auf regionaler Skala machbar wäre. Dabei wird untersucht, ob etwa durch technische Änderung von Wolkeneigenschaften lokal Hitzewellen abgemildert werden könnten und inwiefern die Änderung des Klimas in einer Region Auswirkungen auf benachbarte Regionen hat.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) SPP 1689 QU 311/10-2

Forcing im langwelligen Spektrum aufgrund von Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen: Satellit und Klimamodellierung vs. HALO (FLASH)

Forcing in the long-wave spectrum due to aerosol-cloud interactions: satellite and climate modelling vs. HALO (FLASH)

Schlagworte: Eiswolken, Eiswolken-Aerosol-Wechselwirkungen, Strahlungsantrieb, HALO

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter:

Dr. Johannes Mülmenstädt (johannes.muellenstaedt@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.8.2016

Projektende: 31.7.2019

Beschreibung

In der Arbeitsgruppe wurden neue Satellitendaten für die Eiskristallkonzentration entwickelt. Diese sollen im Projekt FLASH mit Hilfe von HALO-In-situ-Beobachtungen evaluiert werden. Dabei soll unter anderem zusammen mit dem DLR-Institut für Physik der Atmosphäre das Satellitenprodukt für kombinierte Radar-Lidar-Retrieval mit Daten der luftgetragenen Instrumente verglichen werden; daneben sollen die Satellitenprodukte mit in-situ-Beobachtungen evaluiert werden.

Weiterführung: nein

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) SPP 1294, QU 311/14-1

Copernicus Atmospheric Monitoring Service 74 - Radiative Forcings

Schlagnote: Aerosol-Strahlungsantrieb, Reanalyse, Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen

Projektleiter:

Koordinator: Nicolas Bellouin, Universität Reading (n.bellouin@reading.ac.uk)

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

Projektmitarbeiter: Ph D Johannes Mülmenstädt (johannes.muellenstaedt@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.1.2016

Projektende: 31.12.2019

Beschreibung

Ziel dieses Services des COPERNICUS Atmospheric Monitoring Service ist die Bereitstellung einer Diagnostik für den anthropogenen Strahlungsantrieb durch verschiedene Mechanismen auf Basis der Reanalyse der Atmosphärenzusammensetzung. Beitrag der Uni Leipzig ist hierbei der Strahlungsantrieb durch Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Europäische Union, COPERNICUS-Programm, COPERNICUS Atmospheric Monitoring Service (Subcontractor der Uni Reading)

Modellierung von Aerosolen und Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen in der Arctis (D02)

Modelling aerosols and aerosol-cloud interactions in the Arctic (D02)

Schlagnote: Arktischer Klimawandel, Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen, Modellierung

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

Projektmitarbeiter:

Jan Kretzschmar (jan.kretzschmar@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.1.2016

Projektende: 31.12.2023

Beschreibung

In diesem Beitrag zum SFB/Transregio (AC)³ soll mit Hilfe von globaler Modellierung in Kombination mit verschiedenen Beobachtungen der Einfluss anthropogener Aerosole auf den arktischen Klimawandel untersucht werden. In Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung liegt hierbei der Schwerpunkt auf dem Meridionaltransport der Aerosole (TROPOS) und der Wechselwirkung von Aerosol mit Wolken (LIM).

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) TRR 172 (AC)³

Arktische Rückkopplungsprozesse in Klimamodellen (E01)

Assessment of Arctic feedback processes in climate models (E01)

Schlagworte: Arktischer Klimawandel, Feedbacks, Modellierung

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

Projektmitarbeiterin:

Karoline Block (karoline.block@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.1.2016

Projektende: 31.12.2023

Beschreibung

In diesem Beitrag zum SFB/Transregio (AC)³ sollen mit Hilfe von globaler Modellierung in Kombination mit verschiedenen Beobachtungen die verschiedenen Klima-Feedback-Mechanismen quantifiziert und in den Klimamodellen evaluiert werden. Spezielles Augenmerk ist hierbei in Kooperation mit der Uni Köln auf dem Wolken-Feedback.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) TRR 172 (AC)³

Aerosol-Wolke-Niederschlag-Wechselwirkungen über Gebieten von Emissionsquellen

Aerosol-cloud-rainfall interactions over emission source regions

Schlagworte: Aerosol-Wolken-Niederschlagswechselwirkungen, Solar dimming

Projektleiter:

Koordinator: Dr. Ribu Cherian, Universität Leipzig (ribu.cherian@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter: Dr. Ribu Cherian (ribu.cherian@uni-leipzig.de)**Projektbeginn:** 15.3.2017**Projektende:** 14.3.2020**Beschreibung (Deutsch)**

Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen stellen einen der wesentlichen Unsicherheitsfaktoren bei Verständnis und Quantifizierung der geographischen Verteilung von Wolken- und Niederschlagseigenschaften, aber auch des Strahlungsantriebs des globalen Klimawandels dar. Die grundlegende Idee des Projekts ist es, regional unterschiedliche Trends in anthropogenen Emissionen von Aerosolen zu nutzen, um deren Einfluss auf Trends in Wolken-, Niederschlags- und Strahlungsgrößen zu bestimmen. Hierzu sollen verschiedene Szenarien in Multi-Klimamodell-Ensembles ("historische" Simulationen mit allen Strahlungsantrieben und "Aerosol"-Simulationen mit allen Antrieben außer anthropogenem Aerosol) analysiert werden und mit Beobachtungsdaten verglichen werden. Konkret werden vier Fragen untersucht:

- (i) Welche Beziehung besteht zwischen regionalen Trends in Aerosolemissionen und Wolken-Strahlungs-Effekten? - Diese Studien analysieren Simulationen aus dem Multi-Modell-Ensemble.
- (ii) Wie erfolgreich reproduzieren die Modelle beobachtete Trends? Hier werden die Klimamodelle mit Beobachtungsdaten verglichen.
- (iii) Welchen Einfluss haben Emissionstrends für Aerosole und resultierende Strahlungsantriebe auf die atmosphärische Zirkulation? Simulationen mit dem Aerosol-Klima-Modell ECHAM6-HAM2 sollen für drei Zeitscheiben durchgeführt und analysiert werden.
- (iv) Welche Rolle spielen Emissionstrends für Änderungen in Extremniederschlägen in Südost-Asien? - Mit speziellen Simulationen sollen die verschiedenen Hypothesen getestet werden.

Beschreibung (Englisch)

The basic idea of the project is to use regionally different trends in anthropogenic emissions of aerosols to determine their impact on trends in cloud, precipitation and radiation levels.

Weiterführung: ja**Mittelgeber:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (Eigene Stelle), CH 1881/1-1

High Definition Clouds and Precipitation for Climate Prediction (HD(CP)²) - Phase II**Projektleiter:** Prof. Dr. Johannes Quaas**Projektbeginn:** 1.4.2016**Projektende:** 31.12.2019**Beschreibung**

Teilprojekte S1 (Cloud adjustments to aerosol), Projektleitung S2 (Beitrag) und S3 (Beitrag)

Weiterführung: nein

Mittelgeber: BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, 01LK1505E, 01LK1503A, 01LK1504C

Atmosphären-Modelldaten: Datenqualität, Kurationskriterien und DOI-Branding

Atmospheric model data: data quality, curation criteria, and doi-branding

Projektleiter: Prof. Dr. Johannes Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

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

Projektbeginn: 1.6.2019

Projektende: 31.05.2022

Beschreibung

Der Austausch und die Interpretation von Klimamodelldaten sind weit über die Klimaforschungsgemeinschaft hinaus von Bedeutung, werden jedoch aktuell durch das Fehlen übergreifender qualitätssichernder Maßnahmen und abgestimmter Kurationskriterien erschwert. In der Meteorologie und Klimaforschung bereits etablierte Datenqualitäts- und Datenkurationsstandards zur Gewährleistung effektiver Teil- und Nachnutzbarkeit der Forschungsdaten finden primär in großen, international koordinierten Modellvergleichsstudien (MIPs, z.B. Coupled Model Intercomparison Project - CMIP) ihre Anwendung. In diesem Vorhaben werden diese auf CMIP fußenden Standards und Konventionen im Austausch mit den Fachcommunities systematisch in weiteren Bereichen der Meteorologie und Klimaforschung angepasst: Zum einen an die Bedürfnisse kleinerer MIPs, für die eine volle CMIP-Adaptierung nicht sinnvoll erscheint und zu aufwändig ist. Zum anderen in der Stadtklimaforschung mit ihren sehr hochauflösenden Daten, einem Forschungsbereich ohne etablierten Datenstandard. Die Ergebnisse werden in der Praxis auf existierende Atmosphärenmodelldaten angewendet (Datenaufbereitung sowie Langzeitarchivierung) und auf ihre universelle Nutzbarkeit hin evaluiert. Die Ergebnisse etablieren zudem auf weitere Bereiche der Klimaforschung anwendbare Blaupausen für Kurationskriterien und Standardisierungen, die eine Reproduzierbarkeit und Prüfbarkeit signifikant erhöhen und darüber hinaus eine interdisziplinäre Nachnutzung von Klimamodelldaten unterstützen. Darüber hinaus wird, um Nachnutzern die Auswahl von Forschungsdaten zu erleichtern, zum einen eine fachspezifische Erweiterung des DataCite Metadatenschemas vorgenommen. Eine zwingend mit einem DOI-Branding verbundene, für Nutzer deutlich sichtbare, anspruchsvollere Qualitätsprüfung für disziplinspezifische Daten und Kurationsprozesse stärkt die Wertigkeit der DataCite DOIs und erhöht das Vertrauen bei der Nachnutzung. Zum anderen wird im Sinne der FAIR-Prinzipien ein maschinenlesbares Fachvokabular auf Basis von DCAT (W3C Data Catalog Vocabulary) bereitgestellt. Eine nachhaltige Anwendung des universellen Datenstandards, der Prozesse zur Kuratierung und Qualitätssicherung sowie auch die Vergabe fachspezifischer DataCite DOI's werden durch die Angebote der beiden beteiligten Infrastrukturdienstleister dauerhaft gesichert und die Etablierung über den Bereich der Meteorologie und Klimaforschung hinaus ermöglicht. Die Verbindung von national und international stark vernetzten Partnern aus

der Klimaforschung (Universität Hamburg, Universität Leipzig) mit einem Infrastrukturbetreiber aus der Klimaforschung (DKRZ) sowie der Zentralen Fachbibliothek für Technik und Naturwissenschaften (TIB) im AtMoDat-Konsortium bürgt für eine hochwertige, alle Aspekte dieses Vorhabens abdeckende Kompetenz und eine weitreichende, nachhaltige Aufnahme der Ergebnisse in diesem Forschungsgebiet. AtMoDat ist darüber hinaus fachübergreifend Impulsgeber für Verbesserungen im Forschungsdatenmanagement.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, 16QK02B

Besser bestimmtes Aerosolforcing für verbesserte Klimaprojektionen (FORCES)

Constrained aerosol forcing for improved climate projections (FORCES)

Projektleiter: Prof. Dr. Johannes Quaas(johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter: Dr. Dipu Sudhakar (dipu.sudhakar@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.10.2019

Projektende: 30.09.2023

Beschreibung (Deutsch)

FORCES strebt eine bessere Quantifikation des Klimaantriebs durch Aerosole an, mit dem Ziel, Klimavorhersagen zu verbessern.

Beschreibung (Englisch)

FORCES aims at constraining the aerosol-climate forcing in order to improve climate projections.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Europäische Union

Besser bestimmte Unsicherheit für multi-dekadische Klimavorhersagen (CONSTRAIN)

Constraining uncertainty of multi decadal climate projections (CONSTRAIN)

Projektleiter: Prof. Dr. Johannes Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiterin: Dr. Karoline Block (karoline.block@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.6.2019

Projektende: 30.05.2023

Beschreibung (Deutsch)

Verschiedene unsichere Aspekte in multi-dekadischen Klimavorhersagen werden in CONSTRAIN besser bestimmt, darunter effektiver Strahlungsantrieb und transiente Klimasensitivität.

Beschreibung (Englisch)

Several uncertain aspects for multi-decadal climate projections will be constrained in CONSTRAIN, among which the effective radiative forcing and transient climate sensitivity.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Europäische Union

FOR 2820 Teilprojekt: Einfluss von Vulkanen auf Wolken (VolCloud)

FOR 2820 Teilprojekt: Cloud response to Volcanic eruptions (VolCloud)

Projektleiter: Prof. Dr. Johannes Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiterin: Mahnoosh Haghighatnasab (mahnoosh.haghighatnasab@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.3.2019

Projektende: 28.02.2022

Beschreibung (Deutsch)

Wolken spielen eine Schlüsselrolle für die Energiebilanz der Erde. Sie reagieren auf Änderungen in Aerosolen auf verschiedene Weise, und diese Reaktionen sind jeweils einerseits mit großen Unsicherheiten behaftet und andererseits potentiell sehr relevant in ihrer Auswirkung auf Energiebilanz und Klima. (i) Flüssigwasserwolken werden von Aerosol, das als Wolkenkondensationskeim (CCN) dient, verändert. Die Tröpfchenkonzentration wird vergrößert, und dies hat Veränderungen von mikrophysikalischen Wolken- und Niederschlagsprozessen einerseits, und Wolkendynamik (etwa das Einmischen von trockener Umgebungsluft) andererseits zur Folge. Hierbei ist es vor allem wichtig, die Änderung von Bedeckungsgrad und Flüssigwasserweg der Wolken zu quantifizieren. (ii) Eis- und Mischphasenwolken werden, je nach Eisbildungsmechanismus, durch CCN, aber auch Eiskeime verändert. Veränderungen der komplexen Wolken- und Niederschlagsprozesse sind die Folge. (iii) Die Störung der Energiebilanz bedeutet Änderungen in thermodynamischen Profilen und Zirkulation durch schnelle Anpassungen, auf die Wolken wiederum reagieren. Es ist die Summe aus den ursprünglichen Wolkenänderungen und diesen Anpassungen, aus denen sich die effektive Änderung der Strahlungsbilanz zusammensetzt. (iv) Wird hochreichende Konvektion beeinflusst, können Gewitter sich intensivieren, und der Transport zwischen Troposphäre und Stratosphäre kann verändert werden. Dies hat möglicherweise bedeutende Auswirkungen auf die Zirkulation und das Klima. Diese Fragestellungen sind besonders im Kontext von Vulkanausbrüchen relevant: (a) ein Vulkanausbruch bedeutet eine vergleichsweise gut definierte und gegebenenfalls bedeutende Störung des atmosphärischen Aerosols, aus exogener Quelle. Die Beobachtung der Wolkenreaktion auf einen Vulkanausbruch ist daher eine einzigartige Gelegenheit, um Aerosol-Wolken-Niederschlags- Wechselwirkungen zu untersuchen. (b) Die Reaktion der Wolken beeinflusst die Auswirkung des Vulkanausbruchs auf die Strahlung. Es ist daher essentiell, die Wolkenreaktion angemessen zu quantifizieren, um die Klimawirkung zu beurteilen. VolCloud geht diese Fragen und Herausforderungen an, indem drei verschiedene Typen von Vulkanausbrüchen in der Vergangenheit untersucht werden (eine massive Änderung des troposphärischen Sulfats durch den Hohenstein; eine Eruption, die auch Eiskeime emittiert hat, von Eyjafjallajökull; sowie die größte von Satelliten beobachtete Eruption, Mt. Pinatubo). Hierbei werden Modellsimulationen mit detaillierter Darstellung von Wolken und Aerosol mit Wolkensystem-auflösender Diskretisierung

(ICON-NWP-ART, 2 km Auflösung) in Kombination mit Satellitbeobachtung aus passiver und – soweit verfügbar – aktiver Fernerkundung. VolCloud arbeitet eng mit den anderen VollImpact-Projekten zusammen, wobei insbesondere die Möglichkeiten der höheraufgelösten, aber beschränkteren Simulationen einerseits und der gröber aufgelösten, aber globalen Simulationen andererseits ausgewertet werden.

Beschreibung (Englisch)

Clouds are a key modulator of the Earth energy budget. They respond to perturbations in aerosol in various ways, and all these pathways are uncertain yet of potentially very large importance when assessing the impact of the aerosol perturbation on the Earth energy budget and on climate. (i) Liquid-water clouds respond to the perturbation in aerosols serving as cloud condensation nuclei (CCN). Cloud droplet number concentration is perturbed, and this entails perturbations to cloud- and precipitation microphysical processes, but also to cloud dynamics responses (e.g. altered entrainment rates of dry air into the clouds). The most relevant question is how cloud fraction and cloud liquid water paths respond to this perturbation. (ii) Ice- and mixed- phase clouds respond to both CCN and ice nucleating particle concentration changes, depending on the ice formation mechanism. Modifications of intricate cloud and precipitation processes follow. (iii) The change in the energy budget leads to alterations in thermodynamic profiles and in atmospheric circulation via rapid adjustments, and clouds respond to these as well. It is the sum of the initial cloud perturbation and these adjustments that composes the effective perturbation of the Earth energy budget. (iv) When deep convective clouds are altered, thunderstorms may become more intense, and transport from the troposphere into the stratosphere may be altered, with strong consequences for circulation and climate. These questions are particularly relevant when considered in the context of volcanic eruptions for two reasons: (a) the volcanic eruption is a relatively well-defined and occasionally strong perturbation to the atmospheric aerosol concentration that is exogenous to the atmosphere system. The observation of the cloud response to volcanic eruption thus is a unique opportunity to study the aerosol- cloud-precipitation interactions. (b) the cloud response may strongly modulate, and likely enhance, the radiative impact of a volcanic eruption. It is thus crucial to adequately quantify the cloud response, in order to assess the climate response. VolCloud will address these questions and challenges by investigating three different types of past volcanic eruptions (a massive sulfur perturbation to the troposphere, Holohraun; an eruptive perturbation that also emitted INP, Eyjafjallajökull; and the largest eruption in the satellite era, Mt. Pinatubo) using model simulations with a detailed cloud and aerosol representation, resolving cloud systems (ICON-NWP-ART at 2 km resolution), in combination with satellite observations from passive and – where available – active remote sensing. VolCloud intensely collaborates with the other projects within VollImpact, reaching out to what can be learned from simulations at finer but in extent more limited, and coarser but global scale.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft ,QU 311/23-1

Klimamodell-PArmetrisierungen – Revision mit Hilfe von RAdar (PARA)

Climate model PArmeterizations informed by RAdar (PARA)

Projektleiter: Prof. Dr. Johannes Quaas (johannes.quaas@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiterin: Sabine Hörnig (sabine.hoernig@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.1.2019

Projektende: 31.12.2021

Beschreibung (Deutsch)

Die adäquate Darstellung diabatischer Wolken- und Niederschlagsprozesse ist eine besondere Herausforderung für Klimamodelle, da diese räumlich nicht aufgelösten Prozesse mittels subskaliger Parameterisierungen repräsentiert werden. Diese müssten mit Hilfe von Beobachtungen und/oder prozessauflösenden Simulationen erstellt und evaluiert werden. Radar polarimetrie liefert die am Besten geeigneten Beobachtungen für die Wolken- und Niederschlagsmikrophysik dank der Ableitung mikrophysikalischer Zustandsgrößen und der Prozesserkennung. In der ersten Phase von PROM wird das Projekt PARA die räumliche Heterogenität des Eiswassergehalts sowie die Niederschlagsbildung über die Eisphase betrachten; in der zweiten Phase wird die Betrachtung von Mischphasenprozessen wie Bereifung, und die Rolle der Variabilität der Partikelanzahlkonzentration hinzukommen. PARA betrachtet dabei mit Hilfe von polarimetrischen Radarbeobachtungen und der Evaluierung und Revision der Parametrisierungen im ICON-Klimamodell die vier Prozesse, die für die Bestimmung von aus der Eisphase gebildeten Niederschlag am Boden relevant sind: (i) die Eisbildung und die räumliche Heterogenität des Eiswassergehalts auf bezüglich des ICON-GCM subskaligen Dimensionen, (ii) die Rolle dieser Variabilität für die Schneebildung durch den Aggregationsprozess, (iii) das Schmelzen von Schnee bei Temperaturen über 0°C, und (iv) die Verdunstung von Regen unterhalb der Schmelzschicht.

Beschreibung (Englisch)

An adequate representation of moist diabatic processes in clouds and precipitation in climate models is challenging, because these spatially unresolved processes are subject to sub-grid parameterizations, which must be informed by observations and/or models resolving these processes. Radar polarimetry provides most suitable observations on cloud and precipitation microphysics via microphysical retrievals and process fingerprints. PARA will focus in Phase I of PROM on ice water content heterogeneity and precipitation generation via the ice phase and concentrate on mixed-phase processes including riming and the role of particle number concentration variability in Phase II. PARA will investigate four processes both by polarimetric radar retrievals and the evaluation and revision of their representation in the ICON general circulation model: (i) ice generation and spatial heterogeneity of ice water content at ICON-GCM sub-grid scales, (ii) the role of both in snow formation like aggregation, (iii) melting of snow falling through the 0°C isotherm, and (iv) evaporation of rain below the melting layer.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft, QU 311/21-1

Hochatmosphäre, Christoph Jacobi

Upper Atmosphere

Large-scale dynamical impacts on regional Arctic climate change
Der Einfluss großräumiger Dynamik auf regionale arktische Klimaänderungen

Schlagworte: Arktische Verstärkung, Klimavariabilität

Projektleiter:

Prof. Dr. Christoph Jacobi (jacobi @ rz.uni-leipzig.de), Prof. Dr. Johannes Quaas ([johannes.quaas @ uni-leipzig.de](mailto:johannes.quaas@uni-leipzig.de))

Projektmitarbeiter: Daniel Mewes

Projektbeginn: 1.1.2016

Projektende: 31.12.2023

Beschreibung

Das Projekt umfasst die Wechselwirkung zwischen der variablen großskaligen Zirkulation und regionalen arktischen Klimaänderungen und der Diagnose der arktischen Verstärkung auf regionaler Skala als Reaktion auf Variationen großskaliger Zirkulation in der Vergangenheit sowie in Klimaszenarien zukünftigen Klimawandels. Es werden hierzu Reanalysedaten und CMIP5-Modellergebnisse herangezogen. Die Kopplung von Troposphäre und Stratosphäre als wichtiger Bestandteil der Variabilität der polaren Atmosphäre wird auch mit numerischen Simulationen untersucht.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB-Transregio 172

.....
Effeke lokalen Schwerewellenantriebs auf die mittlere Atmosphäre
Middle atmosphere effects of localized gravity wave forcing (MATELO)

Schlagworte: Schwerewellen, mittlere Atmosphäre, residuelle Zirkulation, Globale Navigationssatellitensysteme, planetare Wellen

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter:

N. Samtleben

Projektbeginn: 1.1.2017

Projektende: 31.3.2020

Beschreibung

Das Projekt beinhaltet eine Studie der Auswirkungen einer begrenzten Region erhöhter atmosphärischer interner Schwerewellenaktivität und Schwerewellenrechens auf die mittlere Atmosphäre. Die Charakteristik solch einer Region, ihre räumlich und zeitliche Variabilität und Verbindung zu anderen Klimaparametern wird anhand von GPS Radiookkultationsanalysen

untersucht. Es werden Algorithmen zur dreidimensionalen Analyse der Wellenreibung und der Brewer-Dobson-Zirkulation (BDC) verwendet; als Datengrundlage dienen Simulationen mit einem mechanistischen Zirkulationsmodell der mittleren Atmosphäre und Reanalysedaten. Die dreidimensionale Variabilität der BDC und die Rolle lokalisierter erhöhte Schwerewellenaktivität wird so untersucht. Weiterhin wird die Anregung und folgende Ausbreitung planetarer Wellen durch eine Region erhöhter Schwerewellenaktivität untersucht. Die Auswirkungen auf die Polarregionen (mittlere Zirkulation, Präkonditionierung, winterliche Stratosphärenwärmungen) und auf die äquatoriale Stratosphäre (Einfluss auf Tropopausenbrüche und Stratosphäre-Troposphäre-Austausch) werden untersucht. Weiterhin wird der Einfluss lokalisierter Schwerewellenbrechens auf die mittlere Zirkulation der Mesosphäre analysiert, insbesondere im Hinblick auf stationäre Wellen, und ihre Variabilität. Das Projekt ist eine Kooperation zwischen dem LIM und dem Department Atmosphärenphysik, Karls-Universität Prag.

Weiterführung: ja

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

.....

6-stündige Gezeiten in den mittleren Atmosphäre (QuarTA)
Quarterdiurnal tide in the middle atmosphere (QuarTA)

Schlagworte: mittlere Atmosphäre; Gezeiten; Ionosphäre

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter:

C. Geißler

Projektbeginn: 1.2.2017

Projektende: 31.3.2020

Beschreibung

Die Dynamik der Mesosphäre und unteren Thermosphäre wird zu großen Teilen von solaren Gezeiten dominiert. Eine davon ist die 6-stündige Gezeit (quarterdiurnal tide, QDT), die unter anderem in sporadischen E-Schichten und mit Hilfe von Radar- und Satellitenmessungen beobachtet wurde. Während allerdings die ganztägigen, halbtägigen, und auch 8-stündigen Gezeiten vergleichsweise gut dokumentiert und untersucht sind, sind Beobachtungen und Analysen der - weniger starken aber nichtsdestoweniger als ein Bestandteil der dynamischen Prozesse in ihrer Gesamtheit zu sehenden - 6-stündigen Komponente bislang selten. Um diese Lücke zu schließen, werden innerhalb des QuarTA-Projekts die 6-stündigen Gezeiten und ihre Antriebsmechanismen im Detail untersucht. Die Klimatologie der Gezeiten wird mit Hilfe von Meteorradarwindmessungen, vor allem der Langzeitreihe in Collm, ergänzt durch weitere Radarmessungen, erstellt. Die globale Verteilung der Gezeitenamplituden wird mit Hilfe von Ionosonden- und GPS-Radiokkultationsmessungen sporadischer E-Schichten untersucht, und die Beobachtungen in Verbindung mit Windscherungen aus Radarmessungen und numerischen Simulationen interpretiert. Um Einblick in die hauptsächlichen Anregungsmechanismen der 6-stündigen Gezeiten zu erhalten, wird ein nichtlineares mechanistisches Zirkulationsmodell, welches auch die Anregung durch Absorption solarer Strahlung enthält, verwendet. Hierbei wird, einzeln

und in Kombination, die Anregung der 6-stündigen Gezeit durch Absorption solarer Strahlung und durch nichtlineare Wechselwirkung von Gezeiten in den Simulationen ausgeschaltet, so dass die Hauptantriebsquelle erkennbar wird. Innerhalb des QuarTA-Projekts wird daher, durch die Kombination von Beobachtungen und Modellsimulationen, ein vertiefter Einblick in die Klimatologie und die Anregung der 6-stündigen Gezeiten ermöglicht, der bislang noch nicht in ausreichendem Maße gegeben ist.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG JA 836/34-1)

Verzögerte Antwort der Ionosphäre auf Variationen des solaren EUV (DRIVAR)
Delayed response of the ionosphere to solar EUV variability (DRIVAR)

Schlagworte: Ionosphäre, solare Variabilität

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter:

R. Vaishnav

Projektbeginn: 1.5.2017

Projektende: 30.10.2020

Beschreibung

Das ionosphärische Plasma reagiert auf Änderungen der ionosphärischen EUV und UV-Strahlung auf der Zeitskala der solaren Rotation mit einer Verzögerung von 1-2 Tagen. Es wird angenommen, dass diese Verzögerung auf Transportprozesse von der unteren Ionosphäre in die F-Region zurück zu führen ist, doch wurden bislang nur begrenzte Modelluntersuchungen durchgeführt, um diesen Zusammenhang zu belegen. Innerhalb von DRIVAR sollen die Prozesse, die für die ionosphärische Verzögerung verantwortlich sind, durch umfassende Datenanalyse und Modellierung untersucht werden. Verschiedene solare Proxies sowie spektral aufgelöste EUV- und UV-Flüsse aus Satellitenmessungen werden verwendet und zusammen mit ionosphärischen Parametern analysiert, welche aus GPS-Radiookkultationsmessungen, Ionosondenmessungen und GPS-Gesamtelektronenmessungen stammen. Letztere haben sowohl den Vorteil einer globalen Abdeckung als auch einer z.T. räumlich hoher Auflösung. Die ionosphärische Verzögerung wird auf verschiedenen Zeitskalen ionosphärischer Variation (Tage, solare Rotation, saisonal) untersucht, und regionale Abhängigkeiten werden analysiert. Wegen des komplexen Charakters der involvierten Prozesse in der Thermosphäre und Ionosphäre werden Experimente mit numerischen Modellen benötigt, um die der Verzögerung zugrundeliegenden Prozesse physikalisch zu untersuchen. Wir verwenden das Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere Electrodynamics (CTIPE), um die Verzögerung zu simulieren und führen Sensitivitätsstudien durch um die zur ionosphärischen Verzögerung führenden Prozesse im Detail zu analysieren. Die Ergebnisse von DRIVAR werden zu einem verbesserten Verständnis ionosphärischer Prozesse führen und werden insbesondere in der Vorhersage ionosphärischer Variabilität Anwendung finden, z.B. bei der Analyse und Vorhersage von GNSS- Positionsfehlern.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG JA 836/33-1)

Nicht-zonale Strukturen der Dynamik der Mesosphäre/unteren Thermosphäre in mittleren Breiten (NOSTHEM)

Non-zonal Structures of Mesosphere/lower Thermosphere Dynamics at Middle Latitudes (NOSTHEM)

Schlagnworte: mittlere Atmosphäre; Radarmessungen

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter:

F. Lilienthal

Projektbeginn: 1.9.2018

Projektende: 31.7.2022

Beschreibung

In NOSTHEM sollen zonale Unterschiede des mittleren Windes, Gezeitenparameter, planetarer Wellen und Schwerewellen in der Mesosphäre und unteren Thermosphäre untersucht und erklärt werden. Ihr Einfluss auf die Repräsentativität einzelner Messungen für ein zonales Mittel von mittlerem Wind und Wellen wird bestimmt werden. Dies soll eine quantitative Einschätzung der Unsicherheiten von mittlerer Klimatologie, Langzeittrends und Maßen für die Variabilität auf der Basis einzelner Messungen ermöglichen. Der Beitrag nicht-zonaler Strukturen auf die mittlere Zirkulation und ihre Variabilität wird bestimmt. Hemisphärische Analysen von Wellen und Zirkulation in der unteren und mittleren Atmosphäre werden verwendet, um deren Rolle bei der Bildung longitudinaler Unterschiede zu klären. Dies wird auch die Frage beantworten, ob die schon seit langem beobachteten Unterschiede des mesosphärischen Windes über Mittel- und Osteuropa signifikant sind und wenn ja, welche Prozesse zu deren Auftreten beitragen.

In NOSTHEM werden Beobachtungen zweier praktisch identischer VHF-Meteorradare auf ähnlicher geographischer Breite, aber mit 36° Längenunterschied herangezogen. Daher kann daraus der Beitrag nicht-zonaler Strukturen zur lokalen Klimatologie und Variabilität ermittelt werden. Um ein umfassendes hemisphärisches Bild zu erhalten, werden die lokalen Radarmessungen durch Satellitenbeobachtungen und Reanalysedaten ergänzt, sowie numerische Simulationen mit einem Zirkulationsmodell der mittleren Atmosphäre durchgeführt.

Die Hauptziele von NOSTHEM sind (1) eine quantitative Darstellung von Ähnlichkeiten und Unterschieden der mesosphärischen/thermosphärischen Zirkulation an zwei Längengraden, (2) eine Erweiterung dieser Analyse durch hemisphärische Daten und (3) eine Quantifizierung der Rolle von Wellen bei der Ausprägung der Zirkulation an einzelnen Orten. Als Endziel werden nicht-zonale Strukturen und ihre Gründe und die zu ihnen führenden Prozesse geklärt, und auch Hinweise für die Interpretation von Klimatologie und Variabilität an einzelnen Orten in Bezug auf die gesamthemisphärische Dynamik gegeben.

NOSTHEM wird als Kooperation des Instituts für Meteorologie, Universität Leipzig und des radiophysikalischen Departments, Universität Kasan gemeinsam durchgeführt.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG JA 836/38-1)

Wellenkopplung der mittleren und oberen Atmosphäre: Jahr-zu-Jahr-Variabilität und Langzeittrends (VACILT)

Wave coupling processes of the middle and upper atmosphere: Interannual and long-term variability (VACILT)

Schlagnworte: mittlere Atmosphäre; Hochatmosphäre, Langzeittrends

Projektleiter:

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

Projektmitarbeiter:

A. Kuchar

Projektbeginn: 1.5.2019

Projektende: 31.4.2022

Beschreibung

Die langfristigen Änderungen in der Hochatmosphäre werden durch dynamische Prozesse der darunterliegenden Schichten beeinflusst. Diese meteorologischen Einflüsse werden vor allem durch Wellen hervorgerufen, die sich von der unteren Atmosphäre in die Thermosphäre ausbreiten. Indem sie Energie und Impuls transportieren, modifizieren sie thermosphärische und ionosphärische Parameter. Wellen in der Atmosphäre werden nicht nur vom Zustand der unteren und mittleren Atmosphäre beeinflusst, sondern weisen auch Langzeittrends auf. Daher trägt nicht nur die bekannte Abkühlung durch die Zunahme von Treibhausgasen zu langfristigen Änderungen in der Thermosphäre bei, sondern auch Trends der Wellenaktivität, so dass eine umfassende Beschreibung hochatmosphärischer Variabilität auch Trends der Wellen beinhalten muss.

Um die Auswirkung von Wellen auf die Kopplung von mittlerer und oberer Atmosphäre zu quantifizieren, zielt das Projekt VACILT auf die Beobachtung und Simulation von Wellen, sowie die Quantifizierung ihrer Variabilität und die Analyse ihrer Auswirkungen auf die Thermosphäre. Dazu werden langfristige (> 30 Jahre) Radarbeobachtungen herangezogen und Ergebnissen einer Langzeitsimulation mit dem GAIA-Erdsystemmodell gegenübergestellt, welche wiederum durch Beobachtungen thermosphärischer Parameter gestützt werden.

Die GAIA-Analysen erlauben es, die Auswirkungen atmosphärischer Wellen in der Thermosphäre zu quantifizieren und mit der Variabilität der atmosphärischen Zirkulation in Verbindung zu bringen. Die Ergebnisse werden mit Hilfe von Sensitivitätsstudien unter Verwendung eines mechanistischen Zirkulationsmodells gestützt.

Die Ziele von VACILT sind demnach die folgenden: (1) Quantifizierung der Variabilität der Wellen in der mittleren Atmosphäre auf der Basis von Radarbeobachtungen und GAIA-Analysen (2) quantitative Bestimmung der Auswirkung von Wellenkopplung auf die Hochatmosphäre und (3) die umfassende Analyse des Beitrags von Wellen auf Trends in der Thermosphäre/Ionosphäre, gegenüber dem Beitrag von Treibhausgasen und deren Änderung. Das Erreichen dieser Ziele wird die Rolle von Wellen auf die Thermosphäre/Ionosphäre klären, und hat damit direkte Anwendung z.B. in der Vorhersage der Genauigkeit von Kommunikations-/Navigationssignalen.

VACILT ist ein gemeinsames Projekt der Universität Leipzig mit dem Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik, Kühlungsborn und dem Department of Earth and Planetary Sciences, Universität Kyushu, Japan. Damit können die Ressourcen der jeweiligen Partner, nämlich Radarbeobachtungen und mechanistische Modelle auf deutscher, Erdsystemmodellierung und thermosphärischer Satellitenanalysen auf japanischer Seite, optimal kombiniert werden.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG JA 836/43-1)

.....

Junior-Professorin Dr. Heike Kalesse

Fernerkundung; Heike Kalesse
AG Fernerkundung der Atmosphäre und das Arktische Klimasystem

Bodengebundene Fernerkundung der Atmosphäre zur Verbesserung der Charakterisierung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften sowie der Leistungsprognose erneuerbarer Energien

Ground-based remote sensing of the atmosphere for improving the characterization of microphysical cloud properties and for improving the load prediction of renewable energies

Schlagworte: bodengebundene Fernerkundung, erneuerbare Energien, Wolkenretrieval, DACAPO-PESO

Projektleiter: H. Kalesse (heike.kalesse@uni-leipzig.de), A. Ehrlich (a.ehrlich@uni-leipzig.de), M. Schäfer (michael.schaefer@uni-leipzig.de), M. Wendisch (m.wendisch@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter: AP1: M. Lochmann (moritz.lochmann@uni-leipzig.de), AP2: W. Schimmel (willi.schimmel@uni-leipzig.de), AP3: A. Emmanouilidis (alexandros.emmanouilidis@uni-leipzig.de)

Projektbeginn: 1.9.2018

Projektende: 31.8.2021

Beschreibung

Die bodengebundene Fernerkundung der Atmosphäre dient sowohl der Grundlagenforschung von Wolken und Niederschlag, als auch im operationellen Dienst der Wettervorhersage als ein wichtiger Baustein für die Leistungsprognose erneuerbarer Energien. Innerhalb dieses Projekts gibt es zwei Hauptzielstellungen: Zum einen wird analysiert werden, wie künstliche neuronale Netze (KNN) zur Leistungsprognose von Photovoltaik- und Windkraftanlagen optimiert werden können, wenn zusätzliche Daten von Wetterstationen und bodengebundenen Fernerkundungsmessungen implementiert werden. Zum anderen sollen in zwei weiteren Teilprojekten für Wolkenbeobachtungen Ableitungsalgorithmen (Retrievals) weiterentwickelt werden, um die Bestimmung von Wolkeneigenschaften zu verbessern und zu erweitern. Dabei stehen Messgerätesynergien zur Ableitung der Wolkenröpfchenkonzentration sowie die Entwicklung anwendungsspezifischer KNN zur Charakterisierung der Verteilung von Flüssigwasser in Mischphasenwolken im Vordergrund.

Das Projekt ist in drei Arbeitspakete unterteilt:

AP1: Test des Einflusses zusätzlicher Messdaten von Wetterstationen und aus der bodengebundenen Fernerkundung auf die Leistungsprognose von PV- und Windkraft-Anlagen mittels künstlicher Neuronaler Netze (KNN)

AP2: Entwicklung eines auf Wolkenradar- und Lidar basierendem KNN zur Detektion von Flüssigwasser in Wolken

AP3: Entwicklung einer auf synergistischen Fernerkundungsmessungen basierenden Methode zur Ableitung der Wolkentröpfchenkonzentration

Description

Ground-based remote sensing of the atmosphere serves both, the basic research of clouds and precipitation, and in the operational service of weather forecasting as an important building block for the power prognosis of renewable energies. Within this project there are two main objectives: Firstly, it will be analysed how artificial neural networks (ANN) can be optimized for power forecasting of Photovoltaics (PV) and wind turbines, if additional data from weather stations and ground-based remote sensing measurements are implemented. On the other hand, in two further subprojects for cloud observations, retrieval algorithms will be developed to improve and extend the determination of cloud properties. The focus will be on instrument synergies for the derivation of cloud droplet concentrations and the development of application-specific ANN for the characterization of the distribution of liquid water in mixed-phase clouds.

The project is divided into three work packages:

AP1: Testing the influence of additional measurement data from weather stations and ground-based remote sensing on the power prognosis of PV and wind power plants using artificial neural networks (ANN)

AP2: Development of a cloud radar and lidar based ANN for detection of liquid water in clouds

AP3: Development of a cloud droplet concentration retrieval based on synergistic remote sensing observations

Weiterführung: ja

Mittelgeber: ESF - Sächsische Aufbaubank (SAB), Antragsnummer : 100339509

PICNICC - Durch CCN und INP beeinflusste Polarimetrie in Zypern und Chile - Abschätzung von hemisphärischen Kontrasten in radarpolarimetrischen Größen und deren Beziehung zu Unterschieden in der Aerosolbelastung

Polarimetry Influenced by CCN and INP in Cyprus and Chile (PICNICC):

An assessment of hemispheric cloud polarimetric contrasts and its relation to differences in aerosol load

Schlagnworte: Radarpolarimetrie, DACAPO-PESO, Wolkenmikrophysik, Aerosol-Wolken-Wechselwirkung

Projektleiter: H. Kalesse (heike.kalesse@uni-leipzig.de)

Dr. P. Seifert, Leibniz Institut für Troposphärenforschung (TROPOS)

Projektmitarbeiter:

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

Teresa Vogl (teresa.vogl@uni-leipzig.de), A. Teissiere (TROPOS)

Projektbeginn: 1.11.2018

Projektende: 31.12.2021

Beschreibung

Das Verständnis von mikrophysikalischen Wachstumsprozessen in Mischphasenwolken wie Aggregation und Bereifung beruht auf einer gründlichen Charakterisierung der in der Wolke vorhandenen Flüssigphase. In dieser Studie wird eine einzigartige Messmöglichkeit mit einer erweiterten Fernerkundungsinstrumentensuite genutzt, die polarimetrische Radarbeobachtungen bei mehreren Wellenlängen auf der Nord- und Südhalbkugel beinhaltet, um die Millimeterwellenlängen-Radarpolarimetrieforschung für mikrophysikalische Prozessstudien voranzubringen. Die übergeordnete Hypothese, die in diesem Projekt untersucht wird, ist, dass Mischphasen-Wolkenprozesse anfällig für Aerosolstörungen sind. Wir postulieren, dass:

A) Die Aggregation wird bei hohen Aerosolbelastungen und damit verbundenen höheren INP (Ice Nucleating Particle)-Konzentrationen häufiger erfolgen, da höhere Eiskristallkonzentrationen die Aggregation begünstigen.

B) Bereifung von Eiskristallen wird häufiger auftreten, wenn aufgrund einer Knappheit von INP anhaltende unterkühlte Flüssigkeitsschichten auftreten.

Um diese Hypothesen anzugehen, wird die Häufigkeit des Auftretens von Aggregation und Bereifung in mehrjährigen Datensätzen charakterisiert, die bei Feldexperimenten in der Aerosol-Lasten-Atmosphäre über Limassol, Zypern und der unberührten Region Punta Arenas, Chile, erhalten wurden und werden. Die beobachtete Reaktion von Mischphasen-Wolkenprozessen auf Aerosolstörungen wird im Zusammenhang mit einer Modellsensitivitätsstudie von Simulationen mit einer wolkensystemauflösenden (1 km) Version des ICON-NWP für die gesamten Beobachtungszeiträume für regionale Bereiche um die Beobachtungsstandorte in Zypern und Chile gestellt, die von Radar-Fortsimulationen begleitet werden.

Description

Understanding mixed-phase cloud processes such as aggregation and riming relies on a thorough characterization of the liquid phase present in the cloud. For this study we propose to use a unique measurement opportunity with an extended remote-sensing instrument suite including triple-frequency polarimetric radar observations on the Northern and Southern hemisphere to bring forward millimeter wavelength radar polarimetry research for microphysical process studies. The overarching hypothesis that we would like to study within this project is that mixed-phase cloud processes are susceptible to aerosol perturbations. We postulate that

A) Aggregation will be more frequent for high aerosol loads and associated higher ice nucleating particle (INP) concentrations because higher ice crystal concentrations favor aggregation.

B) Riming will be more frequent where sustained supercooled liquid layers occur due to a scarcity of INP.

To address these hypotheses, we will characterize the frequency of occurrence of aggregation and riming in multi-year datasets obtained during institutional-funded field experiments in the aerosol-burden atmosphere above Limassol, Cyprus and the pristine region of Punta Arenas, Chile. For that purpose, we will make slanted linear depolarization (SLDR) polarimetric observations with a Ka-band radar a versatile technique for classification of hydrometeors in mixed-phase clouds.

The observed response of mixed-phase cloud processes to aerosol perturbations will be put in context to a model sensitivity study of simulations with a cloud-system-resolving (1 km) version of

the ICON-NWP for the entire observation periods for regional domains around the observations sites in Cyprus and Chile that are accompanied by radar forward simulations.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: DFG KA 4162/2-1 innerhalb SPP-PROM (SPP-2115)

Aerosole und Wolken, Matthias Tesche
Aerosols and Clouds

Partikel in Aerosol-Wolken Wechselwirkungen: Schichtung, Konzentration und Wolkenlebenszyklus

Particles in Aerosol Cloud Interactions: stratification, CCN/INP concentrations, and Cloud lifecycle (PACIFIC)

Schlagnworte: Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen, Satellitenfernerkundung, Wolkenverfolgung, Wolken- und Eiskeime

Projektleiter:

Dr. Matthias Tesche (matthias.tesche@uni-leipzig.de)

Projektmitarbeiter:

Dr. Peggy Aichert, Dr. Peter Bräuer, Dr. Torsten Seelig, Fani Alexandri, Goutam Choudhury

Projektbeginn: 01.01.2019

Projektende: 31.12.2022

Beschreibung

Aerosolpartikel sind von herausragender Bedeutung für die Bildung von Wolken, da sie als Wolkenkondensationskerne in Flüssigwasserwolken and als Eiskeime in eishaltenden Wolken wirken. Veränderungen der Aerosolkonzentration in der Atmosphäre beeinflussen die Reflektivität, die Entwicklung, die Wasserphase, die Lebenszeit und die Regenrate von Wolken. Diese Prozesse werden als Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen bezeichnet. Obwohl ihr Einfluss auf das Klima der Erde seit Jahrzenten einen Schwerpunkt der Atmosphärenforschung bildet, ist unser derzeitiger Wissensstand, so wie er im letzten Bericht des Weltklimarates zusammengefasst wurde, dass Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen die größte Unsicherheit zu unserem Verständnis des Klimawandels beiträgt.

PACIFIC wird unser Verständnis von Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen durch zwei Innovationen verbessern: (1) die Charakterisierung der für diese Prozesse relevanten Aerosolpartikel und (2) die Untersuchung der zeitlichen Veränderung der Eigenschaften von Wolken im Verlauf ihres Lebenszyklus. Untersuchungen von Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen mit Geräten auf polarumlaufenden Satelliten sind auf Wolkenbeobachtungen zu festen Zeiten beschränkt. Die für solche Studien benötigte Information der Anzahl vorhandener Wolkenkondensationskerne wird derzeit aus säulenintegrierten optischen Aerosoleigenschaften abgeschätzt. Eine ähnliche Methodik zur Abschätzung der Konzentration von Eiskeimen existiert nicht, da deren Eigenschaften von der Art und Größe der Partikel abhängen. Daher sind zur Zeit keinen Studien von Aerosol-

Wolken-Wechselwirkungen auf eisenthaltende Wolken basierend auf Fernerkundungsmessungen möglich. Die quantitative Abschätzung der Bedeutung von Aerosolen in Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen verlangt, dass Informationen über die räumliche Verteilung von Wolkenkondensationskernen und Eiskeimen vorhanden sind. Das Projekt strebt an bisher nicht erhältliche Informationen über die Konzentration von Wolkenkondensationskernen und Eiskeimen aus weltraumgetragenen Lidarmessungen zu erlangen. Dessenweiteren wird die Entwicklung von Wolken vor und nach der Punktbeobachtung mit polarumlaufenden Geräten dadurch charakterisiert, dass diese Wolken in zeitlich aufgelösten Beobachtungen von geostationären Geräten verfolgt werden. Die neuartige Information wird dann zum Studium der Effekte von Wolkenkondensationskernen und Eiskeimen auf die Helligkeit, den Flüssig- und Eiswassergehalt, die Tropfen- und Eiskristallgröße, die Entwicklung, die Wasserphase und die Regenrate von Wolken in verschiedenen Wolkenregimen verwendet. Besonderes Augenmerk wird dabei auf eine umfassende Berücksichtigung der meteorologischen Rahmenbedingungen gelegt werden. Die Ergebnisse von PACIFIC sind von Bedeutung für die Untersuchung und Verbesserung des Verhaltens von Klimamodellen.

Description:

Atmospheric aerosol particles are of great importance for cloud formation in the atmosphere because they are needed to act as cloud condensation nuclei (CCN) in liquid-water clouds and as ice nucleating particles (INP) in ice-containing clouds. Changes in aerosol concentration affect the albedo, development, phase, lifetime and rain rate of clouds. These aerosol-cloud interactions (ACI) and the resulting climate effects have been in the focus of atmospheric research for several decades. Nevertheless, the IPCC still concludes that ACI cause the largest uncertainty in assessing climate change as they are understood only with medium confidence.

PACIFIC will improve our understanding of ACI by enhancing the representation of the aerosols relevant for cloud processes and by quantifying temporal changes in cloud properties throughout the cloud life cycle. ACI studies using polar-orbiting sensors are limited to snap-shot observations of clouds. CCN concentrations for assessing ACI are currently estimated from column- integrated optical aerosol parameters. There is no such proxy of INP concentrations for remote-sensing studies of aerosol effects on cold clouds as INP activity depends on aerosol type and size.

Quantifying the role of aerosols in ACI requires knowledge of the spatial and vertical distribution of CCN and INP. The project aims to obtain unprecedented insight in CCN and INP concentrations from spaceborne lidar data. In addition, the development of clouds before and after the snap-shot view of polar-orbiting sensors is characterised by tracking those clouds in time-resolved geostationary observations. This novel information will be used to study the effects of CCN and INP on the albedo, liquid and ice water content, droplet and crystal size, development, phase and rain rate of clouds within different regimes carefully accounting for the meteorological background. The findings of PACIFIC are crucial for assessing and improving the performance of climate models.

Weiterführung: ja

Mittelgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), MOPGA-GRI Senior Research Grant PACIFIC (57429422)

Publikationen

LIM 2019

Autor_Name	Vorname	weitere Autoren	Titel	ID, DOI Publikationsort
Ghate	V. P.	Ghate, V.P., P. Kollias, S. Crewell, A.M. Fridlind, T. Heus, U. Löhnert, M. Maahn, G.M. McFarquhar, D. Moisseev, M. Oue, M. Wendisch , and C. Williams	The Second ARM Training and Science Application Event: Training the Next Generation of Atmospheric Scientists	doi:10.1175/BAMS-D-18-0242.1 Bull. Am. Meteorol. Soc., 100, ES5-ES9, 2019.
Zinner	Tobias	Zinner, T., Schwarz, U., Kölling, T., Ewald, F., Jäkel , E., Mayer, B., and Wendisch, M.	Cloud geometry from oxygen-A band observations through an aircraft side window	doi:10.5194/amt-12-1167-2019 Atmos. Meas. Tech., 12, 1167-1181, , 2019
Li	Li	Li, L., Li, Z., Dubovik, O., Zheng, X., Li, Z., Ma, J., and Wendisch, M.	Effects of the shape distribution of aerosol particles on their volumetric scattering properties and the radiative transfer through the atmosphere that includes polarization	doi:10.1364/AO.58.001475 Appl. Opt., 58, 1475-1484, 2019
Wolf	Kevin	Wolf, K., Ehrlich, A. , Jacob, M., Crewell, S., Wirth, M., and Wendisch, M.	Improvement of Airborne Retrievals of Cloud Droplet Number Concentration of Trade Wind Cumulus Using a Synergetic Approach	doi:10.5194/amt-12-1635-2019 Atmos. Meas. Tech., 12, 1635-1658, 2019.
Bilal	M.	Bilal, M., Nazeer, M., Nichol, J.E., Bleiweiss, M.P., Qiu, Z., Jäkel, E. , Campbell, J.R., Atique, L., Huang, X., Lolli, S.	A Simplified and Robust Surface Reflectance Estimation Method (SREM) for Use over Diverse Land Surfaces Using Multi-Sensor Data	doi:10.3390/rs11111344 Remote Sens., 11, 1344, , 2019
Wendisch	Manfred	Wendisch, M. , A. Macke, A. Ehrlich , C. Lüpkes, M. Mech, D. Chechin, K. Dethloff, C. Barrientos, H. Bozem, M. Brückner , H.-C. Clemen, S. Crewell, T. Donth , R. Dupuy, K. Ebell, U. Egerer, R. Engelmann, C. Engler , O. Eppers, M. Gehrman, X. Gong, M. Gottschalk , C. Gourbeyre, H.	The Arctic Cloud Puzzle: Using ACLOUD/PASCAL Multi-Platform Observations to Unravel the Role of Clouds and Aerosol Particles in Arctic Amplification	doi:10.1175/BAMS-D-18-0072.1 Bull. Am. Meteorol. Soc., 100, 841-871, 2019

		Griesche, J. Hartmann, M. Hartmann, B. Heinold, A. Herber, H. Herrmann, G. Heygster, P. Hoor, S. Jafariserajehlou, E. Jäkel , E. Järvinen, O. Jourdan, U. Kästner, S. Kecorius, E. M. Knudsen, F. Köllner, J. Kretzschmar , L. Lelli, D. Leroy, M. Maturilli, L. Mei, S. Mertes, G. Mioche, R. Neuber, M. Nicolaus, T. Nomokonova, J. Notholt, M. Palm, M. van Pinxteren, J. Quaas , P. Richter, E. Ruiz-Donoso , M. Schäfer , K. Schmieder, M. Schnaiter, J. Schneider, A. Schwarzenböck, P. Seifert, M. D. Shupe, H. Siebert, G. Spreen, J. Stapf , F. Stratmann, T. Vogl, A. Welti, H. Wex, A. Wiedensohler, M. Zanatta, S. Zeppenfeld		
Stevens	Bjorn	Stevens, B., Ament, F., Bony, S., Crewell, S., Ewald, F., Gross, S., Hansen, A., Hirsch, L., Jacob, M., Kölling, T., Konow, H., Mayer, B., Wendisch, M. , Wirth, M., Wolf, K. , Bakan, S., Bauer-Pfundstein, B., Brueck, M., Delanoë, J., Ehrlich, A. , Farrell, D., Forde, M., Göttsche, F., Grob, H., Hagen, M., Jäkel, E. , Jansen, F., Klepp, C., Klingebiel, M., Mech, M., Peters, G., Rapp, M., Wing, A. A., Zinner, T.	A High-Altitude Long-Range Aircraft Configured as a Cloud Observatory: The NARVAL Expeditions	doi:10.1175/BAMS-D-18-0198.1 Bull. Am. Meteorol. Soc., 100, 1061–1077, 2019
Jäkel	Evi	Jäkel, E., Stapf, J., Wendisch, M., Nicolaus, M., Dorn, W., and Rinke, A.	Validation of the sea ice surface albedo scheme of the regional climate model HIRHAM-NAOSIM using aircraft measurements during the ALOUD/PASCAL campaigns	doi:10.5194/tc-13-1695-2019 The Cryosphere, 13, 1695-1708, 2019

Egerer	Ulrike	Egerer, U., Gottschalk, M. , Siebert, H., Ehrlich, A. , and Wendisch, M.	The new BELUGA setup for collocated turbulence and radiation measurements using a tethered balloon: First applications in the cloudy Arctic boundary layer	doi:10.5194/amt-12-4019-2019 Atmos. Meas. Tech., 12, 4019-4038, 2019
Schacht	Jacob	Schacht, J., Heinold, B., Quaas, J., Backman, J., Cherian, R., Ehrlich, A. , Herber, A., Huang, W. T. K., Kondo, Y., Massling, A., Sinha, P. R., Weinzierl, B., Zanatta, M., and Tegen, I.	The importance of the representation of air pollution emissions for the modeled distribution and radiative effects of black carbon in the Arctic	doi:10.5194/acp-19-11159-2019 Atmos. Chem. Phys., 19, 11159–11183, 2019
Ehrlich	André	Ehrlich, A. , Wendisch, M. , Lüpkes, C., Buschmann, M., Bozem, H., Chechin, D., Clemen, H.-C., Dupuy, R., Eppers, O., Hartmann, J., Herber, A., Jäkel, E. , Järvinen, E., Jourdan, O., Kästner, U., Kliesch, L.-L., Köllner, F., Mech, M., Mertes, S., Neuber, R., Ruiz-Donoso, E. , Schnaiter, M., Schneider, J., Stapf, J. , and Zanatta, M.	A comprehensive in situ and remote sensing data set from the Arctic CLOUD Observations Using airborne measurements during polar Day (ACLOUD) campaign	doi:10.5194/essd-11-1853-2019 Earth Syst. Sci. Data, 11, 1853–1881, 2019.
Aas	Wenche	A. Mortier, V. Bowersox, R. Cherian , G. Faluvegi, H. Fagerli, J. Hand, Z. Klimont, C. Galy-Lacaux, C. M. B. Lehmann, C. Lund Myhre, G. Myhre, D. Olivié, K. Sato, J. Quaas , P. S. P. Rao, M. Schulz, D. Shindell, R. B. Skeie, A. Stein, T. Takemura, S Tsyro, R. Vet, and X. Xu	Global and regional trends of atmospheric sulfur	doi:10.1038/s41598-018-37304-0 Sci. Rep., 9, 953 (2019)
Bellouin	Nicolas	J. Quaas , E. Gryspeerd , S. Kinne, P. Stier, D Watson-Parris, O. Boucher, K.S. Carslaw, M. Christensen, A.-L. Daniau, J.-L. Dufresne, G. Feingold, S. Fiedler, P. Forster, A. Gettelman, J. M. Haywood, F. Malavelle, U. Lohmann, T. Mauritsen, D.T. McCoy, G. Myhre, J. Mülmenstädt , D. Neubauer, A. Possner, M. Rüggenstein, Y. Sato, M. Schulz, S. E. Schwartz, O. Sourdeval , T. Storelvmo, V. Toll, D. Winker, and B. Stevens	Bounding global aerosol radiative forcing of climate change	doi:10.1029/2019RG000660 Rev. Geophys., in press (2019)

Böhm	Christoph	O. Sourdeval, J. Mülmenstädt, J. Quaas, and S. Crewell	Cloud base height retrieval from multi-angle satellite data	doi:10.5194/amt-12-1841-2019 Atmos. Meas. Tech., 12, 1841-1860 (2019)
Gryspeerd	Edward	T. Goren, O. Sourdeval, J. Quaas, J. Mülmenstädt, Dipu S., C. Unglaub, A. Gottelman, and M. Christensen	Constraining the aerosol influence on cloud liquid water path	doi:10.5194/acp-19-5331-2019 Atmos. Chem. Phys., 19, 5331-5347 (2019)
Gryspeerd	Edward	J. Mülmenstädt, A. Gottelman, F. F. Malavelle, H. Morrison, D. Neubauer, D. G. Partridge, P. Stier, T. Takemura, H. Wang, M. Wang, and K. Zhang	Surprising similarities in model and observational aerosol radiative forcing estimates	doi:10.5194/acp-2019-533 Chem. Phys., in press, 1-18 (2019).
Hasekamp	Otto P.	E. Gryspeerd, and J. Quaas	Analysis of polarimetric satellite measurements suggests stronger cooling due to aerosol- cloud interactions	doi:10.1038/s41467-019-13372-2 Nature Comm., 10, 5405 (2019)
Hutchison	Keith	B. Iisager, Dipu S. , X. Jiang, J. Quaas, and R. Markwardt	Evaluating WRF Cloud Forecasts with VIIRS Imagery and Derived Cloud Products	doi:10.3390/atmos10090521 Atmosphere, 10, 521 (2019)
Jia	Hailing	X. Ma, J. Quaas, Y. Yin, and T. Qiu	Is the positive correlation between cloud droplet effective radius and aerosol optical depth over land due to retrieval artifacts or real physical processes?	doi:10.5194/acp-19-8879-2019 Atmos. Chem. Phys., 19, 8879-8896 (2019)
Kretzschmar	Jan	M. Salzmänn, J. Mülmenstädt, and J. Quaas	Arctic cloud cover bias in ECHAM6 and its sensitivity to cloud microphysics and surface fluxes	doi:10.5194/acp-19-10571-2019 Atmos. Chem. Phys., 19, 10571-10589 (2019)
Mauritsen	Thorsten	J. Bader, T. Becker, J. Behrens, M. Bittner, R. Brokopf, V. Brovkin, M. Claussen, T. Crueger, M. Esch, I. Fast, S. Fiedler, D. Flaeschner, V. Gayler, M.A. Giorgetta, D.S. Goll, H. Haak, S. Hagemann, C. Hedemann, Cathy Hohenegger, T. Ilyina, T. Jahns, D. Jimenez de la Cuesta Otero, J. Jungclaus, T. Kleinen, S. Kloster, D.	Developments in the MPI-M Earth System Model version 1.2 (MPI-ESM1.2) and its response to increasing CO2	doi:10.1029/2018MS001400 J. Adv. Model. Earth Syst., 11, 998-1038 (2019)

		Kracher, S. Kinne, D. Kleberg, G. Lasslop, L. Kornblueh, J. Marotzke, D. Matei, K. Meraner, U. Mikolajewicz, K. Modali, B. Moebis, W. A. Mueller, J. Nabel, C. Nam , D. Notz, S.-S. Nyawira, H. Paulsen, Karsten Peters, R. Pincus, H. Pohlmann, J. Pongratz, M. Popp, T. Raddatz, S. Rast, R. Redler, C. Reick, T. Rohrschneider, Vera Schemann, Hauke Schmidt, R. Schnur, U. Schulzweida, K.D. Six, L. Stein, I. Stemmler, B. Stevens, J.S. Storch, F. Tian, Aiko Voigt, P. Vrese, K.-H. Wieners, S. Wilkenskield, A. Winkler, and E. Roeckner		
Mülmenstädt	Johannes	E. Gryspeerd, M. Salzmänn, P.-L. Ma, Dipu S., and J. Quaas	Separating radiative forcing by aerosol-cloud interactions and fast cloud adjustments in the ECHAM-HAMMOZ aerosol-climate model using the method of partial radiative perturbations	doi:10.5194/acp-19-15415-2019 Atmos. Chem. Phys., 9, 15415-15429 (2019)
Richardson	Thomas B.	P. Forster, C. Smith, A. Maycock, T. Wood, T. Andrews, O. Boucher, G. Faluvegi, D. Fläschner, Ø. Hodnebrog, M. Kasoar, A. Kirkevåg, J.-F. Lamarque, J. Mülmenstädt , G. Myhre, D. Olivie, R. Portmann, B. Samset, D. Shawki, D. Shindell, P. Stier, T. Takemura, A. Voulgarakis, and D Watson-Parris	Efficacy of climate forcings in PDRMIP models	doi:10.1029/2019JD030581 J. Geophys. Res., 124, 12824-12844 (2019)
Schacht	Jacob	B. Heinold, J. Quaas , J. Backman, R. Cherian , A. Ehrlich, A. Herber, W. T. K. Huang, Y. Kondo, A. Massling, P. R. Sinha, B. Weinzierl, M. Zanatta, and I. Tegen	The importance of the representation of air pollution emissions for the modeled distribution and radiative effects of black carbon in the Arctic	doi:10.5194/acp-19-11159-2019 Atmos. Chem. Phys., 19, 11159-11183 (2019)
Toll	Velle	M. Christensen, J. Quaas , and N. Bellouin	Weak average liquid-cloud-water response to anthropogenic aerosols	doi:10.1038/s41586-019-1423-9 Nature, 572, 51-55 (2019)

Sven	Wilhelm	G. Stober, V. Matthias, Ch. Jacobi , and D.J. Murphy	Connection between the length of day and wind measurements in the mesosphere and lower thermosphere at mid- and high latitudes	https://doi.org/10.5194/angeo-37-1-2019 . Ann. Geophys., 37 (2019), 1-14
Qian	Liyang	Ch. Jacobi , and J. McInerney	Trends and solar irradiance effects in the mesosphere	https://doi.org/10.1029/2018JA026367 J. Geophys. Res.: Space Physics, 124 (2019), 1343–1360
Mewes	Daniel	Ch. Jacobi	Heat transport pathways into the Arctic and their connections to surface air temperatures	https://doi.org/10.5194/acp-19-3927-2019 Atmos. Chem. Phys., 19 (2019), 3927–393
Korotyshkin	Dmitriy	D., E. Merzlyakov, Ch. Jacobi , F. Lilienthal , and Q. Wu	Longitudinal MLT wind structure at higher mid-latitudes as seen by meteor radars at Central and Eastern Europe (13°E/49°E)	https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.01.036 Adv. Space Res., 63 (2019), 3154-3166
Jacobi	Christoph	C. Arras, C. Geißler , and F. Lilienthal	Quarterdiurnal signature in sporadic E occurrence rates and comparison with neutral wind shear	https://doi.org/10.5194/angeo-37-273-2019 . Ann. Geophys., 37 (2019), 273-288
Samtleben	Nadja	Ch. Jacobi , P. Pišoft, P. Šácha, and A. Kuchař	Effect of latitudinally displaced gravity wave forcing in the lower stratosphere on the polar vortex stability	https://doi.org/10.5194/angeo-37-507-2019 Ann. Geophys., 37 (2019), 507-523
Jacobi	Christoph	C. Arras	Tidal wind shear observed by meteor radar and comparison with sporadic E occurrence rates based on GPS radio occultation observations	https://doi.org/10.5194/ars-17-213-2019 . Adv. Radio Sci., 17 (2019), 213-224
Lilienthal	Friederike	Ch. Jacobi	Nonlinear forcing mechanisms of the migrating terdiurnal solar tide and their impact on the zonal mean circulation	https://doi.org/10.5194/angeo-37-943-2019 Ann. Geophys., 37 (2019), 943–953
Vaishnav	Rajesh	Ch. Jacobi , and J. Berdermann	Long-term trends in the ionospheric response to solar extreme-ultraviolet variations	https://doi.org/10.5194/angeo-37-1141-2019 Ann. Geophys., 37 (2019), 1141–1159

Annette	Rinke	E. M. Knudsen, D. Mewes , W. Dorn, D. Handorf, K. Dethloff, and J.C. Moore	Arctic summer sea-ice melt and related atmospheric conditions in coupled regional climate model simulations	https://doi.org/10.1029/2018JD030207 J. Geophys. Res. Atmospheres, 124 (2019), 6027– 6039
Kalesse	Heike	T. Vogl , C. Paduraru, and E. Luke	Development and validation of a supervised machine learning radar Doppler spectra peak-finding algorithm	doi.org/10.5194/amt-12-4591-2019 Atmos. Meas. Tech., 12, 4591–4617, 2019
Kalesse	Heike	T. Vogl , C. Paduraru, and E. Luke	PEAKO – A new supervised machine learning radar Doppler spectra peak-finding algorithm	ISTP Conference, Toulouse, France, 20-24 May, 2019 & IUGG Conference, Montreal, Canada, 8-18.7.2019 Poster presentations
Foth	Andreas	F. Lauer mann, H. Kalesse	Evaluation of precipitation-evaporation from supersite observations and simulations	ISTP Conference, Toulouse, France, 20-24 May, 2019
Seifert	Patric	H. Kalesse , M. Radenz, J. Bühl, T. Vogl , W. Schimmel , A. Teisseire, H. Baars, R. Engelmann, B. Barja, J. Witthuhn, F. Stratmann, A. Ansmann, F. Zamorano	DACAPO-PESO: Linking remote-sensing, in-situ observations, and modelling to enhance the understanding of aerosol-cloud-precipitation interaction	ISTP Conference, Toulouse, France, 20-24 May, 2019 & IUGG Conference, Montreal, Canada, 8-18.7.2019 Oral presentation
Teisseire	Audrey	P. Seifert, M. Radenz, T. Vogl , H. Kalesse , J. Bühl, M. Hajipour	Investigation of the susceptibility of mixed-phase cloud processes to aerosol perturbations with scanning SLDR-mode cloud radar	ISTP Conference, Toulouse, France, 20-24 May, 2019 Poster presentation
Vogl	Teresa	H. Kalesse , P. Seifert, J. Quaas , W. Schimmel , M. Radenz, J. Bühl, A. Teisseire	Precipitation formation processes in mixed-phase clouds and their relation to dust availability: Case studies from both hemispheres	ISTP Conference, Toulouse, France, 20-24 May, 2019 Poster presentation
Kalesse	Heike	E. Luke, P. Seifert, W. Schimmel	Liquid or ice? – An approach for cloud phase-partitioning in mixed-phase clouds using remote-sensing data and	IUGG Conference, Montreal, Canada, 8-18.7.2019 Poster presentation

			artificial neural networks	
Foth	Andreas	T. Kanitz, R. Engelmann, H. Baars, M. Radenz, P. Seifert, B. Barja, M. Fromm, H. Kalesse , A. Ansmann	Vertical aerosol distribution in the southern hemispheric midlatitudes as observed with lidar in Punta Arenas, Chile (53.2° S and 70.9° W), during ALPACA	Atmos. Chem. Phys., 19, 6217-6233 doi.org/10.5194/acp-19-6217-2019
Wolf	Kevin	A. Emmanouilidis, A. Ehrlich, H. Kalesse, M. Wendisch	Estimation of Cloud Droplet Number Concentration of Shallow Trade-Wind Cumulus Using Synergistic Remote Sensing Measurements	Understanding Clouds and Precipitation Conference, Berlin, Germany, 25.02-01.03.2019 Poster Presentation
Choudhury	Goutam	B. Tyagi, J. Singh, C. Sarangi, and S. N. Tripathi	Aerosol-orography-precipitation - A critical assessment	10.1016/j.atmosenv.2019.116831 Atmos. Environ., 214
Glantz	Paul	E. Freud, C. Johansson, K. Noone, and M. Tesche	Trends in MODIS and AERONET derived aerosol optical thickness over Northern Europe	10.1080/16000889.2018.1554414 Tellus, 71B
Kurgansky	Michael	T. Seelig , M. Klein, A. Will, and U. Harlander	Mean flow generation due to longitudinal librations of sidewalls of a rotating annulus	10.1080/03091929.2019.1692829 Geophys. Astrophys. Fluid Dynam.,
Marinou	Eleni	M. Tesche , A. Nenes, A. Ansmann, J. Schrod, D. Mamali, A. Tsekeri, M. Pikridas, H. Baars, R. Engelmann, K.-A. Voudouri, S. Solomos, J. Sciare, S. Groß, F. Ewald, and V. Amiridis	Retrieval of ice-nucleating particle concentrations from lidar observations and comparison with UAV in situ measurements,	10.5194/acp-19-11315-2019 Atmos. Chem. Phys., 19
Meyer	Antoine	M. Meier, M. Jongmanns, T. Seelig , C. Egbers, I. Mutabazi	Effect of the initial conditions on the growth of thermoelectric instabilities during parabolic flights	10.1007/s12217-019-09755-1 Micrograv. Sci. Techn.

Seelig	Torsten	A. Meyer, P. Gerstner, M. Meier, M. Jongmanns, M. Baumann, V. Heuveline, and C. Egbers	Dielectrophoretic force-driven convection in annular geometry under Earth's gravity	Int. J. Heat and Mass Transfer, 139, 386-398, 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.068
Shin	Sung-Kyun	M. Tesche, Y. Noh, and D. Müller	Aerosol-type classification based on AERONET version 3 inversion products	10.5194/amt-12-3789-2019 Atmos. Meas. Tech., 12, 3789-3803,
Shin	Sung-Kyun	M. Tesche, D. Müller, and Y. Noh	Technical note: Absorption aerosol optical depth components from AERONET observations of mixed dust plumes	10.5194/amt-12-607-2019 Atmos. Meas. Techn., 12, 607-618,

Mitarbeiter am LIM 2019

Name	E-Mail-Adresse
Achtert, Peggy	peggy.tesche-achtert@uni-leipzig.de
Alexandri, Fani	fani.alexandri@uni-leipzig.de
Block, Karoline	karoline.block@uni-leipzig.de
Bräuer, Peter	peter.braeuer@uni-leipzig.de
Brückner, Marlen	m.brueckner@uni-leipzig.de
Cherian, Ribu	ribu.cherian@uni-leipzig.de
Choudhury, Goutam	goutam.choudhury@uni-leipzig.de
Donth, Tobias	tobias.donth@uni-leipzig.de
Ehrlich, André	a.ehrlich@uni-leipzig.de
Emmanouilidis, Alexandros	alexandros.emmanouilidis@uni-leipzig.de
Engler, Christa	christa.engler@uni-leipzig.de
Feck-Yao, Wolfgang	feckyao@uni-leipzig.de
Foth, Andreas	andreas.foth@uni-leipzig.de
Geißler, Christoph	christoph.geissler@uni-leipzig.de
Gottschalk, Matthias	matthias.gottschalk@uni-leipzig.de
Haghighatnasab, Mahnoosh	mahnoosh.haghighatnasab@uni-leipzig.de
Hörnig, Sabine	sabine.hoernig@uni-leipzig.de
Jacobi, Christoph	jacobi@rz.uni-leipzig.de
Jäkel, Evelyn	evi.jaekel@uni-leipzig.de
Kaiser, Falk	fkaiser@rz.uni-leipzig.de
Kalesse, Heike	heike.kalesse@uni-leipzig.de
Kretzschmar, Jan	jan.kretzschmar@uni-leipzig.de
Kuchar, Ales	ales.kuchar@uni-leipzig.de
Lauermann, Felix	felix.lauermann@uni-leipzig.de
Lilienthal, Friederike	friederike.lilienthal@uni-leipzig.de
Lindemann, Simone	simone.lindemann@uni-leipzig.de
Lochmann, Moritz	moritz.lochmann@uni-leipzig.de
Lonardi, Michael	michael.lonardi@uni-leipzig.de
Mendes de Barros, Kátia	katia.mendes_de_barros@uni-leipzig.de
Metzner, Enrico	enrico.metzner@uni-leipzig.de
Mewes, Daniel	daniel.mewes@uni-leipzig.de
Mülmenstädt, Johannes	johannes.muellenstaedt@uni-leipzig.de
Quaas, Johannes	johannes.quaas@uni-leipzig.de
Raabe, Armin	raabe@uni-leipzig.de
Rehnert, Jutta	rehnert@uni-leipzig.de
Ruiz Donoso, Elena	elena.ruiz_donoso@uni-leipzig.de
Salzmann, Marc	marc.salzmann@uni-leipzig.de
Samtleben, Nadja	nadja.samtleben@uni-leipzig.de
Schäfer, Michael	michael.schaefer@uni-leipzig.de
Schandert, Katrin	schandrt@rz.uni-leipzig.de
Schimmel, Willi	willi.schimmel@uni-leipzig.de
Schmidt, Jörg	joerg.schmidt@uni-leipzig.de
Schwarz, Anja	anja.schwarz@uni-leipzig.de
Seelig, Torsten	torsten.seelig@uni-leipzig.de
Seydel, Birgit	birgit.seydel@uni-leipzig.de
Stapf, Johannes	johannes.stapf@uni-leipzig.de
Sudhakar, Dipu	dipu.sudhakar@uni-leipzig.de
Tesche, Matthias	matthias.tesche@uni-leipzig.de
Vaishnav, Rajesh Ishwardas	rajesh_ishwardas.vaishnav@uni-leipzig.de
Vogl, Teresa	teresa.vogl@uni-leipzig.de
Weiß, Frank	weisse@uni-leipzig.de
Wendisch, Manfred	m.wendisch@uni-leipzig.de
Wolf, Kevin	kevin.wolf@uni-leipzig.de

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	Meteo BSC
Datum	Semester	BSC FS1	BSC FS2	BSC FS3	BSC FS4	BSC FS5	BSC FS6	BSC FS7	BSC FS8	BSC FS9			Meteo BSC
15.10.2018	WS 18/19	48		14		9		5					76
15.10.2017	WS 17/18	37		17		7		5					66
15.10.2016	WS 16/17	48		7		5		3					63
15.10.2015	WS 15/16	35		5		9		3					52
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	0	21	0	20	0						108
15.10.2008	WS 08/09	71	0	28	0	12							111
15.10.2007	WS 07/08	98	0	15									113
13.12.2006	WS 06/07	31											31

MSC Meteorologie							
Datum	Semester	1.FS	2. FS	3.FS	4.FS	5.FS	6. FS
Datum	Semester	MSC FS1	MSC FS2	MSC FS3	MSC FS4	>MSC FS5	Meteo MSC
15.10.2018	WS18/19	5		5		9	19
15.10.2017	WS 17/18	5		9		10	24
15.10.2016	WS 16/17	9		13		17	39
15.10.2015	WS 15/16	13		19		18	50
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

Ausbildung Diplom-Meteorologie beendet

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 Diplon
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

Abschlussarbeiten Institut für Meteorologie 2019

Bachelorarbeiten 2019

Ritter, Oscar: Charakterisierung der Eigenschaften von mariner Stratocumulus-Bewölkung über den Azoren

Martin, Anna: Einfluss von Pollen auf die Vereisung von Wolken

Engelhardt, Henry: The relationship between arctic amplification and climate in mid-latitudes in an aqua-planet model

Seidel, Johanna: Abhängigkeit der arktischen Oberflächenalbedo vom Meereisanteil

Schaefer, Jonas: Systematischer Fehler im Wasserdampf-Feedback in Klimamodellen?

Kraulich, Florian: Impact of Regional Climate Engineering on Global Circulation

Gast, Benedikt: Ableitung der Schneealbedo und der Schneekorngröße aus flugzeuggetragenen Messungen in bewölkten und unbewölkten Bedingungen

Seidel, Clara: Statistische Analyse der jährlichen Verteilung von Wind und Wolken für energiemeteorologische Anwendungen an der Cloudnet-Station Lindenberg

Jäger, Eric: Die 27-Tage-Schwingung in der mittleren Atmosphäre

Masterarbeiten 2019

Schreiner, Yannik: Solar edge and long-term trend effects in the middle atmosphere

Herzog, Alina: Validierung von Wind- und Aerosolprodukten aus AEOLUS Satelliten Lidar Daten mittels bodengebundenen und schiffsgetragenen Lidarmessungen und Radiosondenaufstiegen

Becker, Sebastian: Messung der richtungsabhängigen Reflektivität (BRDF) von arktischem Meereis

Ohneiser, Kevin: Relationship between Aerosol Properties and Characteristics of Supercooled Clouds Using Lidar

Promotionen 2019

Krisna, Trismono Candra:
Airborne Passive Remote Sensing of Optical Thickness and Particle Effective Radius of Cirrus and Deep Convective Clouds

Assmann, Denise:

On the spatio-temporal distribution of aerosol particles in the upper troposphere and lowermost stratosphere

Gatzsche, Kathrin:

Investigation of gasSOA formation by parcel and 3-D modeling

Grawe, Sarah:

Coal fly ash: How sample properties and methodology influence immersion freezing results

Hallbauer, Eva:

Das hygroskopische Verhalten biogener sekundärer organischer Aerosolpartikel

Herenz, Paul:

Physical Properties of Arctic and Antarctic Aerosol Particles and Cloud Condensation Nuclei

Lilienthal, Friederike:

Analysis of the Forcing Mechanisms of the Terdiurnal Solar Tide in the Middle Atmosphere

Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig

- Band 1 *A. Raabe, G. Tetzlaff und W. Metz (Edn.), 1995: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig I*
- Band 2 *R. Devantier, 1995: Wolkenbildungsprozesse über der südwestlichen Ostsee - Anwendungen eines neuen Wolkenschemas in einem mesoskaligen Modell*
- Band 3 *J. Laubach, 1996: Charakterisierung des turbulenten Austausches von Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid über niedriger Vegetation anhand von Eddy-Korrelations-Messungen*
- Band 4 *A. Raabe und J. Heintzenberg (Edn.), 1996: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig II*
- Band 5 *Wind- und Seegangs atlas für das Gebiet um Darß und Zingst*
D. Hinneburg, A. Raabe und G. Tetzlaff, 1997: Teil I: Windatlas
- Band 6 *W. von Hoyningen-Huene und G. Tetzlaff (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 *B.-R. Beckmann, 1997: Veränderungen in der Windklimatologie und in der Häufigkeit von Sturmhochwassern an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns*
- Band 8 *P. Posse, 1997: Bestimmung klimarelevanter Parameter des maritimen Aerosols unter besonderer Berücksichtigung der Nichtkugelform realer Aerosolteilchen*
- Band 9 *A. Raabe, K. Arnold und J. Heintzenberg (Edn.), 1998: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig III*
- Band 10 *Wind- und Seegangs atlas für das Gebiet um Darß und Zingst, Teil II, 1998:*
D. Hinneburg, A. Raabe und G. Tetzlaff: Vergleich Windatlas –Beobachtungsdaten; M. Börngen, H.-J. Schönfeldt, F. Riechmann, G. Panin und G. Tetzlaff: Seegangs atlas; M. Stephan und H.-J. Schönfeldt: Sedimenttransport atlas
- Band 11 *J. Rissmann, 1998: Der Einfluss langwelliger Strahlungsprozesse auf das bodennahe Temperaturprofil*
- Band 12 *A. Raabe, K. Arnold und J. Heintzenberg (Edn.), 1999: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig IV*
- Band 13 *U. Müller, W. Kuttler und G. Tetzlaff (Edn.), 1999: Workshop Stadtklima 17. / 18. 02. 1999 in Leipzig*
- Band 14 *R. Surkow, 1999: Optimierung der Leistungsverfügbarkeit von Windenergie durch ihre Integration in Wind-Biogas-Hybridanlagen*
- Band 15 *N. Mölders, 1999: Einfache und akkumulierte Landnutzungsänderungen und ihre Auswirkungen auf Evapotranspiration, Wolken- und Niederschlagsbildung*
- Band 16 *G. Tetzlaff und U. Grünewald (Edn.), 1999: 2. Tagung des Fachausschusses Hydrometeorologie 15./16. 11. 1999 in Leipzig*
- Band 17 *A. Raabe und K. Arnold (Edn.), 2000: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig V*
- Band 18 *K. Arnold, 2000: Ein experimentelles Verfahren zur Akustischen Tomographie im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht*
- Band 19 *A. Ziemann, 2000: Eine theoretische Studie zur akustischen Tomographie in der atmosphärischen Grenzschicht*
- Band 20 *Ch. Jacobi, 2000: Midlatitude mesopause region dynamics and its coupling with lower and middle atmospheric processes*
- Band 21 *M. Klingspohn, 2000: Interdekadische Klimavariabilität über dem Nordatlantik – Statistische Analysen und Modellstudien –*
- Band 22 *A. Raabe und K. Arnold (Edn.), 2001: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VI*
- Band 23 *K. Arnold, A. Ziemann, G. Tetzlaff, V. Mellert und A. Raabe (Edn.), 2001: International Workshop Tomography and Acoustics: Recent developments and methods 06. - 07.03.2001 in Leipzig*
- Band 24 *O. Fanenbruck, 2001: Ein thermophysiologisches Bewertungsmodell mit Anwendung auf das Leipziger Stadtgebiet*
- Band 25 *M. Lange, 2001: Modellstudien zum CO₂-Anstieg und O₃-Abbau in der mittleren Atmosphäre und Einfluss des Polarwirbels auf die zonale Symmetrie des Windfeldes in der Mesopausenregion*
- Band 26 *A. Raabe und K. Arnold (Edn.), 2002: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VII*
- Band 27 *M. Simmel, 2002: Ein Modul zur spektralen Beschreibung von Wolken und Niederschlag in einem Mesoskalenmodell zur Verwendung auf Parallelrechnern*
- Band 28 *H. Siebert, 2002: Tethered-Balloon Borne Turbulence Measurements in the Cloudy Boundary Layer*
- Sonderband *G. Tetzlaff (Hrsg.), 2002:- Atmosphäre - Aktuelle Beiträge zu Luft, Ozon, Sturm, Starkregen und Klima*
- Band 29 *U. Harlander, 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
- Band 55 A. Raabe, M. Wendisch (Hrsg.), 2017: Meteorologische Arbeiten (XXII) und Jahresbericht 2016 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 56 A. Raabe, M. Wendisch (Hrsg.), 2018: Meteorologische Arbeiten (XXIII) und Jahresbericht 2017 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig

- Band 57 *A. Raabe, M. Wendisch* (Hrsg.), 2019: Meteorologische Arbeiten (XXIV) und Jahresbericht 2018 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 58 *M. Wendisch* (Hrsg.), 2020: Meteorologische Arbeiten (XXV) und Jahresbericht 2019 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig

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

Band 58 (2020):

**Meteorologische Arbeiten XXV
Jahresbericht 2019**

ISBN 978-3-9814401-8-8

**Die einzelnen Beiträge dieses Heftes wurden in einem internen Verfahren
begutachtet**

Abbildung auf Umschlag

Institutsgebäude – Leipziger Institut f. Meteorologie (LIM)

**Herausgegeben im Selbstverlag:
Institut für Meteorologie, Universität Leipzig**

**Herausgeber:
M. Wendisch**

Bestellungen richten Sie bitte an:

**Institut für Meteorologie, Universität Leipzig
Stephanstr. 3
D-04103 Leipzig**

Tel: 0341 - 9732850

Fax: 0341 - 9732899

E-Mail: birgit.seydel@uni-leipzig.de

Preis pro Band: 20,-- €

(Published online)

Correction to: Ionospheric response to the 25-26 August 2018 intense geomagnetic storm

R. Vaishnav, Ch. Jacobi

*Institute for Meteorology, Universität Leipzig, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, Germany
E-Mail: rajesh_ishwardas.vaishnav@uni-leipzig.de*

In the original article (Vaishnav and Jacobi, 2020), Figure 2 described the global IGS TEC maps were misleading due to incorrect time frames and have to be corrected. We corrected the Figure along with the caption.

A correction has also been made to the section 3.2 IGS TEC variations: 'Maximum observed TEC during the quiet time was about 30 TECU at low latitudes. The Figure shows a significant difference from the quiet day to disturbed conditions. Maximum observed TEC during the storm day was about 45 TECU.'

The conclusions of the paper are not affected by these corrections.

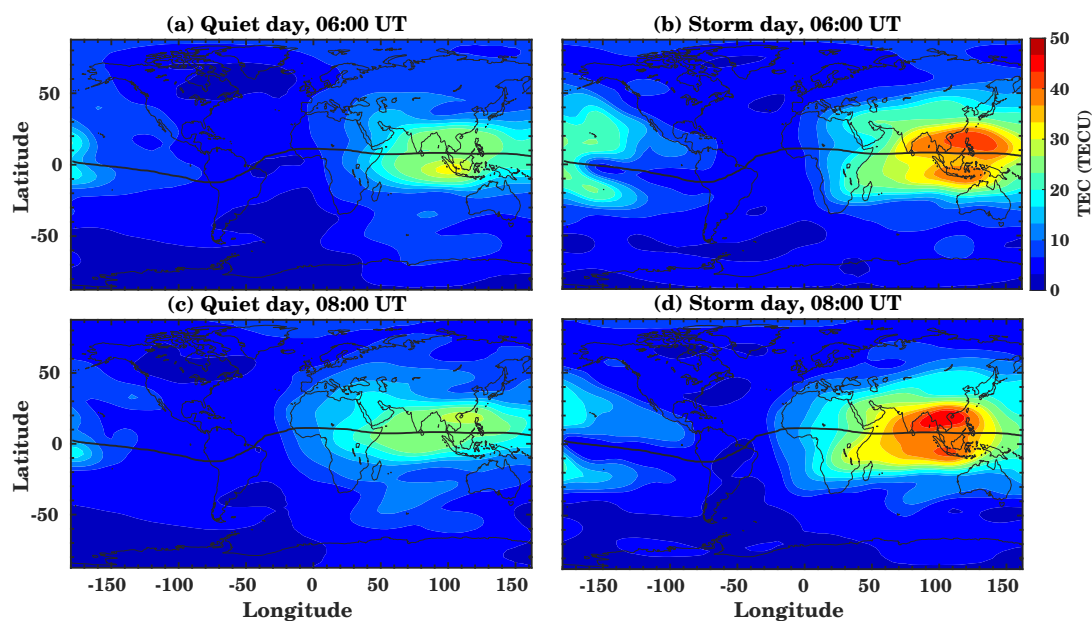


Fig. 2: Global IGS TEC maps for 06:00 UT (a,b) and 08:00 UT (c,d) on a quiet (25 August, left) and a storm day (26 August, right). The black solid line represents the geomagnetic equator.

References

Vaishnav, R. and Jacobi, C., 2020: Ionospheric response to the 25-26 August 2018 intense geomagnetic storm, In M. Wendisch (Ed.), *Meteorologische Arbeiten aus Leipzig*, 25, 1–10, Institut für Meteorologie der Universität Leipzig, Leipzig, Germany.