

## **100 Jahre sind genug - zum Sinn und Unsinn des Bjerknes'schen Fronten- und Zyklonenkonzepts**

Manfred Kurz

Germany (m.h.kurz@t-online.de)

Vor beinahe 100 Jahren präsentierten Bjerknes und Mitarbeiter die erste komplette Beschreibung der Zyklonenentwicklung über dem Nordatlantik und Westeuropa. Sie führten dazu die "Polarfront" ein als linienhafte Diskontinuität zwischen Polarluft und Tropikluft. Zyklonen entstehen, wenn sich an dieser Front Wellenstörungen bilden und instabil werden. Sie durchlaufen dann einen typischen Lebenszyklus, bei dem der Warmsektor zwischen Warm- und Kaltfront immer mehr schrumpft und sich die sogenannte Okklusionsfront bildet.

Das Konzept der Frontlinien wurde sofort von den Synoptikern übernommen und wird bis heute benutzt. Aber auch die anderen Teile der Polarfront-Theorie prägen nach wie vor das Wissen um die großräumigen Wettervorgänge, insbesondere auch in Aus- und Fortbildung an Schulen und Universitäten. Das ist sehr bedauerlich, da einige der Original-Vorstellungen von Bjerknes sich als unzutreffend oder falsch erwiesen haben. Das gilt z.B. für die Bindung der aufwärts gerichteten Vertikalbewegungen an die Bodenfronten. Im Warmsektor der Zyklonen sollte es deshalb keine Regenfälle geben, was in vielen Fällen nicht zutrifft.

Im Vortrag werden anhand von Beispielen die Defizite der Bjerknes'schen Konzepte angesprochen, und es wird gezeigt, wie mit Hilfe der nach Bjerknes entwickelten Verfahren der synoptischen Diagnose die Physik der Zyklonogenese korrekt beschrieben werden kann. Das gilt insbesondere für die Diagnostik, die auf den quasi-geostrophischen Gleichungen basiert. Es wird deshalb höchste Zeit, die uralten Bjerknes-Schemata durch diese Diagnostik zu ersetzen.

## **A numerical process study on the rapid transport of stratospheric air down to the surface over western North America and the Tibetan Plateau**

Michael Sprenger (1), Heini Wernli (1), Bojan Skerlak (1), and Stephan Pfahl (2)

(1) ETH Zurich, Atmospheric and Climate Science, Zurich, Switzerland (michael.sprenger@env.ethz.ch), (2) FU Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany (stephan.pfahl@met.fu-berlin.de)

Upper-level fronts are often associated with the rapid transport of stratospheric air along tilted isentropes to the middle or lower troposphere, there leading to significantly enhanced ozone concentrations. Only occasionally these plumes of originally stratospheric air can be observed at the surface, because (i) stable boundary layers prevent an efficient vertical transport down to the surface, and (ii) if boundary layer turbulence is strong enough to enable this transport, the originally stratospheric air mass is strongly diluted by mixing such that only a weak stratospheric signal can be recorded at the surface.

Most documented examples of stratospheric air reaching the surface are from mountaineous regions. This study investigates two such events, using a passive stratospheric air mass tracer in a mesoscale model to address the processes that enable the transport down to the surface. The events occurred in early May 2006 in the Rocky Mountains and in mid June 2006 on the Tibetan Plateau. In both cases, a tropopause fold associated with an upper-level front enables stratospheric air to enter the troposphere. In our model simulation of the North American case, the strong frontal zone reaches down to 700 hPa and leads to a fairly direct vertical transport of the stratospheric tracer along the tilted isentropes to the surface. In the Tibetan Plateau case, however, no near-surface front exists and a reservoir of high stratospheric tracer concentrations forms at 300-400 hPa, without further isentropic descent. Entrainment at the top of the very deep boundary layer (reaching to 300 hPa over the Tibetan Plateau) and turbulence within the boundary layer fosters downward transport of stratospheric air to the surface.

Interestingly, despite the strongly differing dynamical processes, stratospheric tracer concentrations at the surface reach peak values of 10-20% in both cases, indicating the potential of deep stratosphere-to-troposphere transport events to significantly influence surface ozone concentrations in these regions.

## Historische Meßreihen und ihre Qualität

Peter Winkler

Weilheim, Germany (pu\_winkler@t-online.de)

Im Kloster Fürstenfeld wurden von 1781 bis 1814 meteorologische Beobachtungen vorgenommen. Vier Beobachtungsbände konnten 2014 von der Bayerischen Staatsbibliothek als Cgm 9512 übernommen werden, wenigstens zwei Bände scheinen verloren zu sein. Da in der langen Reihe von Hohenpeißenberg die Jahrgänge 1811 und 1812 fehlen, wird mittels der Daten von Fürstenfeld ein Rekonstruktionsversuch unternommen (Stationsabstand 40 km Luftlinie). 1811 und 1812 waren sehr warm und ihre Rekonstruktion ist von besonderem Interesse. Derartige Versuche wurden wiederholt unternommen, wozu nur weiter entfernte Stationen verwendet werden konnten. Korrelationen der Tagesmitteltemperaturen beider Stationen wurden für die zwei Jahrgänge 1810 und 1813 vorgenommen. Die Temperatur in Fürstenfeld wird nachts durch eine Bodeninversion geprägt, während der Hohe Peißenberg darüber hinausragt. In winterlichen Kaltluftseen ist Hohenpeißenberg im Tagesmittel um fast 10°C wärmer als Fürstenfeld, was zu berücksichtigen war. Die Kriterien zur Erkennung von winterlichen Kaltluftseen waren: sehr niedrige Temperaturen bei nahezu Windstille und geringer Bewölkung. Dafür wurde die Temperatur von Hohenpeißenberg um 9,6°C höher als die von Fürstenfeld angesetzt. – Es gibt andere meteorologische Situationen, in denen wegen unterschiedlicher Bewölkung oder Einfluss durch Bodennebel Temperaturunterschiede entstehen, die vom Mittelwert der Korrelation abweichen. Eine taggenaue Rekonstruktion ist daher nicht möglich. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die historischen Thermometer mit einem säkularen Nullpunktsanstieg behaftet waren. Die rekonstruierte Temperatur ergab sich für 1811 zu 7,4°C (gegenüber 7,7°C aus bisherigen Versuchen) und für 1812 6,3°C (gegenüber ebenfalls 6,3°C). In der HISTALP-Datenbank sind die beiden Jahresmittel mit 8,0 bzw. 5,6°C angegeben.

Ein Vergleich historischer Dampfdruckmessungen von Hohenpeißenberg und München für die Ablesungen zur Mittagszeit bei gut durchmischter Atmosphäre ergab eine erstaunlich gute Korrelation (Luftlinienabstand 54 km). Dies zeigt, dass die 14-Uhr Messung mit den nur natürlich ventilierten Lamont-Psychrometern brauchbare Ergebnisse lieferte. Der Wasserdampfdruck charakterisiert die regionalen Eigenschaften einer Luftmasse besser als die relative Feuchte. Historische Dampfdruckmessungen sind deshalb von Interesse, da nach heutiger Erkenntnis der Wasserdampf 30% zur Gletscherschmelze beiträgt und aus historischen Daten zumindest eine grobe Abschätzung möglich wird, ob sich dieser Beitrag langfristig verändert hat.

In einer dritten Auswertung wurden Temperaturen von St. Emmeram in Regensburg und von dem nur 3,5 km entfernten Kloster Prüfening aus dem Zeitraum 1789 bis 1803 herangezogen. Die Beobachtungswerte von St. Emmeram wurden bereits von Schmöger überarbeitet, die von Prüfening liegen nur handschriftlich vor. Die Korrelation der Temperaturen beider Stationen ist gut, doch zeigt sich bei einer Aufspaltung in die Zeiträume 1789-1795 und 1796-1803 eine Verringerung der Steigung der Korrelationsgeraden: bei tiefen Temperaturen lag Prüfening im zweiten Zeitraum höher als St. Emmeram, bei hohen Temperaturen trat keine Veränderung ein. Ein säkularer Anstieg des Nullpunktes beim Prüfening Thermometer ist dafür eine naheliegende, aber keine ausreichende Erklärung, da die Steigung der Korrelation unverändert bleiben müsste. Die Ursache dafür ist noch unklar.

## Satellitengestützte Untersuchung des Trends der Globalstrahlung und der Bewölkung in Europa und über dem Ostatlantik

Hein Dieter Behr, Jörg Trentmann, Steffen Kothe, and Uwe Pfeifroth  
Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Main), Germany, CM SAF (hein-dieter.behr@t-online.de)

Die Globalstrahlung (SIS) ist ein Schlüsselparameter des Klimasystems der Erde. Daher ist es erforderlich, nach der Erfassung der Daten von SIS diese zu analysieren, um mögliche Langzeitänderungen zu erkennen und anschließend ihre Beziehung zu anderen meteorologischen Größen zu berechnen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die von EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) erzeugten satellitengestützten Datensätze hoher Qualität für die Untersuchung von Langzeittrends herangezogen. Die hier vorgestellten Ergebnisse stützen sich dabei auf Datensätze (a) der Monats- wie auch der Tagessummen der Globalstrahlung (SIS) der Jahre 1983-2015, ausgedrückt in  $\text{W/m}^2$  und (b) der Monatsmittel des Gesamtbedeckungsgrades (CFC) der Jahre 1991-2015, ausgedrückt in Prozent. Drei Gebiete mit erkanntem Langzeittrend von SIS wurden untersucht.

Die Berechnung des Langzeittrends von SIS liefert für die Gebiete (i) östliche Türkei und (ii) Schwarzes Meer eine markante Zunahme, für das Gebiet (iii) östliche Azoren dagegen eine auffällige Abnahme von SIS. Da die Größenordnung von SIS im Verlaufe des lichten Tages wesentlich von der durchquerten Bewölkung beeinflusst wird, wurde eine Korrelation/Antikorrelation zwischen SIS und CFC in den Gebieten (i) bis (iii), aufgeschlüsselt nach den einzelnen Jahreszeiten, untersucht. Die entsprechenden Ergebnisse werden vorgestellt.

Im Gebiet der *östlichen Türkei* nimmt SIS insbesondere in den Jahreszeiten DJF und MAM bis zu  $16 \text{ W/m}^2$  zu, parallel dazu verbunden mit einer Abnahme von CFC. Eine deutliche Antikorrelation  $\text{SIS} \leftrightarrow \text{CFC}$  ist in der Zeitspanne 1991-2000 erkennbar.

In dem südlich der Halbinsel Krim gelegenen zentralen Teil des Schwarzen Meeres ist eine deutliche Zunahme von SIS, hier sogar in allen vier Jahreszeiten, erkennbar. Im Frühling werden Werte von über  $20 \text{ W/m}^2$  erreicht. Parallel dazu ist ebenfalls in allen vier Jahreszeiten eine deutliche Abnahme von CFC, bis zu 8 Prozentpunkten im Frühling, erkennbar. Somit ist in der Zeitspanne 1991-2015 eine deutliche Antikorrelation von  $\text{SIS} \leftrightarrow \text{CFC}$  erkennbar.

In dem Gebiet *östliche Azoren* nimmt SIS in der Zeitspanne 1991-2000 deutlich zu, verbunden mit einer nur schwachen Abnahme von CFC. Dagegen sinkt in der Zeitspanne 2001-2015 SIS in nahezu allen Jahreszeiten, bis zu  $15 \text{ W/m}^2$  verbunden mit einer leichten Zunahme von CFC.

Je nachdem, ob die Gebiete (i) bis (iii) mehr maritim oder mehr kontinental beeinflusst sind, sind die optischen Eigenschaften der dortigen Wolken unterschiedlich. So können bei gleichem CFC, je nach Wolkeneigenschaft, unterschiedliche Langzeitänderungen von SIS erwartet werden. Die entsprechenden Ergebnisse werden vorgestellt.

Eine weitere Untersuchung von SIS, nunmehr an Hand der Tagessummen der Einzeltage der Zeitspanne 1983-2015, liefert weitere Einzelheiten dazu, wann eine Zu- bzw. Abnahme von SIS in den drei Gebieten (i) bis (iii) erkennbar ist.

## Langzeitmessungen von halogenierten Kohlenwasserstoffen am Taunus Observatorium

Fides Lefrancois, Tanja Schuck, Markus Jesswein, and Andreas Engel

Goethe Universität, Institut für Atmosphäre und Umwelt, Frankfurt, Germany (lefrancois@iau.uni-frankfurt.de)

Synthetische halogenierte Kohlenwasserstoffe (KW) haben seit Mitte des 20. Jahrhunderts die Atmosphäre maßgeblich beeinflusst. Die Substanzen der ersten Generation der halogenierten KW, die sog. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), sind für den partiellen Abbau der stratosphärischen Ozonschicht verantwortlich und tragen mit ihrem hohen Treibhausgaspotenzial (GWP) zur Klimaerwärmung bei. Das in 1989 in Kraft getretene Montreal Protokoll und dessen Erweiterungen reglementiert solche ozonzerstörenden und klimaerwärmenden halogenierte KW in ihrer Anwendung und Produktion. Eine vierte Generation dieser Substanzen, wie z.B. die ungesättigten Fluorkohlenwasserstoffe, besitzt nur noch ein sehr geringes GWP und hat kein ozonzerstörendes Potenzial. Die ungesättigten Fluor-KW bauen sich in der Umwelt allerdings zu Trifluoressigsäure ab, welche durch ihre Toxizität und ihre Persistenz die Umwelt schädigt. Die Quantifizierung der halogenierten KW stellt somit eine wichtige Aufgabe dar, um zukünftige Auswirkungen auf die Atmosphäre und die Umwelt erkennen und abschätzen zu können. Des Weiteren ist die Identifizierung noch unbekannter Substanzen durch Non-Target-Analysen von großer Bedeutung.

Seit 2013 werden am Taunus Observatorium (TO) wöchentlich gesammelte Luftproben auf halogenierte KW untersucht. Das TO befindet sich ländlich gelegen auf dem Kleinen Feldberg auf 825 m Höhe NN, 20 km nordwestlich von Frankfurt am Main, in der Nähe des dichtbesiedelten Rhein-Main-Gebietes. Somit können dort nicht nur Hintergrundmessungen für Zentraleuropa durchgeführt werden, sondern auch regionale Emissionen abgeschätzt werden. Analysiert werden die Luftproben im Labor des Instituts für Atmosphäre und Umwelt mit einem Gaschromatograph-Massenspektrometer-System (GC-MS), welches mit zwei Massenspektrometern, einem Quadrupol-MS und einem Time-of-Flight-MS (TOF), betrieben wird. Das TOF bietet dabei den Vorteil, dass es nicht nur vorausgewählte, sondern alle Massen – und somit alle, auch unbekannte, Substanzen – detektiert. Dies ermöglicht Non-Target-Analysen und die Einrichtung eines digitalen Datenarchives, welches retrospektive auf neue Substanzen untersucht werden kann. Im Frühjahr 2018 wurde am TO ein neues, höher massenaufgelöstes TOF-MS-Messsystem eingerichtet, mit dem kontinuierliche automatisierte in-situ-Luftmessungen im Zwei-Stunden-Takt durchgeführt werden. Das neue in-situ-TOF-MS erlaubt somit eine akkuratere Substanzidentifizierung und generiert eine höhere Datendichte. Dadurch werden auch geringfügige Variabilitäten einzelner Substanzen in der Atmosphäre erfasst. Zudem können die Daten mit Hilfe inverser, atmosphärischer Transportmodelle dazu benutzt werden Emissionsquellen zu identifizieren.

Hier möchten wir die Zeitreihen für ausgewählte halogenierte KW und die ersten retrospektiv analysierten Messergebnisse der vierten Generation der halogenierten KW präsentieren. Außerdem möchten wir unser neu etabliertes in-situ-TOF-MS vorstellen, welches durch seinen Standort die in Zentraleuropa kontinuierlich messenden Stationen ergänzen kann.

## **C-LAEF: Konvektionsauflösendes Ensemblesystem der ZAMG**

Clemens Wastl, Yong Wang, and Christoph Wittmann

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, VHM0D, Innsbruck, Austria (clemens.wastl@zamg.ac.at)

Numerische Wettervorhersagemodelle beinhalten trotz der sehr hohen Auflösung von mittlerweile weniger als 3km und zahlreicher neuartiger Beobachtungsdaten immer noch gewisse Unsicherheiten, die eine exakte Prognose über Tage hinweg sehr schwierig machen. Um diese Ungenauigkeiten besser abschätzen zu können, werden an den nationalen Wetterdiensten immer mehr Ensemblesysteme betrieben.

Das C-LAEF (Convection Permitting – Limited Area Ensemble Forecasting) System ist ein konvektion-sauflösendes Ensemblesystem, welches derzeit an der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) entwickelt wird. Es basiert auf dem AROME (Application of Research to Operations at Mesoscale) Modell und wird auf einem 2.5km Gitter 4mal täglich mit einem Vorhersagezeitraum von bis zu +48h gerechnet. Gekoppelt wird es mit dem Globalmodell IFS (Integrated Forecasting System) vom Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF). C-LAEF ist ein vollständiges Ensemblesystem, welches sämtliche Unsicherheiten in einem numerischen Vorhersagemodell berücksichtigt: 1.) Fehler in den Anfangsbedingungen; 2.) Fehler in den Randbedingungen; 3.) Modellfehler.

Zu (1) wird in C-LAEF eine Ensemble-Datenassimilation betrieben, in der Beobachtungsdaten in der Atmosphäre und am Boden gestört werden. Mit Hilfe einer an der ZAMG entwickelten Methode (EnsembleJK) werden außerdem die Unsicherheiten aus dem Globalmodell in der gesamten Modelldomäne innerhalb der 3D-VAR Datenassimilation verarbeitet, wodurch eine verbesserte Berücksichtigung von unterschiedlichen Störskalen im Global- und Lokalmodell gegeben ist (2). Zur Darstellung des Modellfehlers (3) werden verschiedenste Methoden der stochastischen Physik angewandt. Hierzu zählen die Störungen von Tendenzen in der Strahlungs-, Mikrophysik- und Shallow-Convection Parametrisierung, sowie das stochastische Stören von Schlüsselparametern in der Turbulenz. Durch die Kombination dieser Methoden konnte die physikalische Konsistenz in der Modellphysik erhöht (Energieerhaltung) und dadurch auch die numerische Stabilität des Modells verbessert werden.

C-LAEF befindet sich derzeit noch in der Entwicklung - erste Testläufe wurden über eine Periode von je einem Monat im Sommer und Winter durchgeführt. Die Ergebnisse sind sehr vielversprechend. Bei gleichbleibendem, bzw. leicht reduziertem Modellfehler, konnte der Ensemble-Spread sowohl am Boden, als auch in den höheren Niveaus deutlich erhöht werden. Dies schlägt sich auch in einer Verbesserung der probabilistischen Scores wie CRPS oder Brier Skill Score nieder.



## **Vorhersage von Wetter bis Klima mit Hilfe von dynamischen Kopplungen im Klimasystem**

Daniela Domeisen

ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science, Department of Environmental Systems Science, Zürich, Switzerland (daniela.domeisen@env.ethz.ch)

In den letzten Jahrzehnten wurden grosse Fortschritte bei der Wetter- und Klimavorhersage erzielt. Weiterhin besteht aber noch viel Raum für die Verbesserung von Vorhersagen, vor allem im Bereich zwischen den traditionellen Wetter- und Klimazeitskalen, im Bereich von mehreren Wochen bis mehreren Jahren. In diesem Bereich gibt es eine wachsende Zahl unterschiedlichster Anwender, welche vermehrt Wetter- und Klimavorhersagen nutzen. Es ist deshalb entscheidend, dass die Vorhersagen auf diesen Zeitskalen weiter verbessert werden. Dies geschieht unter anderem durch ein verbessertes Verständnis von dynamischen Phänomenen und Interaktionen im Erdsystem, welche auf diesen Zeitskalen agieren und die Vorhersage entscheidend verbessern können. Regionen und Phänomene mit höherer Persistenz und Vorhersagbarkeit können als sogenannte Prediktoren genutzt werden, um Vorhersagen für Regionen zu machen, welche schwieriger vorherzusagen sind, wie zum Beispiel Europa. Beispiele für solche Kopplungen sind Einflüsse aus den Tropen, der Stratosphäre, der Arktis, und aus dem Ozean. Phänomene wie El Nino Southern Oscillation, die Madden-Julian-Oszillation, Stratosphärenwärmungen, arktische Kaltluftinbrüche und Anomalien in der Ozeanoberflächentemperatur oder der Bodenfeuchte können signifikant zur Vorhersagbarkeit beitragen. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die aktuellen Kenntnisse der Prediktoren und die dadurch erzielte Verbesserung der Vorhersage über Europa und einen Ausblick in die Zukunft der Vorhersage für eine Reihe von verschiedenen Zeitskalen.

## **En-route Einsparungspotenzial von Treibstoff durch Nutzung von Echtzeit-Gewitterinformation im Cockpit**

Caroline Forster (1), Alexander Lau (2), Benjamin Lührs (3), Martin Gallagher (4), and Andreas Petzold (5)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Weßling, Germany (caroline.forster@dlr.de), (2) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Lufttransportsysteme, 21073 Hamburg, Germany, (3) Technische Universität Hamburg (TUHH), Institut für Lufttransportsysteme, Hamburg, Germany, (4) University of Manchester, Centre for Atmospheric Science, Manchester, UK, (5) Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung, 52425 Jülich, Germany

Diese Studie schätzt das en-route Einsparungspotenzial von Treibstoff für Langstreckenflüge durch die inner-tropische Konvergenzzone über dem tropischen Atlantik ab, wenn Piloten für die Flugplanung und die Anpassung ihrer aktuellen Flugroute Echtzeit-Daten des DLR Gewitternowcasting-Systems Cb-global im Cockpit zur Verfügung hätten. Zwei verschiedene Methoden der Abschätzung des Einsparungspotenzials und ihre Ergebnisse werden präsentiert und im Kontext existierender Abschätzungen diskutiert. Die erste Methode basiert auf einer Gewitterstatistik über dem tropischen Atlantik in Kombination mit den Erkenntnissen aus einem Flug über dem Südatlantik, bei dem Echtzeit Cb-global Daten erstmals zur Anpassung einer Flugroute genutzt wurden. Die zweite Methode verwendet geflogene Routen über dem Südatlantik aus der IAGOS (In-Service Aircraft for a Global Observing System) Datenbank, die signifikante Ausweichmanöver vor Gewittern aufweisen. Diese Routen werden als Referenz genutzt und auf Basis eines optimalen Steuerungsansatzes (optimal control approach) mit Hilfe des Trajektorienoptimierers TOM (Trajectory Optimization Tool) der Technischen Universität Hamburg und unter Nutzung von Cb-global Daten optimiert. Die optimierte Route wird schließlich mit der Referenz verglichen, um die mögliche Treibstoffeinsparung durch die Optimierung abzuschätzen. Obwohl die beiden Methoden unabhängig voneinander sind und auf verschiedenen Annahmen basieren, liefern sie sehr ähnliche Resultate und sind in guter Übereinstimmung mit Studien zum Einsparungspotenzial von Treibstoff durch Nutzung von Gewitterinformationen für Flüge über dem Pazifik und über den USA.

## Die geheimen Wetterkarten der Zentralen Wetterdienstgruppe im Zweiten Weltkrieg

Jörg Rapp

Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany (joerg.rapp@dwd.de)

Original-Wetterkarten aus der Zeit des Zweiten Weltkrieges sind als Sondersammlung ein wichtiger historischer Teil des Bestands der Deutschen Meteorologischen Bibliothek mit Sitz beim Deutschen Wetterdienst (DWD) in Offenbach/Main. Diese handgezeichneten Karten wurden ab 1939 von der so genannten „Zentralen Wetterdienstgruppe“ (ZWG) angefertigt und unterlagen der Geheimhaltung. Denn die Informationen dienten dem Oberkommando der Wehrmacht und der Luftwaffe für die operationelle Kriegführung.

Während des Krieges fertigte im Einflussbereich des Deutschen Reiches nur die ZWG routinemäßig synoptische Karten an und gab die Ergebnisse zur (internen) Veröffentlichung zum Beispiel an die Deutsche Seewarte in Hamburg weiter.

Die Zentrale Wetterdienstgruppe, die rund um die Uhr die Wettersituation in Europa und auf der ganzen Nordhemisphäre diagnostizierte, war mit gut einem Dutzend hochkarätiger Wissenschaftler besetzt. Darunter befanden sich Meteorologen mit so bekannten Namen wie Dr. Richard Scherhag, Dr. Horst Philipps, Dr. Hermann Flohn und zeitweise auch Prof. Dr. Ludwig Weickmann. Die ZWG zeichnete alle drei Stunden Wetterkarten per Hand und entwickelte daraus Wetterprognosen für die zahlreichen Kampfgebiete, die natürlich der Geheimhaltung unterlagen. Täglich gab es in Wildpark bei Potsdam morgendliche Lagebesprechungen mit dem Generalstab der Luftwaffe.

Von allen damals angefertigten Wetterkarten der ZWG existieren beim DWD noch schätzungsweise 30 bis 50 Prozent. Das historische Material umfasst etliche laufende Meter, häufig im Format DIN A 1. Die Mappen enthalten neben Boden- und Höhenwetterkarten auch Zirkumpolarkarten und sogenannte taktische Wetterkarten, die die Informationen mit spezieller Symbolik für den Gebrauch in der Luftwaffe aufbereiteten, sowie Karten des Erdbodenzustandes. Das einmalige Kartenmaterial wird durch die Originale der handkolorierten Wolkenbilder von allen Wettererkundungsflügen, die täglich zwischen Nordsee und Schottland bzw. Nordostatlantik unternommen wurden, ergänzt.

### Referenzen:

RAPP, J., 2016: Deutsche Meteorologische Bibliothek - Die geheimen Wetterkarten der Zentralen Wetterdienstgruppe 1939–1945. Militärgeschichte - Zeitschrift für historische Bildung, Ausgabe 1/2016, Seite 28.

RAPP, J., 2015: Die geheimen Wetterkarten der Zentralen Wetterdienstgruppe 1939-1945

- eine historisch einmalige Sammlung aus dem Zweiten Weltkrieg. Beiträge des Deutschen Wetterdienstes zur Berliner Wetterkarte, 05/15, SO 02/15, 7 Seiten.

## **Gustav Hellmann – unermüdlicher Meteorologe, Klimatologie, Bibliograph und Historiker**

Joachim Pelkowski (1) and Jörg Rapp (2)

(1) Ober Mörten, Germany (jo-ellen.pelkowski@t-online.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Offenbach/Main, Germany (Joerg.Rapp@dwd.de)

Gustav Hellmann (1854-1939) hat sich große Verdienste als Meteorologe, Klimatologe, Bibliograph und Historiker der Meteorologie erworben. Seine Bedeutung beschränkt sich nicht auf fachwissenschaftliche Leistungen, sie geht weit darüber hinaus. Die Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verdankt ihm etwa seine umfangreiche und großartige Sammlung an älteren Büchern. Angesichts der Tatsache, dass eine so bedeutende Persönlichkeit für die Geschichte der Meteorologie und des Wetterdienstes in Deutschland noch keine eingehende und umfassende Würdigung erfahren hat, ist das Interesse seitens des DWD an einer Werkbiographie als überaus notwendig anzusehen.

Hellmann war von 1882 bis 1885 Interimsleiter des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts in Berlin. 1886 wurde er nebenamtlich Professor an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin und leitete die Abteilung Klimatologie des Preußischen Meteorologischen Instituts, dessen Direktor er schließlich von 1907 bis 1922 war. Von 1892 bis 1907 gab er zusammen mit Julius von Hann die Meteorologischen Zeitschrift heraus.

Als Meteorologe hat er kritische Beiträge zur Begriffsbestimmung, Beobachtung und Messung der meteorologischen Elemente veröffentlicht, namentlich des Niederschlages. Er hat zur Verbesserung von Messgeräten beigetragen oder gar welche selbst entwickelt. Als Klimatologe hat er seinerzeit stark beachtete Werke von unübertroffener Gründlichkeit publiziert. Genauigkeit in der Beobachtung oder Messung sowie Vollständigkeit des empirischen Materials und dessen kritische Bearbeitung waren zeitlebens seine wissenschaftlichen Ziele. Darüber hinaus suchte er Gesetzmäßigkeiten aus dem gewonnenen empirischen Material abzuleiten. Ob er in dieser Hinsicht sich bleibende Verdienste erwarb, ist eine Frage, die zu beantworten eines der Ziele der Werkbiographie sein soll.

In diesem Projekt wird der Versuch unternommen, Hellmanns Arbeiten zur Geschichte der Meteorologie zu bündeln und in einer organischen Zusammenschau darzustellen. Damit soll insbesondere Hellmanns einzigartige Leistung auf dem Gebiet der meteorologischen Geschichtsschreibung gewürdigt werden, die durch die Darstellung seiner Gesamtleistung in methodisch-philosophischer Hinsicht abgerundet werden wird.

Der Vortrag wird die wesentlichen bisherigen Ergebnisse des Projektes darstellen.



## **HYMID – Hydrometeorklassifikation in den Alpen**

Lukas Tüchler (1), Vera Meyer (1), and Rudolf Kaltenböck (2)

(1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Wien, Österreich, (2) Austro Control GmbH (ACG), Innsbruck, Österreich

Nach der Aufrüstung des österreichischen C-Band Radarnetzwerkes auf dual-pol Technologie hat sich nun das Projekt HYMID zum Ziel gemacht eine Hydrometeorklassifikation zu entwickeln, die mit Hilfe der Zusatzinformation aus der dual-polaren Messung den vornehmlichen Niederschlagstyp innerhalb eines Messvolumens bestimmt. Besondere Schwerpunkte liegen auf der Erkennung von Hagel mit einer Abschätzung der Hagelkorngrößen und einer Abschätzung des zu erwartenden Niederschlagstyps auf Bodenniveau.

Voraussetzung für eine stabile Hydrometeorklassifikation sind eine sorgfältige Qualitätskontrolle und eine ausgereifte Vorprozessierung, die speziell auf die Eigenheiten der aktuellen Hard- und Software zugeschnitten sind. Eine besondere Herausforderung stellt die österreichische Topographie dar. Zwei der vier österreichischen Radare sind auf Berggipfeln in einer Höhe von über 2000 m gelegen. Für eine Abschätzung des Niederschlagstyps am Boden sollen NWP Daten herangezogen werden. Eine weitere Herausforderung bildet das Zusammentragen geeigneter Referenzwerte für die unterschiedlichen Hydrometeorarten am Boden und in der Höhe, insbesondere für Hagel. Stationsdaten, Beobachtungen des Trusted Spotter Networks und von Hagelfliegern sowie Versicherungsdaten werden als Datensätze zum Kalibrieren und Verifizieren herangezogen.

Kern der Präsentation bilden die ausgewählten Hydrometeorklassifikationen mit unterschiedlichen Fuzzy Logic Ansätzen. Des Weiteren werden die für die Anwendung zugeschnittene Vorprozessierung sowie die Konzepte zur vertikalen Projektion der Hydrometeore und zur Verifikation anhand von Fallbeispielen vorgestellt und diskutiert.

HYMID ist ein dreijähriges FFG Projekt unterstützt vom österreichischen Radarnetzbetreiber Austro Control GmbH, der Österreichischen Hagelversicherung und der Oberösterreichischen Versicherung.



## **Gewitter in Deutschland und die öffentliche Wahrnehmung des Risikos**

Nadine Fleischhut (1,2) and Kathrin Wapler (3)

(1) Max-Planck-Institute for Human Development, Germany, (2) Hans-Ertel-Zentrum fuer Wetterforschung, Berlin, Germany, (3) Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany (kathrin.wapler@dwd.de)

Thunderstorms pose a significant risk for life, property and economy. Detailed knowledge of their characteristics and when they occur is thus essential for the public to anticipate risks and respond appropriately.

We present a multi-year analysis (using measurements from the German weather radar network and a lightning location system) of thunderstorm occurrence and characteristics, and contrast it with the perception of thunderstorms by the German public tested in a representative study.

Thunderstorms occur most often in the pre-alpine region of southern Germany; further local maxima exist in low mountain ranges. Despite a high year-to-year variability of thunderstorm activity, on average a clear annual cycle (maximum June to August) and diurnal cycle (maximum in the afternoon) is present. The annual cycle of lightning is varying geographically, e.g. offshore and coastal regions show lower amplitude of the annual cycle and a later maximum (autumn) compared to inland (mountainous) regions. The average annual lightning rate is between 0.5 and 20 per km<sup>2</sup>.

While stationary cells might lead to excessive rain on small spatial scales, supercells (convective storms with a rotating updraft, which often produce hail or even tornados) tend to propagate faster than ordinary thunderstorms. Thus, people may be caught by surprise if they underestimate the speed of thunderstorms or the time a presumable “harmless” cumulus cloud needs to evolve into a deep convective thunderstorm. Although almost 80% of the study respondents were aware that thunderstorms can travel and evolve fast, about 50% were unaware that lightning can strike even 10 km away from the storm. Moreover, about 40% overestimated the distance to a thunderstorm based on the gap between lightning and thunder, and may not seek shelter in time in critical situations.

## **Eine Analyse des Blockierungszustandes auf der Nordhemisphäre auf Basis einer Energie-Wirbel Beziehung**

Rene Sauerbrei, Annette Müller, and Peter Névir  
Institut für Meteorologie, FU Berlin, Germany (rene123@zedat.fu-berlin.de)

Blockierungswetterlagen sind ein noch nicht vollständig verstandenes Problem der täglichen Wettervorhersage. Die Blockierungen manifestieren sich als wirbeldominierte Anomalie der Westwindzirkulation. In dieser Arbeit erfolgt eine Analyse von Blockierungen auf der Nordhemisphäre im Rahmen der quasigeostrophischen Theorie. Ausgehend von einer Arbeit von N. Butchart et al. (1989) wird mit Hilfe eines Scatterplots der Zusammenhang zwischen der potentiellen Vorticity und dem Geopotential an Hand von Fallbeispielen untersucht. In einem Scatterplot wird für jeden Gitterpunkt einer ausgewählten geographischen Region das Geopotential gegen die potentielle Vorticity aufgetragen. Mit Hilfe von Regressionsgeraden wird der Zusammenhang beider Größen innerhalb und außerhalb des Blockingbereiches verglichen. Dabei zeigt sich eine charakteristische Signatur in Form des Anstieges der Geraden im blockierten Bereich, die sich deutlich vom Anstieg der Geraden im nicht blockierten Bereich unterscheidet. Die aus der Methode erhaltenen Ergebnisse werden mit der Strömungsstruktur auf der synoptischen Skala in Beziehung gesetzt. Dabei wird die gesamte Nordhemisphäre betrachtet und ein Maß für den Blockierungszustandes der Westwindzirkulation abgeleitet. Des Weiteren erfolgt eine Analyse der Energie-Wirbel Beziehung für verschiedene Zeiträume mit einem besonderen Augenmerk auf das Jahr 2018.

### Literatur:

Butchart, N., Haines, K., & Marshall, J. C. (1989). A theoretical and diagnostic study of solitary waves and atmospheric blocking. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(13), 2063-2078

## Rekonstruktionen der Sturmflut 12./13. März 1906

Elke M. I. Meyer (1), Thomas Möller (2), Birger Tinz (2), Robert Scholz (3), Ralf Weisse (1), and Iris Grabemann (1)

(1) Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH, Institute of Coastal Research, Geesthacht, Germany (elke.meyer@hzg.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Hamburg, (3) Deutscher Wetterdienst, Leipzig

In der Nacht zum 13. März 1906 ereignete sich eine sehr schwere Sturmflut in der Deutschen Bucht, wobei besonders die Ostfriesische Küste betroffen war. Das gleichzeitige Auftreten einer hohen Springtide und eines hohen Windstaus führte zu extrem hohen Wasserständen an der Küste, die bis heute zu den höchsten zählen. Mit globalen Reanalysen, die von dem Twentieth Century Reanalysis Projekt (1851-heute) bzw. von dem ERA-Clim Projekt (1900 bis heute) zur Verfügung gestellt werden, besteht die Möglichkeit, diesen Sturm mit einem hydrodynamischen Modell zu simulieren.

Für die Simulation von Wasserstand und Strömung wird das Modell TRIM-NP verwendet, an dessen seitlichen Rändern die astronomischen Tiden aus dem Tidenmodell FES2004 eingehen. Das Modell wird mit den Ensemble-Wetterdaten aus den Reanalyseprodukten angetrieben und berechnet die daraus resultierenden Wasserstände mit einer räumlichen Auflösung von 1,6km in der Deutschen Bucht mit stündlicher Ausgabe.

Zum Antrieb von TRIM-NP wurden aus der täglichen Wetterkarte der Deutschen Seewarte Hamburg für den Zeitraum von zwei Wochen vor der Sturmflut die gemessenen Luftdruckdaten des Morgen- und Abendtermins digitalisiert und daraus Isobarenkarten gezeichnet. Die händisch erzeugten Luftdruckfelder wurden nachträglich mit den Luftdruckdaten der Reanalysen verglichen, die entsprechenden Wasserstandssimulationen werden ebenfalls mit den beobachteten Wasserständen verglichen und die Eignung der insgesamt drei Luftdruckdatensätze wird diskutiert.



## **MET4LOWW - MET-Potenziale für das Arrival und Departure Management**

Markus Kerschbaum (1), Martin Steinheimer (1), Christian Kern (1), Carlos Gonzaga-Lopez (1), Johannes Sachsperger (2), Lukas Strauss (2), Carl-Herbert Rokitansky (3), and Kurt Eschbacher (3)

(1) Austro Control GmbH, (2) MeteoServe GmbH, (3) Universität Salzburg

Wind und widrige/extreme Wetterbedingungen stellen nach wie vor signifikante Einflussfaktoren im Flugsicherungssystem dar. Unterschiedliche und teils kontrastierende Kenngrößen wie Safety, Capacity, Cost-Effectiveness und Environment müssen dabei berücksichtigt und optimiert werden. Das komplexe ATM-System verarbeitet derzeit überwiegend deterministische Informationen, während die mit Unsicherheiten behafteten meteorologischen (MET) Informationen sinnvollerweise probabilistisch verwendet werden sollten. Ziel des Projekts MET4LOWW ist die Potentiale dieser beiden gegensätzlichen Ansätze zu untersuchen und zu einer ganzheitlichen ATM / MET-Methodik im An- und Abflug Management zu kombinieren.

Die grundlegenden Arrival-/Departure-Manager Konzepte (AMAN/DMAN), wie die Berechnung von Überflugzeiten über bestimmten Wegpunkten, werden verwendet, um den Einfluss von Wetter auf An- und Abflugverfahren strukturiert zu untersuchen. Das umfasst sowohl das Umfliegen von Gewitterzellen, aber auch Staffelung und Sequenzierung im Endanflug. Für quantitative Bewertungen werden ATM Key Performance Indikatoren (KPI) herangezogen, zusätzlich werden die ATM/MET-Verfahren auch über Real-Time-Simulationen bewertet. Aus diesen Aussagen lassen sich dann die Verfahren optimieren. Dafür werden die für Wien Schwechat offiziell veröffentlichten Verfahren, sowie Windfelder und Wetterobjekte in den ATM / ATC Simulator der Universität Salzburg NAVSIM integriert. Wichtige Aufgaben dabei sind realistische Ausweichalgorithmen um Wetterobjekte (z.B. Gewitter) und die genaue Simulation des Windeinflusses auf die Flugzeugstaffelung im Endanflug. Zusätzlich werden noch Performance Indikatoren basierend auf diesen Simulationsergebnissen implementiert.

Die Projektergebnisse bilden notwendige Voraussetzungen für die weitere Planung und Implementierung von neuen Verfahren (z.B. Time-Based Separation) und optimierten Wetterinformationen in das ATM-System.

## **Analyse und Vorhersage des Lebenszyklus' von Gewittern mit heterogenen, hochauflösenden Datenquellen**

Isabella Zöbisch (1), Caroline Forster (1), Tobias Zinner (2), and Kathrin Wapler (3)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, (2) Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), Meteorologisches Institut, (3) Deutscher Wetterdienst (DWD)

In dieser Studie wird die Entwicklung und erste Ergebnisse eines neuen Modells zur Analyse und Vorhersage des Lebenszyklus von Gewittern vorgestellt, mit dem Ziel, die Beschreibung des Lebenszyklus von Gewittern zu verbessern. Im Gegensatz zu bisherigen Verfahren zur Beschreibung des Lebenszyklus werden hier zum einen eine Vielzahl an heterogenen, hochauflösenden Datenquellen verwendet und zum anderen der Fokus auf alle Lebensphasen eines Gewitters, insbesondere auf die Wachstums und Zerfallsphase, gelegt.

Als Basis dienen Gewitterzellen und deren Nowcasting bis zu einer Stunde aus dem DLR Verfahren Cb-TRAM in den Zeiträumen Juni 2016, Mai, Juni, Juli 2017. Für diese wurden zunächst die Verläufe von ausgewählten Parametern aus einem breiten Spektrum an hochauflösenden Satelliten-, Radar-, Modell- und Blitzdaten untersucht. Um Unterschiede im Lebenszyklus in Bezug auf die Lebensdauer erkennen zu können, wurden die Gewitterzellen nach ihrer Lebensdauer sortiert. Die Analysen umfassen Gewitterzellen mit einer Lebensdauer von 15 bis 135 Minuten. Für jeden Parameter aus den verschiedenen Datenquellen und für jede Lebensdauer wurde das Mittel, der Median und die 90, 75, 25 und 10 Perzentile erstellt. Dadurch konnte die Variabilität - auch innerhalb einer Lebenszyklusphase - der einzelnen Parameter sichtbar gemacht werden.

Zusätzlich wurden Korrelationsanalysen für alle Parameter erstellt, um festzustellen, welche der betrachteten Parameter miteinander korreliert sind. Auf diese Weise konnten Parameter, die keine Mehrinformation liefern, aussortiert werden. Die Erkenntnisse aus den Analysen der verschiedenen Parameter wurden schließlich als Basis für das Lebenszyklusmodell verwendet. Dazu wurden die verschiedenen relevanten Parameter mittels der Methode der Fuzzy Logik miteinander kombiniert. Das Lebenszyklusmodell berechnet das aktuelle Stadium der Zelle, die noch verbleibende Lebensdauer und die maximale Intensität jedes einzelnen Gewitters. Es wird erwartet, dass dieses neue Lebenszyklusmodell das Gewitternowcasting erheblich verbessert.

## Die Beobachtung von Saharastaubereignissen mittels bodengestützter Fernerkundung und in-situ Messungen

Werner Thomas, Ina Mattis, Harald Flentje, and Gerhard Müller

Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Hohenpeißenberg, Germany  
(werner.thomas@dwd.de)

Über die Hälfte des globalen troposphärischen Aerosols und etwa 35% der primär emittierten Partikelmasse besteht aus Mineralstaubpartikeln, von denen etwa die Hälfte aus der Sahara und der Rest aus anderen Wüstenregionen der Erde stammt. Mineralstaub beeinflusst das Erd-Atmosphäre System durch Streuung und teilweise Absorption der in der Atmosphäre ankommenden Solarstrahlung. Die Mobilisierung von Staub in die Atmosphäre hängt von der Korngrößenverteilung an der Oberfläche, der Rauigkeit der Oberfläche und auch der Feuchtigkeit des Bodenmaterials ab. Oberflächennahe Turbulenz und Wind tragen die Partikel in größere Höhen und unter dem Einfluss mesoskaliger Systeme können sie über weite Entfernungen von mehreren tausend km transportiert werden.

Der Deutsche Wetterdienst betreibt ein Ceilometermessnetz mit mehr als 140 Instrumenten (Stand Oktober 2018) des Typs Lufft CHM15K sowie mehrere Lidarsysteme, die zur Fernerkundung von Aerosolen verwendet werden können (Wiegner et al., 2014). Aus den Rückstreusignalen der Lidarinstrumente und der kalibrierten Ceilometer lässt sich der abgeschwächte Rückstreukoeffizient der Aerosolpartikel im Vertikalprofil berechnen, wobei der unterste Messpunkt ca. 200 m über dem Standort des Messgeräts liegt. Staub in tieferen atmosphärischen Schichten wird mit diesen Messungen nicht erkannt. Die Ergebnisse werden auf der ceilomap-Webseite des DWD ([www.dwd.de/ceilomap](http://www.dwd.de/ceilomap)) in naher Echtzeit bildhaft zur Verfügung gestellt. Die Ceilometerdaten wurden für den Zeitraum 2014 bis 2018 analysiert und mit Zusatzdaten aus Satelliten, Sonnenphotometern, Lidarbeobachtungen und Trajektorien wurde eine fünf Jahre umfassende Klimatologie des Auftretens von Saharastaub über Deutschland erstellt.

Parallel dazu werden am Observatorium Hohenpeißenberg bereits seit 1995 Filtermessungen vorgenommen und die chemische Zusammensetzung wasserlöslicher Aerosole bestimmt. Weitere in-situ Messungen umfassen die Anzahlkonzentration, die Partikelmasse, die Größenverteilung der Partikel sowie optische Größen (Streuung, Absorption). Diese Messungen erlauben die Identifizierung von Saharastaubereignissen, welche die bodennahe Schicht am Standort Hohenpeißenberg erreichen (Flentje et al., 2015). Die so verfügbare Klimatologie reicht bis zum Jahr 1997 zurück.

Im Rahmen des Beitrags werden die Ergebnisse beider Messmethoden vorgestellt und für den Zeitraum paralleler Messungen miteinander verglichen.

Flentje, H. et al. (2015) *Atm. Env.*, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.02.023.

Wiegner, M. et al. (2014) *Atmos. Meas. Tech.* 7, 1979–2014, doi:10.5194/amt-7-1979-2014.

## Über 50 Jahre Messungen des Ozon- und Temperaturprofils am Hohenpeißenberg

Wolfgang Steinbrecht, Ulf Köhler, and Fritz Schönenborn

Deutscher Wetterdienst, Met. Obs. Hohenpeissenberg, Hohenpeissenberg, Germany (wolfgang.steinbrecht@dwd.de)

Seit Ende der 1960er Jahre werden am Hohenpeißenberg regelmäßige Messungen der Gesamtozonsäule, des troposphärischen und stratosphärischen Ozonprofils und des Temperaturprofils durchgeführt. Diese langen Messreihen dokumentieren zum einen die natürliche Variabilität. Zum anderen zeigen sie menschengemachte deutliche Veränderungen: Ozonabnahme in der Stratosphäre um rund 10% von Ende der 1960er Jahre bis Mitte der 1990er Jahre. Dieser weltweit beobachtete Rückgang wurde verursacht durch ozonzerstörendes Chlor und Brom aus Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKWs) und Halonen. Dank des internationalen Montrealer Protokolls von 1987 (und seiner nachfolgenden Verschärfungen) gehen seit Ende der 1990er Jahre diese ozonzerstörenden Substanzen langsam in der Atmosphäre zurück. Der Rückgang ist allerdings rund 3-mal langsamer als ihre frühere Zunahme. Zudem scheint China in den letzten Jahren gegen das FCKW Verbot zu verstoßen. Dennoch hat das Ozon weltweit und am Hohenpeißenberg positiv reagiert und zeigt seit der Jahrtausendwende erste Erholungstendenzen. Weitgehende Erholung wird aber erst in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts erwartet. Weitere große Veränderungen sind eine beobachtete Erwärmung der Troposphäre (am Hohenpeißenberg um ca. 2° C seit Ende der 1960er Jahre) und eine Abkühlung der Stratosphäre, vor allem weltweit. Diese Temperaturänderungen hängen mit zunehmendem  $CO_2$  Gehalt der Atmosphäre zusammen. Dadurch wird mehr Wärmestrahlung in der Troposphäre zurückgehalten, die Stratosphäre wird weniger geheizt. Zusätzlich kann zunehmendes  $CO_2$  in der Stratosphäre mehr Energie ins Weltall abstrahlen. Beide Faktoren, zusammen mit Ozonveränderungen, führen sehr direkt zu Abkühlung der Stratosphäre. Im Beitrag diskutieren wir die Ergebnisse der Hohenpeißenberger Langzeitmessungen und stellen sie in den weltweiten Zusammenhang.



## **Temperaturbeobachtung in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre mit Radiookkultationen**

Torsten Schmidt, Christina Arras, and Jens Wickert

GeoForschungsZentrum Potsdam, Department 1, Potsdam, Germany (tschmidt@gfz-potsdam.de)

In der letzten Dekade hat sich die satellitengestützte GPS-Radiookkultationstechnik als Verfahren zur Atmosphärensondierung etabliert. Das Verfahren nutzt GPS-Signale und in Zukunft weitere Signale anderer Navigationssysteme (z.B. Galileo), die an Bord niedrig fliegender Satelliten empfangen werden, zur Limb-Sondierung der Atmosphäre. Damit ist eine präzise Vertikalsondierung der Erdatmosphäre im globalen Maßstab möglich: Refraktivitäts- und Temperaturprofile in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre mit hoher vertikaler Auflösung können abgeleitet werden. Das Verfahren ist langzeitstabil, unabhängig von Wolken und Niederschlag und somit hervorragend geeignet die Temperaturstruktur in diesem wichtigen atmosphärischen Höhenbereich zwischen 5 km und 40 km zu beobachten. In diesem Beitrag wird ein Überblick über die Radiookkultationstechnik und die Datenqualität der abgeleiteten Temperaturprofile gegeben. Vergleiche mit ECMWF- und Radiosondendaten werden präsentiert und Unterschiede in verschiedenen geografischen Regionen und Höhenbereichen werden erläutert. Basierend auf dem Datensatz von 2001 bis 2017 werden Anwendungsbeispiele vorgestellt, die das enorme Potential dieser innovativen Daten für Wettervorhersage und Klimaforschung demonstrieren: Die Variabilität verschiedener Tropopausenparameter wird diskutiert. Es wird, z.B. ein globaler Anstieg der Tropopausenhöhe beobachtet, der mit einer Erwärmung der oberen Troposphäre und einer Abkühlung der unteren Stratosphäre gekoppelt ist. Weiterhin wird an exemplarischen Beispielen gezeigt, wie Radiookkultationsdaten zur Analyse von Schwerewellen in der unteren Stratosphäre genutzt werden können. Abschliessend werden aktuelle und zukünftige Radiookkultationsmissionen vorgestellt.

## **Einzelzellen und Superzellen: mehr-jährige Analyse kombinierter Datensätze, konvektive Lebenszyklen und deren Verwendung zur Verbesserung von Nowcasting-Verfahren**

Kathrin Wapler

Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany (kathrin.wapler@dwd.de)

Durch hochreichende Konvektion ausgelöste Unwettererscheinungen stellen eine erhebliche Gefährdung für Leben, Eigentum und Wirtschaft dar. Daher ist die Bereitstellung von genauen und rechtzeitigen Nowcastinginformationen, d.h. durch den nationalen Wetterdienst herausgegebener Warnungen, für die Bevölkerung sowie für spezielle Nutzer unbedingt notwendig. Die Analyse einer großen Menge vergangener Fälle unterstützt eine bessere Vorhersage von zukünftigen Ereignissen. Lange Datensätze sind essentiell um ein breites Spektrum möglicher konvektiver Entwicklungen abzudecken.

Zur umfangreichen Beschreibung von konvektiven Systemen ist die Berücksichtigung verschiedener Datenquellen erforderlich. Dazu wurden auf Radarreflektivitäten basierende Objekteigenschaften mit Rotationscharakteristika und Blitzaktivität kombiniert. Ergebnisse einer mehr-jährigen Statistik von konvektiven Zellen ohne und mit Mesocyclone (rotierender Aufwindbereich einer Superzelle) werden präsentiert.

Es wurde eine 11-jährige Statistik von konvektiven Zellen (detektiert und verfolgt in 2D-Radarreflektivitätsmessungen und verknüpft mit Messungen von Wolken- und Bodenblitzen) erstellt; für einen fünf-Jahres-Zeitraum auch in Kombination mit Mesocyclonen (detektiert in 3D-Radarradialwinddaten). Diese zehntausende von Zellen wurden nach ihrer Lebensdauer sortiert und der zeitliche Verlauf diverser Zelleigenschaften für verschieden langlebige Zellen analysiert. Daraus lassen sich typische Zellentwicklungen ableiten.

Die Analysen zeigten u.a. die unterschiedliche Entwicklung von rotierenden und nicht-rotierenden Zellen. So wurde durch den umfangreichen Datensatz bestätigt, dass konvektive Zellen mit Mesocyclone (Superzellen) langlebiger sind als nicht rotierende Zellen. Außerdem zeigten die Untersuchungen u.a. die Bedeutung von Blitzdaten zur Bestimmung der Gewitter-Intensität. Daher sollte die Blitzdichte/-rate sowie deren zeitliche Entwicklung verstärkt in Nowcasting-Verfahren Verwendung.

Ergebnisse der Lebenszyklus-Analysen und der Analyse der Lebensdauer in Abhängigkeit der Zelleigenschaften können als Input-Parameter in Nowcasting-Verfahren für die probabilistische Vorhersage der Lebensdauer und der weiteren konvektiven Entwicklung (Verstärkung/Abschwächung) eingehen. Der zeitliche Verlauf des Median einer Zelleigenschaft sowie die Schwankungsbreite können zum Aufspannen des Ensembles verwendet werden.

Der Deutsche Wetterdienst entwickelt derzeit seine Nowcasting-Verfahren weiter, u.a. um in der Zukunft auch probabilistische Informationen für den Nowcasting-Vorhersagehorizont bereit zu stellen. In einem ersten Schritt konnten bereits die aus der Analyse historischer Daten abgeleiteten mittleren Lebenszyklen reflektivitäts-basierter Objekt-Eigenschaften verwendet werden, um ein Nowcasting-Ensemble konvektiver Objekte zu erzeugen, welches die weitere Entwicklung der Objekte sowie deren zu erwartende Lebensdauer ausgibt.

Für weiterführende Untersuchungen standen für drei Jahre auch Reanalysen eines regionalen numerischen Wettervorhersagemodells zur Verfügung anhand derer sich die Umgebungsbedingungen, z.B. Labilität oder Scherung, ableiten lassen. So konnte z.B. die Faustformel nach welcher sich konvektive Zellen häufig mit dem Wind in 700hPa verlagern überprüft werden, oder der Zusammenhang zwischen vorherrschender Windscherung und der Stärke der Mesocyclone untersucht werden. Die Kenntnis der Eigenschaften konvektiver Systeme in Anhängigkeit der Umgebungsbedingungen erlaubt es, in Zukunft die zu erwartenden konvektiven Entwicklungen besser und frühzeitiger einschätzen zu können, in dem gemessene oder von Modellen prognostizierte vorherrschende atmosphärische Bedingungen berücksichtigt werden.



## **Bestimmung und Bedeutung der Upper-Tropospheric Humidity (UTH)**

Klaus Gierens (1) and Kostas Eleftheratos (2)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen, Institut für Physik der Atmosphäre, Wessling, Germany (klaus.gierens@dlr.de), (2) Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

Wasserdampf in der oberen Troposphäre trägt wesentlich zum natürlichen Treibhauseffekt bei und ist essentiell für die Bildung von Zirren und Kondensstreifen. Die Bestimmung von Feuchtetrends im Rahmen des Klimawandels ist daher für die obere Troposphäre von erheblichem Interesse. Zu diesem Zweck stehen seit 1979 Daten des High Resolution Infrared Sounders (HIRS) zur Verfügung. Ein Wechsel der Frequenz im Wasserdampfkanal von HIRS 2 zu HIRS 3 führte leider in bisherigen Retrievals zu einem Sprung in der Häufigkeit von hohen bis sehr hohen Feuchtwerten. Wir haben ein neues Retrievalverfahren abgeleitet, welches dieses Problem behebt und zu glatten Zeitreihen führt. Erste Anwendungen des neuen Verfahrens deuten auf eine Zunahme der Feuchte in der oberen Troposphäre der nördlichen mittleren Breiten hin.

Weiterhin diskutieren wir die Bedeutung der UTH (upper-tropospheric humidity) als physikalischer Größe. Wir zeigen, dass UTH nicht nur von der Konzentration emittierender und absorbierender Wassermoleküle abhängt, sondern auch von den vereinfachenden Annahmen, die für die Lösung dieses unterbestimmten Problems gemacht werden. UTH ist daher als Maß der ober-troposphärischen Feuchte nicht eindeutig. Um eine drohende Beliebigkeit dieses Maßes abzuwenden, werden deshalb einige Nützlichkeits- und Konsistenz-forderungen erhoben, die das Retrieval erfüllen sollte. Fernerhin erlaubt die neue Methode, für jeden abgeleiteten Wert der UTH eine Strahlungsgewichtsfunktion zu bestimmen, deren Lage (Mode) und Breite von dem aktuellen UTH-Wert abhängt. Damit wird die Verwendung einer generischen Gewichtsfunktion, deren Form nicht von aktuellen Messungen abhängt, unnötig.



## **Nachweis von Klimaänderungssignalen in der freien Troposphäre über Deutschland**

Anna-Marie Jörss and Andreas Hense

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Germany  
(ahense@uni-bonn.de)

Zur Erkennung und Einordnung von Klimaänderungssignalen wird ein Bayesischer Ansatz auf homogenisierte Beobachtungsdaten aus Radiosondenaufstiegen und Simulationsdaten aus dem CMIP5 Archiv angewendet. Zu untersuchende Variable ist die Lufttemperatur, deren dreidimensionale Verteilung als Monatsmittel vorliegt.

Der Modelldatensatz setzt sich zusammen aus Simulationen für vier im 5. Sachstandsbericht (IPCC AR5) definierte Szenarien mit unterschiedlichen Antrieben (piControl, historical, Nat, GHG).

Sowohl der Beobachtungsdatensatz als auch jede Simulation werden jeweils als eine Stichprobe behandelt.

Nach einer Datenkomprimierung durch Legendrepolynome in der Zeit und Normalmoden in der Vertikalen werden die resultierenden Koeffizienten für die Bayesische Entscheidungsfindung instrumentalisiert und aus ihnen die benötigten Parameter (Mittel, Kovarianzmatrizen) bestimmt. Als Entscheidungsfunktion dient der Bayes-Faktor, der eine Alternative zu klassischen Hypothesentests liefert. Er gibt quantitativ Aufschluss darüber, ob ein Szenario bei gegebener Beobachtung bezüglich dieser Beobachtung wahrscheinlich ist und ein Kontrollscenario abgelehnt werden kann. Die in die Berechnung des Bayes-Faktors einfließende subjektiv vorgewählte a-priori Wahrscheinlichkeit wird variiert, um Unsicherheiten der Methode zu untersuchen und die Robustheit der Methode zu prüfen. Ergebnis ist eine Klimaänderungsanalyse über den Zeitraum 1962-2005 für die freie Troposphäre über Deutschland. Klimaänderungssignale in den Beobachtungen werden erkannt und den Szenarien zugeordnet, um die jeweiligen Antriebe als Verursacher der Signale zu identifizieren.

Des Weiteren erfolgt eine Bewertung der Modellperformances im Hinblick auf die Robustheit der genutzten Bayesischen Methode und zur Verifikation der Modelldaten.

## **Die Lebenszyklusanalyse potentiell schadenrelevanter konvektiver Zellen für Nowcasting-Zwecke unter Berücksichtigung der atmosphärischen Umgebungsbedingungen**

Jannik Wilhelm (1), Ulrich Blahak (2), Kathrin Wapler (2), Roland Potthast (2,3), Michael Kunz (1,4)

(1) Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland (jannik.wilhelm@kit.edu), (2) Bereich Forschung und Entwicklung, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, (3) Department of Mathematics and Statistics, University of Reading, Reading, Großbritannien, (4) Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

Starke konvektive (Gewitter-)Zellen, oftmals verbunden mit Starkregen, Hagel, Sturmböen oder gar Tornados, können binnen weniger Minuten große Schäden an Eigentum und Infrastrukturen hervorrufen, zu großen ökonomischen Verlusten führen und im schlimmsten Fall sogar Menschenleben fordern. In den vergangenen Jahren und Jahrzehnten wurden verschiedene Nowcasting-Verfahren entwickelt mit dem Ziel, die Verlagerung und teilweise auch die Entwicklung konvektiver Zellen mit fundierten Methoden auf kurzen Zeitskalen von wenigen Stunden besser abschätzen zu können. Viele dieser Verfahren basieren auf Techniken der objektiven Zelldetektion und des Zelltrackings basierend auf Radar- oder Satellitendaten. Während die generelle Verlagerung der Zellen dabei bereits gut extrapoliert wird, ist der Lebenszyklus der konvektiven Zellen noch nicht ausreichend repräsentiert. Es ist jedoch äußerst wichtig - gerade vom Standpunkt des Warn- und Vorsorgemanagements aus betrachtet - möglichst zeitlich und räumlich präzise Vorhersagen der Zellfläche und -intensität zur Verfügung zu stellen. Daraus können dann Verstärkungs- und Abschwächungstendenzen der Zellen sowie potentielle Gefahren für die Bevölkerung abgeleitet werden können.

In einem aktuellen Projekt, welches einen Teil des Forschungsprogramms SINFONY des DWD darstellt, werden physikalisch-mathematische Herangehensweisen untersucht, die Fortschritte im Hinblick auf eine exaktere Prognose der Zellentwicklung versprechen. Zunächst werden die Grundlagen für eine Nowcasting-Methode erforscht, die Vorhersagen des Zellzustands im Sinne eines Anfangswertproblems trifft. Die Dynamik des Zustands soll aus statistischen Informationen über den Lebenszyklus von konvektiven Zellen in Verbindung mit den atmosphärischen Umgebungsbedingungen extrahiert werden. Dabei wird zum einen auf historische Beobachtungsdaten des Trackingalgorithmus KONRAD des DWD, und zum anderen auf für hochreichende Feuchtkonvektion relevante Analysedaten des COSMO-Modells zurückgegriffen. Darüber hinaus stellen auch strukturentdeckende Verfahren des Machine Learnings alternative Ansätze zur Behandlung der Problemstellung dar.

Aus dem oben genannten KONRAD-Datensatz konnte durch ein elaboriertes Filterungsverfahren eine sinnvolle Stichprobe an Lebenszyklen konvektiver Zellen extrahiert werden. Dazu werden aussagekräftige Statistiken zum Lebenszyklus präsentiert, die unter anderem die Entwicklung der Intensität sowie die räumliche Verteilung historischer Zellen abdecken. Zudem werden Ansätze für verschiedene Vorhersagemethoden der Entwicklung konvektiver Zellen skizziert, in die neben der Stichprobe von Zellen auch atmosphärische Umgebungsgrößen, die aus den Analysedaten von COSMO gewonnen wurden, eingehen. Erste Ergebnisse hierzu werden ebenfalls vorgestellt. Zuletzt sollen auch Zukunftsperspektiven diskutiert werden, inwieweit die bestehenden Verfahren vertieft und durch weitere Datensätze erweitert werden könnten (Stichwort: Multi-Sensor-Analyse).

## **Human-biometeorologische Szenario-Simulationen für "grüne" stadtplanerische Strategien zur Abschwächung von extremer Sommerhitze im städtischen Freiraum**

Hyunjung Lee (1) and Helmut Mayer (2)

(1) Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie, Landeshauptstadt Stuttgart, Deutschland  
(Hyunjung.Lee@stuttgart.de), (2) Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Umweltmeteorologie, Deutschland  
(helmut.mayer@meteo.uni-freiburg.de)

Resultate aus Klimasimulationen projizieren für Mitteleuropa eine Erwärmung der bodennahen Atmosphäre, in die Hitzeepisoden eingebettet sind. Sie zeichnen sich durch eine höhere Häufigkeit, eine längere Andauer und eine größere Intensität aus.

Städte in Mitteleuropa sind gegenüber der Zunahme von extremer Hitze besonders vulnerabel, weil (i) das bereits existierende Stadtdesign auf einem weniger extremen Klima beruht, (ii) die Stadtbevölkerung weiterhin zunimmt und (iii) die Anzahl der Senioren steigt. Daher steht die Stadtplanung in mitteleuropäischen Städten im Rahmen einer langfristigen Anpassung an den Klimawandel vor der Herausforderung, Planungsmethoden zu entwickeln und anzuwenden, mit denen die durch die Wetterlage großräumig vorgegebene Hitze in ihrer lokalen Auswirkung auf die Stadtbevölkerung reduziert werden kann.

Viele dieser Methoden, wie Abschattung der direkten Sonnenstrahlung und Sicherung einer ausreichenden Belüftung, sind der Stadtbevölkerung durch individuelle Erfahrungen schon längst qualitativ bekannt und in Anpassungsstrategien von Bund und Ländern dokumentiert. Es besteht jedoch immer noch ein Mangel an der Quantifizierung der reproduzierbaren Effektivität dieser Methoden für die Stadtbevölkerung, d.h. unter human-biometeorologischer Perspektive.

In diesem Zusammenhang hat urbanes Grün eine hervorgehobene Bedeutung in Planungsstrategien. Hier setzt der vorgeschlagene Tagungsbeitrag an. Auf der Grundlage von numerischen Szenario-Simulationen mit dem ENVI-met Modell werden die human-biometeorologischen Konsequenzen im städtischen Freiraum an einem Hitzewellentag analysiert, die durch urbanes Grün in Form von Parks und insbesondere Straßenbäumen in Straßenschluchten verursacht werden.

Zur Quantifizierung der thermischen Bedingungen unter human-biometeorologischer Perspektive werden die mittlere Strahlungstemperatur (als Maß für die von Menschen absorbierte Strahlungswärme) und die physiologisch äquivalente Temperatur verwendet. Zusätzlich wird die bodennahe Lufttemperatur berücksichtigt. Diese Variable hat zwar tagsüber nur eine erheblich eingeschränkte Bedeutung für die Quantifizierung von human-biometeorologisch relevanter Hitze. Sie ist aber den Planern derzeit immer noch mehr vertraut als die beiden anderen human-biometeorologischen Variablen.

Die numerischen Simulationen für Straßenbäume in einer E-W orientierten Straßenschlucht liefern Ergebnisse für die Arbeitshypothesen:

1. Straßenbäume auf dem S-exponierten Bürgersteig haben für den thermischen Komfort von Menschen eine größere Bedeutung als Bäume auf dem N-exponierten Bürgersteig.
2. Die Dimension von Straßenbäumen hat deutliche Auswirkungen auf den thermischen Komfort von Menschen in Straßenschluchten.
3. Je mehr Straßenbäume sich in einer Straßenschlucht befinden, desto wirkungsvoller ist ihr Abschattungseffekt.
4. Der Abschattungseffekt von Straßenbäumen ändert sich in Abhängigkeit von der Sonnenposition.
5. Die Anströmungsbedingungen in die Straßenschlucht wirken sich deutlich auf den thermischen Komfort von Fußgängern in Straßenschluchten aus, aber nur unwesentlich auf die bodennahe Lufttemperatur.
6. Straßenbäume weisen bei einem niedrigen Höhen/Breiten-Verhältnis der Straßenschlucht eine größere Bedeutung für den thermischen Komfort von Menschen auf.
7. Die in der Nacht deutlich geringere thermische Belastung von Menschen wird allerdings durch Straßenbäume leicht erhöht.

## **Luise Lammert und ihre Forschungsreise nach Australien 1928/29**

Cornelia Lüdecke (1) and Michael Börngen (2)

(1) Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik, Universität Hamburg, Hamburg  
(c.luedecke@lrz.uni-muenchen.de), (2) Leipzig (michael-boerngen@t-online.de)

Luise (Charlotte) Lammert wurde am 21. September 1887 in Leipzig als Tochter eines Gymnasialprofessors geboren. Ergänzend zur Schulbildung belegte sie Kurse des Allgemeinen Deutschen Frauenvereins. Nachdem sie Ostern 1910 die Reifeprüfung bestanden hatte, studierte sie Mathematik, Physik und Chemie in Leipzig und München. Noch während ihres Studiums, 1916, trat Lammert in das – heute nicht mehr bestehende – Geophysikalische Institut der Universität Leipzig ein. Im April 1919 bewarb sie sich mit der Abhandlung „Der mittlere Zustand der Atmosphäre bei Südföhn“ um die philosophische Doktorwürde; die beiden Gutachter beantragten die Bestnote. Damit zählte Lammert weltweit zu den ersten akademisch ausgebildeten Meteorologinnen. Sie wirkte bis 1935 als Assistentin am einstigen Geophysikalischen Institut und trug mit zur internationalen Bedeutung dieser Lehr- und Forschungseinrichtung bei. Danach arbeitete sie bis 1939 als Leiterin der Kurortklimakreisstelle Nordschwarzwald in Baden-Baden und anschließend im Reichsamt für Wetterdienst in Berlin. Diese Tätigkeit währte jedoch nur kurz; infolge einer Erkrankung zog sie 1940 nach Chemnitz, wo sie am 7. Juni 1946 verstarb. Höhepunkt von Lammerts wissenschaftlicher Laufbahn war zweifellos ihre von März 1928 bis Juni 1929 währende Forschungsreise nach Australien. Zu deren Durchführung wurde ihr von der International Federation of University Women ein Stipendium verliehen. Diese (2015 in Graduate Women International umbenannte) Organisation war vor genau 100 Jahren (1919) von der ersten Professorin an einer englischen Universität Caroline Spurgeon (1869–1942) und Kolleginnen gegründet worden mit dem Ziel, die Bildung von Frauen zu fördern. Das Stipendium war dank einer großzügigen Spende der australischen Zoologin Georgina Sweet (1875–1946) ermöglicht worden. Lammert setzte sich unter 32 Bewerberinnen durch. Sie hatte sich die Aufgabe gestellt, die Bjerknes'sche Frontentheorie auf australische Verhältnisse anzuwenden, was wegen der andersartigen Land-See-Verteilung auf der Südhalbkugel eine anspruchsvolle Aufgabe darstellte. Außerdem wollte sie auf den Seereisen, in verschiedenen Landesteilen Australiens sowie in Ostindien Strahlungsmessungen ausführen. Einzelheiten über ihren Australienaufenthalt, so zu den von ihr besuchten Orten und Institutionen oder zu Wissenschaftlern und anderen Personen, denen sie begegnete, sind fast nur aus der australischen Presse zu erfahren, die die Forschungsreise von Luise Lammert mit großem Interesse verfolgte. Nach Europa zurückgekehrt hielt Lammert Lichtbildervorträge über ihre Australienreise auf der fünften Konferenz der Internationalen Föderation der Universitätsfrauen in Genf sowie vor der renommierten Gesellschaft für Erdkunde zu Leipzig. Die wissenschaftlichen Ergebnisse ihrer Expedition dokumentierte sie jedoch erst relativ spät in lediglich zwei kleineren Publikationen „Strahlungsmessungen und Frontologische Untersuchungen in Australien“ (1931) sowie „Frontologische Untersuchungen in Australien“ (1932). Vermutlich waren ihre Kräfte durch den Auftrag, das Sach- und Namensregister zu den Bänden 26–45 (1909–1928) der „Meteorologischen Zeitschrift“ anzufertigen (304 S. Leipzig 1930), gebunden.

Seit 2012 erinnert der Lammertweg im Leipziger Ortsteil Lausen-Grünau an eine der ersten deutschen Meteorologinnen.

## Analyse starker Tornados in Deutschland

Kathrin Wapler and Thomas Hengstebeck

Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany (kathrin.wapler@dwd.de)

Tornados stellen eine erhebliche Gefahr für Leben, Eigentum und Wirtschaft dar. Daher ist eine Analyse von Tornado-Ereignissen von erheblicher Bedeutung. Ein Verständnis von historischen Ereignissen z.B. bezüglich der Eigenschaften der Gewitter die Tornados verursacht haben im Vergleich zu lang-jährigen Gewitter-Statistiken können die situational awareness zukünftiger Tornado-Ereignisse verbessern.

Tornados mit einer Stärkeneinstufung von F2 – F3 auf der Fujita-Skala der letzten Jahre in Deutschland wurden im Detail analysiert. Die drei F3-Tornados (Bützow, Affing und Bonndorf) und neun F2-Tornados, die an 10 unterschiedlichen Tagen in verschiedenen Regionen Deutschlands auftraten, ereigneten sich zwischen Mai und Anfang September in den Jahren 2013, 2014, 2015 und 2016; in den meisten Fällen zwischen 16 und 20 UTC. An der Hälfte der Tornado-Tage hatte sich eine Südwestlage ausgebildet, an den anderen Tagen Süd-, West- oder Nordwestlagen bzw. eine Trogwetterlage. In einigen der Fälle sind weitere F1- oder nicht-kategorisierte Tornados, die durch dasselbe Gewitter ausgelöst wurden, in der European Severe Weather Database (ESDW) verzeichnet; diese traten einige Minuten oder bis zu 30 Minuten vor/nach dem beobachteten F2/3-Tornado auf. In einem Drittel der Fälle wurden Sturmböen strom-abwärts des F2/3-Tornados berichtet. Das langlebige Gewitter, welches den Tornado in Bonndorf ausgelöst hat, hat auch großen Hagel (mit Durchmesser von 5cm) verursacht. Die F3-Tornados hatten einen Pfad von etwa 15 km Länge mit einer maximalen Breite von 1500 m.

Zur besseren Beschreibung von konvektiven Zellen ist die Berücksichtigung verschiedener Datenquellen erforderlich. Dazu wurden auf Radarreflektivitäten basierende Objekteigenschaften mit Rotationscharakteristika (Mesocyclonen) und Blitzaktivität kombiniert.

Zehn der einen F2/3-Tornado verursachenden Gewitter konnten deutlich in Radarreflektivitätsmessungen detektiert und verfolgt werden, von denen 70 % eine Lebensdauer von über 3 Stunden aufwiesen. In den anderen zwei Fällen gab es komplexe Multi-Zellen-Entwicklung, so dass der Tornado keiner individuellen Zelle, die eindeutig in Reflektivitätsdaten analysiert und verfolgt werden konnte, zugeordnet werden kann. Die den Tornado verursachenden Gewitter verlagerten sich mit ca. 70km/h in überwiegend östliche Richtungen. Nur etwa 20% aller in Deutschland in Radarreflektivitätsdaten automatisch detektierten konvektiven Zellen haben eine Verlagerungsgeschwindigkeit von 60km/h oder mehr.

In vielen Fällen war in Radar-Radialwinddaten eine persistente Rotations-Spur sichtbar. Die detektierten Mesocyclonen hatten während der beobachteten Tornados eine vertikale Mächtigkeit zwischen 2,5 und 11 km, der Durchmesser lag über 8 km. Die Unterkante der erkannten Rotation war niedriger als in lang-jährigen Statistiken aller detektierten Mesocyclonen.

Die die Tornados auslösenden Gewitter hatten im Vergleich zu langjährigen Statistiken gewöhnlicher Gewitter eine sehr hohe Blitzrate. In 3/4 der analysierten Fälle trat ein sogenannter lightning jump, d.h. ein schnelles Ansteigen der Blitzrate, vor dem beobachteten Tornado auf, mit einer Vorlaufzeit von 5 bis 120 Minuten.

Die Zusammenstellung der an den Vortagen vom Deutschen Wetterdienst ausgegebenen Wettervorhersagen zu Wettergefahren sowie der Vorhersagen des European Storm Forecasting Experiments (ESTOFEX) erlaubt eine erste Abschätzung der Vorhersagbarkeit.

## **Nowcasting der solaren Einstrahlung am Boden basierend auf dem optischen Fluss der effektiven Wolkenalbedo**

Isabel Urbich and Richard Müller

Deutscher Wetterdienst, Verfahrensentwicklung Fernerkundung, Offenbach am Main, Germany (isabel.urbich@dwd.de)

Die steigende Verwendung erneuerbarer Energien als Stromquelle hat zu einem fundamentalen Wandel des Energieversorgungssystems geführt. Die Integration fluktuierender und wetterabhängiger Energiequellen in das Stromnetz hat bereits jetzt einen massiven Einfluss auf sämtliche Ladungsflüsse. Die Konsequenz war ein gestiegenes Interesse nach Vorhersagen des Windes und der solaren Einstrahlung am Boden mit einer hohen Genauigkeit auf kurzen Zeithorizonten (0-4 h). Für das Nowcasting der solaren Einstrahlung wird der optische Fluss der effektiven Wolkenalbedo, welche aus Satellitenmessungen des MSG im sichtbaren Bereich abgeleitet wird, berechnet und in die Zukunft extrapoliert. Die verwendete Methode für die Berechnung des optischen Flusses ist TV-L1 aus der Open-Source-Bibliothek OpenCV. Sie besitzt einen Multi-Skalen-Ansatz, um Wolkenbewegungen auf verschiedenen räumlichen Skalen zu erfassen. Nach der Verlagerung der Wolken durch TV-L1 wird die solare Strahlung mit Hilfe von SPECMAGIC NOW von Richard Müller berechnet. Dieser Algorithmus errechnet die globale Einstrahlung spektral aufgelöst aus Satellitendaten. SPECMAGIC wurde bereits ausführlich durch CMSAF (Climate Monitoring Satellite Application Facility) und externe Benutzer der CMSAF Daten validiert. Aufgrund der hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung von Satellitenmessungen kann die effektive Wolkenalbedo, und damit auch die solare Einstrahlung, von 5 min bis zu 4 h mit einer Auflösung von  $0,05^\circ$  vorhergesagt werden.

Zunächst wird der Ansatz der Vorhersage kurz erläutert und darauf hin werden erste Ergebnisse präsentiert und diskutiert.

## Der Einfluss des Verkehrs auf die Luftqualität in Deutschland - Szenarienrechnungen für 2040

Markus Quante (1), Volker Matthias (1), Johannes Bieser (1), Jan Arndt (1), Armin Aulinger (1), Stefan Seum (2), Simone Ehrenberger (3), Ulrike Kugler (3), Tudor Mocanu (2), Falko Nordenholz (2), Martin Ramacher (1), and Christian Winkler (2)

(1) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institut für Küstenforschung, Geesthacht, Deutschland (markus.quante@hzg.de), (2) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Verkehrsforschung, Berlin, Deutschland, (3) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart, Deutschland

Der Verkehrssektor ist in Deutschland für einen signifikanten Anteil an der Belastung der Luft mit Schadstoffen verantwortlich. Dieses gilt insbesondere für Städte und Ballungsgebiete, aber auch in der Nähe von Hauptverkehrsadern. Schlüsselsubstanzen der Belastung sind Stickstoffoxide ( $\text{NO}_2$ ), Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) sowie flüchtige organische Verbindungen (VOCs). Als sekundärer Schadstoff ist noch das Ozon ( $\text{O}_3$ ) zu nennen. Obwohl sich die Belastungssituation in den zurückliegenden Dekaden verbessert hat, haben einige Städte derzeit immer noch mit Grenzwertüberschreitungen (insbesondere für  $\text{NO}_2$ ) zu kämpfen. Da neuere medizinische Studien zeigen, dass es für viele Substanzen keinen eindeutigen Schwellwert für eine Belastung der Gesundheit gibt, sollte es das Ziel sein, die Schadstoffkonzentrationen weiterhin zu senken.

Im Projekt Verkehrsentwicklung und Umwelt (VEU) 2 wurden dazu entsprechende Szenarien entwickelt, die es erlauben, den Verkehrsanteil an der zukünftigen Luftbelastung (Zieljahr 2040) für Deutschland unter unterschiedlichen Steuerungsphilosophien abzuschätzen. In (VEU) 2 wurde dazu eine Modellkette aufgebaut, die Güter- und Personenverkehrsmodelle mit der Fahrzeugflottenentwicklung, einem Emissionsmodell sowie am Ende der Kette einem Luftqualitätsmodell verknüpft. Die Modellkette ermöglicht es, den Verkehr in Deutschland mit hohem Detailgrad zu modellieren und entsprechend realistische Entwicklungen für die Zukunft zu erstellen. Es konnten die räumliche Verteilung der Emissionen sowie deren Auswirkungen auf die Luftqualität heute und in drei Szenarien für geänderten Verkehr untersucht werden.

Zunächst wurde der Verkehr in Deutschland für das Basisjahr 2010 modelliert. Um die Auswirkungen des Verkehrs auf die Luftqualität zu untersuchen wurden die Emissionen aller anderen Sektoren sowie europäische Emissionen miteinbezogen. Hierzu wurde das Emissionsmodell SMOKE for Europe (Bieser et al., 2011) verwendet. Anschließend wurden Chemietransportrechnungen mit CMAQ (Byun and Schere, 2006) für ganz Europa ( $24 \times 24 \text{ km}^2$ ) sowie für Zentraleuropa ( $6 \times 6 \text{ km}^2$ ) durchgeführt. Die Modellrechnungen zeigten zum Beispiel, dass der Verkehr derzeit in Deutschland für 40 bis 60% der  $\text{NO}_2$  Konzentrationen, je nach Region, verantwortlich ist. Die Szenarienrechnungen für drei verschiedene Entwicklungen bis 2040 ergaben ein hohes Minderungspotenzial. Die  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen könnten dann um 40 bis 70% geringer als 2010 sein. Der Beitrag des Verkehrs zu den Stickoxidkonzentrationen wird nur noch zwischen 10 und 30 % liegen. Die Emissionen werden also stärker zurückgegangen sein, als diejenigen anderer Sektoren. Letztere basieren auf dem ECLIPSE V5 CLE Szenario (ECLIPSE, 2016). Neben den Entwicklungen der Stickstoffdioxidkonzentrationen werden noch zu erwartende Veränderungen für  $\text{PM}_{10}$  und Ozon betrachtet.

## D-A-CH Beiträge zum WMO/UNEP Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018

Wolfgang Steinbrecht (1), Ulrike Langematz (2), Peter Braesicke (3), Martin Dameris (4), Andreas Engel (5), Stefan Reimann (6), and Mark Weber (7)

(1) Deutscher Wetterdienst, Met. Obs. Hohenpeissenberg, Hohenpeissenberg, D (wolfgang.steinbrecht@dwd.de), (2) Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin, D, (3) Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe Institut für Technologie, D, (4) Institut für Physik der Atmosphäre, DLR, Oberpfaffenhofen, D, (5) Institut für Atmosphäre und Umwelt, Goethe Universität Frankfurt/Main, D, (6) Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf, CH, (7) Institut für Umweltpophysik, Universität Bremen, D

Im Rahmen der internationalen Verpflichtungen durch das Montrealer Protokolls zum Schutz der Ozonschicht von 1987 wird von Wissenschaftlern aus der ganzen Welt alle vier Jahre ein umfangreicher Bericht erstellt zum Zustand der stratosphärischen Ozonschicht und zu den Erwartungen für die Zukunft. Wissenschaftler aus dem D-A-CH Raum haben traditionell großen Anteil an diesen Berichten. Auch beim neuen Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018 stellen D, CH und Europa, nach den USA, die größte Gruppe der insgesamt rund 200 Autoren und Reviewer. Das 2018er Assessment gliedert sich in 6 Kapitel:

1. Ozonzerstörende Substanzen
2. Hydro-Fluoro-Kohlenwasserstoffe (HFKWs)
3. Ozon weltweit, außerhalb der Polargebiete
4. Polares Ozon
5. Ozon- und Klimaänderungen
6. Szenarien und Informationen für die Politik

Neu gegenüber früheren Assessments ist diesmal das Kapitel 2. Es beschreibt geplante Wirkungen der 2016er Kigali Zusatzvereinbarung zum Montrealer Protokoll, die ein weltweites Produktionsende für Hydro-Fluoro-Kohlenwasserstoffe (HFKWs) vorsieht. HFKWs haben als nicht ozonzerstörende, aber besonders klima-schädliche Ersatzstoffe der Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs) in den letzten Jahren stark zugenommen. Durch die Verbote von HFKWs und FCKWs, ebenfalls starke Treibhausgase, sollte das Montrealer Protokoll die zu erwartende globale Klimaerwärmung um ca. 0.5°C verringern. Als Nebeneffekt zum Schutz der Ozonschicht ist das Montrealer Protokoll damit das bisher erfolgreichste Klimaschutzabkommen. Im Konferenzbeitrag werden wir wesentliche Ergebnisse des 2018er Ozone Assessment vorstellen:

- FCKW 11 geht in der Atmosphäre langsamer zurück als erwartet. Verbotene neue Produktion in Ostasien?
- Ozon in der oberen Stratosphäre nimmt, wie erwartet, langsam wieder zu.
- Die Antarktischen Ozonlöcher werden wieder kleiner.
- Noch keine klaren Anzeichen für ein Wiederanwachsen der Gesamtozonsäulen außerhalb der Antarktis.
- Nachhaltige Erholung der Ozonschicht erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts.
- Das Antarktische Ozonloch hat das Klima auf der Südhemisphäre beeinflusst. Ozonerholung und Klimaänderung hängen eng zusammen.
- Die verbotene Neuproduktion von FCKW-11 in Ostasien muss enden. Mögliche Produktionseinschränkungen bei CCl<sub>4</sub> würden die Erholung der Ozonschicht geringfügig beschleunigen.
- Geoengineering zur Reduktion der Klimaerwärmung ist riskant und in vielen Szenarien gefährlich für die Ozonschicht.



## **Estimation of Vertical Wind Gust Profiles from Regional Reanalysis Using Extreme Value Theory**

Julian Steinheuer (1), Sabrina Wahl (1,2), and Petra Friederichs (1)

(1) Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Universität Bonn, (2) Hans-Ertel Centre for Weather Research, Bonn

Typical model forecasts and observations of wind gusts are provided for a standard measurement height of 10 m above the surface. However, for many applications wind gusts on higher levels are of increasing relevance, e.g., for the renewable energy sector, wind gusts at hub height are important. We present a statistical model for the vertical profile of hourly wind gusts as measured at the Hamburg Weather Mast. The data comprise peak wind speed observations at five vertical levels between 10 m and 250 m for the time period from 2004 to 2014. We further dispose of hourly atmospheric data from the regional reanalysis COSMO-REA6 which covers Europe with a horizontal grid spacing of 6 km. The gust distribution is a generalized extreme value distribution, with non-stationary parameters. The parameters are conditioned on COSMO-REA6 and height. To select the most informative variables we use a LASSO approach. Most informative predictors are the 10 m gust diagnostic, the barotropic mode of absolute horizontal wind speed in the lowest six reanalysis heights, the mean absolute horizontal wind in 700 hPa and the surface pressure tendency. Proper scores, like the CRPS, support the usefulness of the variables. In a second step, we investigate the connection of wind gusts in different heights using Pickands dependence function and show its dependence on the stability of the atmosphere.

## **Der Einfluss des Tagesgangs der atmosphärischen Grenzschicht auf den Nachlauf einer Windturbine**

Antonia Englberger and Andreas Dörnbrack  
DLR, IPA, Wessling, Germany (antonia.englberger@dlr.de)

Die Eigenschaften des Nachlaufs einer Windturbine werden für verschiedene im Laufe eines Tages in einer turbulenten Grenzschicht auftretende atmosphärische Schichtungen mit Grobstruktursimulationen mit dem Strömungslöser EULAG untersucht. Dazu wurden idealisierte Tagesgangsimulationen über homogenen Oberflächen durchgeführt. Der Tagesgang zeigt einen signifikanten Einfluss auf den Wind und die Turbulenz in der atmosphärischen Grenzschicht. Es treten in der stabilen und der morgendlichen Grenzschicht eine starke vertikale Windscherung und eine Änderung der Windrichtung mit der Höhe auf, wohingegen in der konvektiven und der abendlichen Grenzschicht die Turbulenz in der Atmosphäre stark ausgeprägt ist. Diese unterschiedlichen atmosphärischen Eigenschaften werden für die Untersuchung des Einflusses verschiedener thermischer Schichtungen auf den Nachlauf einer Windturbine verwendet. Dazu wurden Windturbinensimulationen der konvektiven und stabilen, sowie der abendlichen und morgendlichen Grenzschicht mit synchronisierten Daten aus dieser Tagesgangsimulation betrieben. Die sich ergebenden Nachläufe sind von der Stabilität der Atmosphäre sowie dem einströmenden Windprofil beeinflusst und haben ihrerseits einen Einfluss auf die Energieeffizienz der Windturbine. Das Strömungsfeld wird durch eine schnellere Einmischung unter konvektiven Bedingungen am Tag, im Gegensatz zur Nacht, geprägt. Die Nachläufe, die sich in der abendlichen und morgendlichen Grenzschicht entwickeln, sind entscheidend von der vorhergehenden atmosphärischen Situation beeinflusst. Weiter folgt der Nachlauf in der stabilen und der morgendlichen Grenzschicht der Windrichtung des einströmenden Windfeldes, welche durch die Ekman-Spirale geprägt ist. Diese Untersuchung zeigt einen signifikanten und nicht zu vernachlässigenden Einfluss des Tagesgangs der atmosphärischen Grenzschicht auf den Nachlauf einer Windturbine.

## **Eine numerisch effiziente Parametrisierung des turbulenten Strömungsfeldes durch eine Windturbine für unterschiedliche atmosphärische Schichtungen**

Antonia Englberger and Andreas Dörnbrack  
DLR, IPA, Wessling, Germany (antonia.englberger@dlr.de)

Die Untersuchung der Eigenschaften des Nachlaufs einer Windturbine für verschiedene im Laufe eines Tages in einer turbulenten Grenzschicht auftretende atmosphärische Schichtungen mit Grobstruktursimulationen erfordert die Simulation eines kompletten Tagesgangs der atmosphärischen Grenzschicht als Vorsimulation. Um diese äußerst rechenintensiven Tagesgangsimulationen zu vermeiden, wurde eine Methode entwickelt, welche die Hintergrundturbulenz für Windturbinensimulationen mit offenen Randbedingungen in Strömungsrichtung aufrecht erhält. Dies wird durch das Aufprägen der turbulenten Fluktuationen in der spektralen Energieverteilung einer neutralen Grenzschicht ermöglicht. Weiter lässt sich damit auch das permanente Einlesen von turbulenten Einströmprofilen in die Windturbinensimulationen vermeiden. Diese Methode zur Aufrechterhaltung der Hintergrundturbulenz wurde zur Anwendung für unterschiedliche atmosphärische Schichtungen (konvektiv, neutral, stabil) zu einer Parametrisierung ausgeweitet. Die entwickelte Parametrisierung beinhaltet eine schichtungsspezifische Gewichtung sowie entsprechende Hintergrundwindprofile, beides abgeleitet aus der idealisierten Tagesgangsimulation über homogener Oberfläche. Die Windturbinensimulationen mit Parametrisierung zeigen eine gute Übereinstimmung mit den entsprechenden synchronisierten Windturbinensimulationen aus der Tagesgangsimulation über homogener Oberfläche. Es wurden unterschiedliche Genauigkeitsgrade der Repräsentation der thermischen Schichtung in der Parametrisierung getestet. Diese reichen von 3 D Matrizen stammend aus den Windfeldern der Vorsimulation bis hin zu einzelnen Werten als Repräsentation der Windverhältnisse in der Parametrisierung. Die sich ergebenden Nachlaufeigenschaften sind recht ähnlich, sogar für die einfachste Variante. Dies macht eine komplette Tagesgangsimulation als Vorsimulation zur Untersuchung des Einflusses der verschiedenen atmosphärischen Schichtungen auf die Nachlaufstruktur einer Windturbine nicht zwingend notwendig. Eine Vermeidung der Tagesgangsimulation reduziert die erforderliche Rechenzeit um den Faktor  $\mathcal{O}(10^2)$ . Somit stellt die entwickelte Methode eine einfache und äußerst effiziente Parametrisierung des turbulenten einströmenden Windfeldes für Grobstruktursimulationen unterschiedlicher thermischer Schichtungen dar.

## Die Rolle von Schwerewellen für die stratosphärische Zirkulation heute und in der Zukunft

Roland Eichinger (1,2), Hella Garny (2,1), Jessica Kern (2), and Simone Dietmüller (2)

(1) Ludwig-Maximilians Universität, Meteorologisches Institut München, München, Deutschland, (2) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Deutschland

Die Luftzirkulation in der mittleren Atmosphäre kann das Klima sowie das Wetter am Erdboden signifikant beeinflussen und deren Veränderung im Zuge des Klimawandels ist daher ausschlaggebend für die Zuverlässigkeit von Klimavorhersagen. Der Antrieb kleinskaliger Schwerewellen auf die Zirkulation wird in gängigen Klimamodellen mittels vereinfachter Schemata parametrisiert, und dieser Antrieb leistet einen wesentlichen Beitrag zur stratosphärischen Zirkulation. In vorangegangenen Studien wurde jedoch gezeigt, dass die Stärke der Zirkulation und deren durch den Klimawandel hervorgerufenen Veränderung bemerkenswert robust gegenüber Änderungen des Schwerewellenantriebs ist. Der Grund dafür liegt in der Kompensation des Schwerewellenantriebs durch den Antrieb von planetaren Rossby Wellen.

In dieser Studie untersuchen wir die Sensitivität der stratosphärischen Zirkulation hinsichtlich orographischer, als auch nicht-orographischer Schwerewellen zu heutigen (Jahr 2000) und zu zukünftigen (Jahr 2100) Klimabedingungen. Hierzu vergleichen wir Zeitscheibenexperimente mit und ohne der jeweiligen Schwerewellenparametrisierung mit dem globalen Klimamodell EMAC. Die Abschaltung des Schwerewellenantriebs führt (in beiden Fällen) zu starken Veränderungen des mittleren Zonalwindes, die Residualzirkulation jedoch, bleibt aufgrund der Wellenkompensation dabei weitgehend unbeeinflusst. Dies gilt speziell für den unteren Ast der Zirkulation sowie für den oberen Ast im Nordwinter und entspricht den Ergebnissen früherer Studien. Im Südwinter findet bei fehlenden nicht-orographischen Schwerewellen zum Teil jedoch keine Wellenkompensation statt, im Gegenteil, die Wellenanomalie verstärkt sich durch die planetaren Wellen sogar und speziell der obere Zirkulationsast weist dann signifikante Veränderungen auf. Auch die Reaktion der Residualzirkulation auf den Klimawandel ist unabhängig vom Schwerewellenantrieb weitgehend robust. Jedoch wiederum im Südwinter, weist der obere Zirkulationsast in der Referenzsimulation zwar keine wesentliche Veränderung von Jahr-2000- zu Jahr-2100-Bedingungen auf, in den Simulationen mit fehlendem Schwerewellenantrieb schwächt sich dieser jedoch deutlich ab.

Wir untersuchen und bewerten jene Mechanismen, welche die Kompensation zwischen planetaren und parametrisierten Wellen hervorrufen und analysieren speziell jene Situationen in denen Wellenamplifikation stattfindet. Darüberhinaus zeigen wir auch wie das Verhältnis der vorhandenen Wellentypen die Transportzeiten der stratosphärischen Luft beeinflusst. Die Wellenkompensation führt zwar zu nur geringfügigen Änderungen in der Residualzirkulation, Mischungseffekte sind davon aber andersartig beeinflusst und dies wiederum führt zu Unterschieden im mittleren Alter der stratosphärischen Luft.



## Evaluation of the Copernicus Atmosphere Monitoring (CAM5) Reanalysis

Annette Wagner (1), Henk Eskes (2), Yasmine Bennouna (3), Sara Basart (4), Anna Maria Katarina Benedictow (5), Anne-Marlene Blechschmidt (6), Simon Chabrillat (7), Yves Christophe (7), Kaj Hansen (8), John Kapsomenakis (9), Bavo Langerock (7), Michael Schulz (5), and Natalia Sudarchikova (1)

(1) Max Planck Institute for Meteorology, Environmental Modeling, Hamburg, Germany (annette.wagner@mpimet.mpg.de), (2) Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, The Netherlands, (3) Laboratoire d'Aérodynamique, Univ. Toulouse, France, (4) Barcelona Supercomputing Center, Barcelona, 08034, Spain, (5) Norwegian Meteorological Institute, Oslo, 0107, Norway, (6) University of Bremen, Bremen, Germany, (7) Royal Belgian Institute for Space Aeronomy, BIRA-IASB, (8) Aarhus University, Roskilde, 4000, Denmark, (9) Academy of Athens, Athens, Greece

### Evaluation of the Copernicus Atmosphere Monitoring (CAM5) Reanalysis

The Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAM5) is a component of the European Earth Observation Programme Copernicus, which has been established to meet the needs of policy makers and stake holders for data and information related to environmental issues, such as climate change, air pollution and other atmosphere-related hazards like volcanic eruptions (<http://atmosphere.copernicus.eu>). It operationally provides air-quality data, forecasts and processed information on atmospheric composition, as well as retrospective atmospheric composition data records for recent years (reanalyses). Such reanalysis data sets can be used to compute climatologies, study trends, evaluate models, or serve as boundary conditions for regional models for past periods.

The CAM5 production team has produced a new reanalysis dataset in 2018, consisting of 3-dimensional atmospheric composition fields of aerosols and chemical species. The previous MACC (Monitoring Atmospheric Composition and Climate) reanalysis data set has been downloaded by around 3000 users since its release in 2013. The CAM5 reanalysis builds on the experience gained during the production of the MACC reanalysis and comes with updated chemistry and aerosol modules, newer reprocessed satellite retrievals and changes in emission data sets. The CAM5 validation team has evaluated this new reanalysis data set for the period 2003-2016 with respect to reactive gases ( $O_3$ , CO,  $NO_2$ , HCHO) and aerosols. The evaluation focuses on the longer-term mean performance of the model, the performance of the data assimilation system and the comparison to the previous MACC reanalysis data set. Results show, that the CAM5 reanalysis has smaller biases compared to ozone, carbon monoxide, nitrogen dioxide and aerosol optical depth observations than the MACC reanalysis. It also shows a more consistent behavior in time. Limitations include, amongst others, the absence of a stratospheric chemistry scheme, which implies that the stratospheric concentrations apart from ozone need to be considered with caution. The CAM5 reanalysis data set is available to the public free of charge and can be downloaded on the CAM5 homepage (<http://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-releases-new-global-reanalysis-data-set-atmospheric-composition>).

## **Untersuchung der räumlichen Struktur des Windfeldes in der urbanen Grenzschicht anhand von co-planaren Dual-Doppler Lidarmessungen**

Bianca Adler (1), Norbert Kalthoff (1), Andreas Wieser (1), Olga Kiseleva (1), Niklas Wittkamp (1), and Christopher Claus Holst (2)

(1) Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Meteorology and Climate Research - Department Troposphere Research (IMK-TRO), Eggenstein-Leopoldshafen, Germany, (2) Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research - Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Germany

Der Austausch von Wärme und Luftbeimengungen zwischen Stadt und Umland wird maßgeblich von der mittleren und turbulenten Strömung in der atmosphärischen Grenzschicht bestimmt. Eine genaue Kenntnis des dreidimensionalen Windfeldes auf verschiedenen Skalen ist deshalb zum einen zum besseren Verständnis der am Austausch beteiligten Prozesse und zum anderen für die Evaluierung von Stadtklimamodellen erforderlich. Die Erfassung des Windfeldes mit der nötigen räumlichen und zeitlichen Auflösung stellt, insbesondere über komplexem Gelände, jedoch eine enorme messtechnische Herausforderung dar.

Im Rahmen des Stadtklimaprojektes [UC]2 wurden im Sommer 2017 und 2018 in und um Stuttgart umfangreiche Messungen durchgeführt. Stuttgart ist charakterisiert durch orographisch gegliedertes Gelände und eine hohe Bebauungsdichte, was, in Abhängigkeit von den Stabilitätsbedingungen, zu äußerst komplexen Strömungsmustern führen kann. Um die horizontale Struktur des Horizontalwindes zu erfassen, führten wir koordinierte co-planare Scans mit mehreren Doppler-Lidargeräten durch, die an gegenüberliegenden Hängen positioniert wurden. Anhand dieser Daten wurde der Horizontalwind in den überlappenden Bereichen mit dem Dual-Dopplerverfahren bestimmt. Die hohe räumliche ( $\sim 100$  m) und zeitliche Auflösung ( $\sim 1$  min) der abgeleiteten Horizontalwindfelder erlaubt es, die räumliche Verteilung konvektiver Strukturen zu untersuchen sowie charakteristische Größen wie Orientierung, Dimension, Längen- zu Breitenverhältnis und integrale Längenskala zu berechnen. Die Messung des Vertikalwindes mit einem weiteren Dopplerlidar im Überlappbereich der horizontalscannenden Geräte liefert zusätzlich Information über die vertikalen Eigenschaften der Strukturen.

## **Der Einfluss der Anströmbedingungen auf die Grenzschicht in einem Tal - Beobachtungen und hochauflösende Simulationen**

Norbert Kalthoff (1), Bianca Adler (2), and Inge Bischoff-Gauß (3)

(1) Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany (norbert.kalthoff@kit.edu), (2) Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany (bianca.adler@kit.edu), (3) Steinbuch Centre for Computing, Karlsruher Institut für Technologie, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany (inge.bischoff-gauss@kit.edu)

Anhand umfangreicher Messungen auf Korsika wurde untersucht, wie die atmosphärische Grenzschicht über einem Tal, das im Lee des Hauptgebirgskamms lag, von der großräumigen, westlichen Anströmung beeinflusst wird. Die verwendeten Beobachtungsdaten wurden während HYMEX (Hydrological cycles in the Mediterranean Experiment) im Jahr 2012 aufgezeichnet und umfassen verschiedene In-situ- (Radiosonden, Bodenstationen, Fernerkundungs- (Mikrowellenradiometer, Doppler-Lidar, Wolkenradar) und Flugzeugmessungen.

Zwei Tage im Oktober 2012 wurden detailliert analysiert, an denen die westliche Anströmung unterschiedlich stark war. An diesen Tagen wurde die Entwicklung der atmosphärischen Grenzschicht in dem Tal maßgeblich durch Konvektion, thermisch induzierte Windsysteme sowie durch die großräumige, westliche Anströmung bestimmt. Dabei waren die Bedingungen entlang der Talachse allerdings sowohl zeitlich als auch räumlich unterschiedlich. Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass in den Zeiten, in denen die dynamisch angetriebene Strömung dominierte, warme und trockene Luft aus der freien Troposphäre in Teilen des Tales tief hinunter in die Talatmosphäre transportiert wurde. An einem Tag mit stärkerer Anströmung kontrollierten diese Transporte die Grenzschichteigenschaften über mehrere Stunden lang, während sie am anderen Tag mit schwächerer Anströmung nur etwa eine Stunde lang beobachtet wurden. Um von den punktuell durchgeführten Beobachtungen zu einem Gesamtverständnis der beobachteten Phänomene zu gelangen, wurden zur Interpretationsunterstützung hochauflösende COSMO-Simulationen mit unterschiedlichen Gitterabständen (z.B. 500 m) durchgeführt.

## **Stadtklima-Modellierung zur Anpassung von klein- bis mittelgroßen Städten in Österreich an den Klimawandel**

Sandro Oswald (1), Brigitta Hollosi (1), Maja Zuvella-Aloise (1), Linda See (2), Gundula Prokop (3), Wolfgang Schieder (3), Alexander Storch (3), Stefan Guggenberger (4), and Wolfgang Hafner (4)

(1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Wien, Österreich, (2) International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Österreich, (3) Umweltbundesamt GmbH (UBA), Wien, Österreich, (4) International Project Management Agency Klagenfurt on Lake Wörthersee GmbH (IPAK), Kärnten, Österreich

Steigende Urbanisierungsraten führen zu einer Erhöhung der versiegelten Flächen in Städten, welche wiederum einer Verstärkung des sogenannten urbanen Hitzeinseleffekts (UHI - Urban Heat Island effect) führen. Im Zuge der Klimaerwärmung und der zunehmenden Urbanisierung werden Städte von diesem Effekt immer mehr betroffen sein, aber auch kleinere Städte müssen sich in Zukunft diesem Effekt stellen und dementsprechend vorbereiten. Die große Herausforderung liegt in der Zusammenarbeit von Stadtplanern, Architekten und Meteorologen welche Gestaltung von Dächern, Fassaden, Verkehrsflächen, Beschattung, Kaltluftschneisen und grüner Infrastruktur mit urbanen Klimamodellen verbinden und so nicht nur die Resilienz der Städte gegen den Klimawandel verbessern, sondern auch die Lebensqualität der Einwohnerinnen und Einwohnern erhöhen. Urbane Hitzeinseln beeinträchtigen nämlich die Gesundheit und das Wohlbefinden der städtischen Bevölkerung und führen zu steigenden Todesraten.

Mit dem Projekt ADAPT-UHI werden für drei österreichische Pilotstädte (Klagenfurt am Wörthersee, Salzburg und Mödling) vergangene und zukünftige Klimasimulationen durchgeführt um die oben erwähnten Hitzeinseln zu identifizieren. Unter der Berücksichtigung der jeweiligen regionalen Klimasituation und der individuellen Bebauungs- und Vegetationsstruktur jeder Stadt soll das lokale Klima aufgrund der individuellen Standortfaktoren so genau wie möglich modelliert werden. Dazu werden aktuelle Landnutzungs- und bedeckungskarten sowie das lokale Klimamodell MUKLIMO\_3 vom Deutschen Wetterdienst (DWD) verwendet. Die Auflösung der Gitterzellen beträgt 20 bis 100 m welche die gesamte Stadt sowie die umliegenden Gemeinden bzw. Bezirke beinhalten.

Um die Anzahl der Sommertage pro Jahr in der Zukunft realitätsnah zu simulieren, werden sechs Läufe des EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain) für die RCPs 4.5 und 8.5 in die Zeitperioden 2012-2050 und 2071-2100 verwendet. Erste Simulationen für Klagenfurt zeigen eine Erhöhung der Sommertage von über einem Monat pro Jahr im Zeitraum 2071-2100 für RCP 8.5. Als Klimaanpassungsmaßnahmen werden diverse Oberflächeneigenschaften verändert um die Effektivität der jeweiligen Anpassung für einzelne Stadt zu bestimmen. Unser Ziel ist es die Komponenten der Energiebilanz nahe der Bodenoberfläche zu verändern indem Anteile der Gründächer, Albedo für Dächer und Straßen, Entsiegelung von öffentlichen Plätzen und/oder Zahl der Bäume erhöht werden. Die Resultate dieser Szenarien werden bezüglich Möglichkeit in der jeweiligen Stadt gezeigt und analysiert.

Als weiteres Ziel soll die entwickelte Methode für andere Städte übertragbar und leicht nutzbar sein. Somit können andere klein- bis mittelgroße Städte langfristig UHI-Effekte in der Planung berücksichtigen und die negativen Folgen durch UHIs vermindern bzw. vermeiden.

Um die Bewusstseinsbildung für die Stadtbevölkerung bezüglich des Klimawandels zu erzeugen und vor den steigenden Gefahren dieses aufmerksam zu machen, wird zusätzlich eine Web-Plattform mit Adaptierungsmaßnahmen und Ergebnissen eingerichtet.

## Mit dem Segelflugzeug in die Stratosphäre

Dieter Etling

Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, Germany (etling@muk.uni-hannover.de)

Am 2. September 2018 wurde im Bereich der südlichen Anden ein neuer Höhenrekord für Segelflugzeuge aufgestellt. Das mit einer Druckkammer ausgestattete Spezialsegelflugzeug PERLAN 2 erreichte eine Höhe von 22,5 km. Damit übertraf ein Segelflugzeug nicht nur die typische Operationshöhe des deutschen Höhenforschungsflugzeug HALO (14 km), sondern auch den Höhenrekord des legendären Aufklärungsflugzeugs U2 (21,7 km). Als für den Segelflug notwendige Aufwinde nutzten die Piloten dabei das Leewellensystem der Anden aus. Damit sich Leewellen, oder allgemeiner Schwerewellen, bis in die untere und mittlere Stratosphäre ausbreiten können ist unter anderem notwendig, dass der Wind ohne größere Richtungsänderungen bis in die Stratosphäre mit der Höhe zunimmt. Die ist nur im Bereich des sogenannten Polarnacht-Jet möglich, der sich in den jeweiligen Wintermonaten etwa nördlich von 60° bzw. südlich von 50° Breite ausbildet.

Der Höhenrekord von PERLAN 2 wäre ohne Planung anhand der Vorhersage von Leewellen im Bereich der Stratosphäre nicht möglich gewesen. Hier helfen nun die Modelle für die numerische Wettervorhersage, welche bei genügender Auflösung Schwerewellen direkt vorhersagen können. Beim Perlan Projekt, welches zusammen mit Airbus International das Segelflugzeug PERLAN 2 betreibt, erfolgt die meteorologische Beratung für die Flugplanung durch die amerikanische Firma WeatherExtreme Ltd. Diese verwendet zur Wellenvorhersage das Modell WRF-EMS mit einem im Bereich von Südamerika genesteten horizontalen Gitter, wobei die Gitterweite im innersten Gebiet im Lee der Anden 0,67 km beträgt.

In diesem Beitrag wird die meteorologische Situation im Bereich der südlichen Anden für den Tag des Höhenrekords durch PERLAN 2 im Hinblick auf die Ausbreitung von Leewellen bis und die mittlere Stratosphäre untersucht. Für die generelle synoptische Situation wird dabei auf NCEP Reanalysen zurückgegriffen. Die Struktur der für den Höhenflug notwendigen Aufwinde im Leewellensystem der südlichen Anden wird anhand von Vorhersagen mit der hochauflösenden WRF-EMS Version von WetterExtreme analysiert.

## **Veränderung der Dynamik von Stratosphäre und Troposphäre im Klimawandel aus Sicht eines idealisierten Zirkulationsmodells**

Roland Walz and Hella Garny

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Germany (roland.walz@dlr.de)

Studien mit komplexen globalen Zirkulationsmodellen haben gezeigt, dass erhöhte Treibhausgaskonzentrationen die tropische Troposphäre stark erwärmen. Dadurch werden die oberen Flanken des troposphärischen Subtropenjets verstärkt, was wiederum die globale stratosphärische Luftzirkulation (Brewer-Dobson Zirkulation) intensiviert.

Um diese dynamischen Zusammenhänge besser verstehen zu können, verwenden wir das idealisierte globale Zirkulationsmodell EMIL (ECHAM MESSy Idealised Model), welches lediglich aus dem dynamischen Kern des globalen Zirkulationsmodells EMAC besteht. Strahlung, Konvektion und andere physikalische Prozesse werden durch Relaxation gegen eine vorgeschriebene Hintergrundtemperatur und durch einfache Winddämpfung ersetzt, wodurch sich die mittleren zonalen Temperatur- und Windfelder leicht verändern lassen. Dies kann genutzt werden, um die Auswirkungen von zusätzlichen Heizthermen in den Tropen, welche so konfiguriert werden, dass sie den Klimawandel repräsentieren, in Abhängigkeit vom mittleren Zustand der Atmosphäre zu untersuchen. Zusätzlich können in EMIL durch zonal variierende Topographie oder Heiztherme planetare Wellen generiert werden, welche Impulsflüsse in die Stratosphäre erzeugen und damit eine Brewer-Dobson Zirkulation induzieren. Außerdem sorgen diese topographisch oder thermisch angeregten planetaren Wellen für eine Variabilität des Polarwirbels. Diese Variabilität wird vor allem durch realitätsnahe Stratosphärenerwärmungen hervorgerufen, welche regelmäßig und plötzlich auftreten.

Wir diskutieren die Unterschiede der idealisierten Modellsimulationen im Hinblick auf ihre jeweilige Erzeugung von planetaren Wellen durch Topographie oder idealisiertes Heizen. Dies dient dazu, jene Konfiguration zu identifizieren, welche die dynamischen Prozesse in und zwischen Stratosphäre und Troposphäre möglichst realitätsnah repräsentiert. Dabei untersuchen wir, ob der Massenfluss im flachen und im tiefen Zweig der stratosphärischen Zirkulation im Klimawandel zunimmt, was im Allgemeinen vom Zustand des Polarwirbels und den tropischen Aufsteigraten abhängt. Da die Stärke des Polarwirbels wiederum entscheidend für die geographische Lage des troposphärischen Subtropenjets ist, präsentieren wir auch die Auswirkungen der tropischen Heiztherme auf die troposphärische Zirkulation.

## **Extreme Sturmfluten in der Deutschen Bucht**

Lidia Gaslikova, Iris Grabemann, Elke M.I. Meyer, and Ralf Weisse

Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Centre for Material and Coastal Research, Institute of Coastal Research, Geesthacht, Germany (lidia.gaslikova@hzg.de)

Sturmfluten stellen eine wesentliche Gefährdung für die deutsche Nordseeküste dar und für Planungen im Küstenschutz sind Informationen über die Wahrscheinlichkeit sehr extremer Sturmfluten und ihrer möglichen zukünftigen Änderungen von Bedeutung.

Zur Untersuchung extremster Sturmflutereignisse in der Nordsee, die aber physikalisch plausibel und möglich sind und die mit extremen Auswirkungen verbunden sein könnten, wurde ein umfangreicher Datensatz, bestehend aus Wasserständen und Wind- und Luftdruckfeldern, genutzt. Dieser Datensatz setzt sich aus Rekonstruktionen und Klimaprojektionen zusammen und spiegelt heutige und mögliche zukünftige Bedingungen wieder. Die Sturmfluten mit den extremsten Wasserständen für die deutsche Nordseeküste wurden herausgesucht und für verschiedene Orte zusammengestellt. Der Fokus der Untersuchung, die im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes EXTREMENESS ("Extreme Nordseesturmfluten und ihre Auswirkungen") durchgeführt wird, liegt auf der ostfriesischen Küste mit Borkum und der Emsmündung. Für Borkum fanden sich im Datensatz Ereignisse mit Wasserständen größer als die dort in den letzten 100 Jahren gemessenen. Die extremsten Ereignisse wurden hinsichtlich ihres Potentials, unter leicht geänderten, aber physikalisch plausiblen Bedingungen noch höher ausfallen zu können, analysiert.

Während im abgeschlossenen Projekt "Modellgestützte Untersuchungen zu Sturmfluten mit sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten an der deutschen Nordseeküste" (MUSE) eine Verstärkung bereits beobachteter Sturmflutereignisse durch Variationen der meteorologischen Bedingungen untersucht wurde, wird in EXTREMENESS eine mögliche Verstärkung der im Datensatz gefundenen Ereignisse u.a. durch Variationen der astronomischen Gezeit simuliert. Das Ereignis mit den höchsten gefundenen Wasserständen, das Ereignis mit der längsten Dauer anhaltender Wasserstände über mittlerem Tidehochwasser + 1.5m und eine Sturmflutkette werden dargestellt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen diskutiert.



## **Geschichte meteorologischer Messgeräte**

Thomas Foken

Universität Bayreuth, Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung (thomas.foken@uni-bayreuth.de)

Es ist allgemein bekannt, dass die ersten meteorologischen Messgeräte, die man von einigen Geräten in der Antike ab, im 15. und 16. Jahrhundert entstanden sind und mit Namen wie Leon Batista Alberti (Wind), Leonardo da Vinci (Feuchte) oder Galileo Galilei (Temperatur) verbunden sind. Weniger bekannt ist, dass teilweise noch mehrere hundert Jahre vergehen mussten, bis man das Wesen des Windes oder des Luftdruckes erkannte und die Geräte so konstruierte, dass man beispielsweise Temperatur und Druck separat messen konnte. Oft waren es nur kleine Veränderungen, die essentiell für die Entwicklung der Messgeräte waren. Ein typisches Beispiel des 19. Jahrhunderts ist auch das Assmann'sche Aspirationspsychrometer, denn das Psychrometerprinzip war lange bekannt, doch eine winzige Änderung machte es zu einem der genauesten Instrumente. Damit wird klar, dass meteorologische Messungen im heutigen Sinne erst im 18. und 19. Jahrhundert möglich wurden. Und damit entstand schon vor der Existenz elektrischer Messgeräte die Frage nach der Registrierung meteorologischer Größen, die interessante mechanische Lösungen hervor brachte. Die heutige Zeit mit der Beschränkung auf wenige Messprinzipien lässt diese großartigen Leistungen und wunderbaren Geräte leicht vergessen lassen. Der Vortrag will zeigen, wie die Entwicklung verschiedene Messgeräte sich gegenseitig bedingte und es ab dem 19. Jahrhundert gelang, zuverlässige Messungen durchzuführen.

## Die Rolle der Ozon-Strahlungs-Rückkopplung für die Klimasensitivität

Michael Ponater, Simone Dietmüller, and Vanessa Rieger

DLR-Institute for Physics of the Atmosphere, Earth System Modelling, Wessling, Germany (michael.ponater@dlr.de)

Der Klimaresponse bei einer Erhöhung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration kann inzwischen auch mit interaktiv gekoppelten Klima-Chemie-Modellen simuliert werden. Dabei tritt die Ozon-Strahlungs-Rückkopplung als weiterer Rückkopplungsprozess neben die bekannten Rückkopplungen über Wasserdampf, Wolken, Eis und Schnee, etc.. In einigen Klima-Chemie-Modellen werden durch das Auftreten der Ozonrückkopplung andere Rückkopplungsmechanismen modifiziert, so z.B. die Wolken- und die stratosphärische Wasserdampfrückkopplung. Während die Ozon-Strahlungs-Rückkopplung in allen bisher vorliegenden Modellsimulationen mit CO<sub>2</sub> als Strahlungsantrieb negativ ist, erweist sich die Wechselwirkung mit anderen Rückkopplungen als stark modellabhängig. Beispielsweise wird in einigen Modellen der Effekt der negativen Ozonrückkopplung durch ein Abnehmen der positiven Strahlungsrückkopplung über stratosphärischem Wasserdampf nachhaltig verstärkt. In der Konsequenz zeigt sich in solchen Modellen ein spürbar dämpfender Einfluss der interaktiven Chemie von etwa 20% auf die Klimasensitivität, während in anderen Modellen die Klimasensitivität mit und ohne interaktive chemische Prozesse beinahe unverändert bleibt.

Wird der Klimaresponse durch andere Strahlungsantriebe als eine CO<sub>2</sub>-Erhöhung ausgelöst, so kann sich der Einfluss der interaktiven Chemie auf die Klimasensitivität noch überraschender auswirken. In einer Simulation, in der der Strahlungsantrieb durch erhöhte Ozonvorläufer-Emissionen am Boden hervorgerufen wird, erhöht sich die Klimasensitivität sogar, obwohl die Ozon-Strahlungs-Rückkopplung auch hier negativ ist. Dieser paradoxe Effekt kann wiederum auf den indirekten Einfluss der Ozonrückkopplung auf andere Rückkopplungen, speziell auf die Wolkenrückkopplung, zurückgeführt werden.

## **Erste Identifizierung und Quantifizierung von abgelösten Blattspitzenwirbeln hinter einer WEA mit einem Starrflügler UAS**

Moritz Mauz

Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Eberhard Karls Universität, 72074 Tübingen, Deutschland  
(moritz.mauz@uni-tuebingen.de)

Das MASC-3 (Multi-purpose Airborne Sensor Carrier 3) UAS (Unmanned Aerial System) der Universität Tübingen wird zur Messung von atmosphärischen und meteorologischen Größen verwendet. Während der HeliOW Kampagne im Juli 2018 wurde das MASC-3 UAS hinter einer Windenergieanlage (WEA) im Jade Windpark nördlich von Wilhelmshaven, eingesetzt, um Wind- und Turbulenzdaten zu sammeln. Neben Daten der Turbulenz im Vor- und Nachlauf der WEA wurden auch Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit gemessen. In den gemessenen Windkomponenten  $u, v$  und  $w$  wurden abgelöste Blattspitzenwirbel identifiziert. Diese Wirbel werden mit dem analytischen Burnham-Hallock Wirbelmodell für zwei gegensinnig rotierende Wirbel modelliert und verglichen. Dieses Modell kommt aus der Luftfahrt und beschreibt zum Beispiel Wirbelschleppen eines Flugzeuges. Das Modell lässt sich jedoch auch für die Modellierung von Blattspitzenwirbeln heranziehen. Die Auswertemethodik und die Ergebnisse werden präsentiert, sowie Verbesserungsvorschläge für zukünftige Auswertungen vorgeschlagen.

Blattspitzenwirbel im Nachlaufen zu identifizieren und zu quantifizieren hilft den Ablöseprozess besser zu verstehen. Dies ist vor allem bei numerischen Simulationen von Nachläufen einer Windenergieanlage von großem Interesse. Zum Beispiel ist die räumliche Auflösung einer Simulation mit unter abhängig von der Ausdehnung der abgelösten Blattspitzenwirbeln. Außerdem lassen sich für Modellierer Aussagen zur weiteren Entwicklung im Nachlauf dieser Wirbel bis hin zur Dissipation ableiten. Die Daten entstanden unter dem Einfluss einer dominierenden marinen, stabilen thermischen Schichtung an Land mit einem Abstand von ca. 2 km zur Nordsee.

## visIvis: Kamerabasierte Sichtweitenbestimmung von Nebelsituationen

Harald Ganster (1), Jürgen Lang (2), and Fanny Kittler (2)

(1) JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Graz, Austria (harald.ganster@joanneum.at), (2) MeteoSolutions GmbH, Darmstadt, Germany (fanny.kittler@meteosolutions.de)

Die zuverlässige und exakte Beurteilung von Nebelsituationen ist für die Sicherheit kritischer Infrastrukturen (z.B. Flughäfen), für automatische Beobachtungsmessnetze aber auch beispielsweise für den optimalen Betrieb von Photovoltaikanlagen unerlässlich. Mit diesem Beitrag wird ein innovatives Verfahren zur kamerabasierten Sichtweitenmessung vorgestellt, welches von der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH in Graz entwickelt wurde. Als Vorteil gegenüber gängigen Sichtweitesensoren, welche aus einer lokalen Messung eine Sichtabschätzung für ein großes Umfeld ableiten und damit beispielsweise Nebelbänke einer speziellen Region nicht erkennen, bildet die kamerabasierte Sichtweitenmessung eine klassische Beobachtersituation nach. Hierbei wird der gesamte Bildbereich untersucht, wodurch eine repräsentative Aussage über das komplette Blickfeld der Kamera getroffen werden kann. Dadurch sind lokale Nebelbänke sowie deren zeitliche Entwicklung erfassbar. Das visIvis System kann sowohl für bestehende Kameras wie beispielsweise Webcams als auch für neu einzurichtende Kameras weitgehend automatisiert adaptiert werden. Dabei ist auch eine Anwendung während der Nachtstunden möglich.

Basierend auf einem Trainingsdatensatz von Kamerabildern mit sehr guten und schlechten Sichtverhältnissen erkennt das visIvis System automatisch Bildbereiche, die am besten für die Sichtbarkeitsableitung geeignet sind (z.B. Gebäude oder orografische Strukturen), und leitet optimale Parameter (z.B. Bildmerkmale und Qualitätskriterien) für die Sichtbarkeitserkennung ab. Weiterhin werden Entfernungsmessungen durch Georeferenzierung unter Nutzung hochauflösender digitaler Oberflächen- und Geländemodellen integriert. Durch die Kombination dieser Entfernungsinformation, bei der jedem Bildpunkt ein entsprechender Abstand zur Kamera zugeordnet wird, und der statistischen Analyse von sichtbaren und nicht sichtbaren Bildbereichen, wird eine repräsentative Schätzung der vorherrschenden Sichtbarkeit für den gesamten kamerabedeckten Bereich abgegeben. Gleichzeitig können weitere Sichtbarkeitsinformationen wie z.B. die minimale und die maximale Sichtweite, klassifizierte Sichtweiten etc. abgeleitet werden

Erste Nutzer (Flugsicherungsorganisationen und Wetterdienste) setzen das visIvis System unterstützend bei der automatisierten Beurteilung von Wettersituationen mittels Standardkameras ein. Dabei liegt die erreichte Leistung mit 5-20 % nach QUAM (<https://www.eurachem.org/index.php/publications/guides/quam>) im Bereich der von der WMO geforderten Leistung für Beobachtungsberichte.

In diesem Beitrag wird das visIvis System detaillierter vorgestellt und eine Reihe von Praxisbeispielen und deren Ergebnisse präsentiert. Dies beinhaltet Auswertungen aktueller Implementierungen, sowohl von Flugsicherungs-Szenarien als auch von synoptischen Anwendungen, um die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zu verdeutlichen.

## Eiskristallkonzentrationen aus Satellitendaten

Johannes Quaas (1), Odran Sourdeval (1,2), Edward Gryspeerdt (3), Martina Krämer (4), and Johannes Mühlmenstädt (1)

(1) Institut für Meteorologie, Universität Leipzig, Deutschland (johannes.quaas@uni-leipzig.de), (2) Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Université de Lille, France (odran.sourdeval@univ-lille.fr), (3) Imperial College London, UK (e.gryspeerdt@imperial.ac.uk), (4) Institut für Energie- und Klimaforschung, Forschungszentrum Jülich, Deutschland (m.kraemer@fz-juelich.de)

Während es mittlerweile zahlreiche Studien gibt, die die globale Verteilung der Mikrostruktur von Flüssigwasserwolken untersuchen, ist die globale Verteilung der Mikrostruktur von Eiswolken weitgehend unbekannt. Ein Grund liegt darin, dass Eiskristalle wesentlich schwieriger mit Fernerkundungsverfahren zu vermessen sind. Auch ist die Mikrophysik in Eiswolken noch wesentlich komplexer als in Flüssigwasserwolken. Ein wichtiges Problem ist es, dass es bislang keinerlei Anhaltspunkte aus globalen Beobachtungsdaten gibt, inwiefern Eiswolken auf die Störung der atmosphärischen Aerosolkonzentration durch anthropogene Emissionen reagieren.

Wir haben nun kürzlich eine Methode vorgeschlagen, um die Eiskristallanzahlkonzentration,  $N_i$ , aus Satelliten-Wolken-Lidar und -Radar abzuleiten. Hierbei wird in einem variationellen Verfahren die Größenverteilung geschätzt. Das Radar-Lidar-Verfahren für  $N_i$  ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Daher ist der erste in der Präsentation diskutierte Punkt eine eingehende Evaluierung des Retrievals und seiner Ergebnisse mit Hilfe von in situ-Beobachtungen insbesondere des HALO-Forschungsflugzeugs. Es zeigt sich, dass viele Aspekte trotz der Unsicherheiten sinnvolle Informationen liefern. So findet man anhand der neuen Daten plausible Abhängigkeiten etwa der Temperatur, oder der Höhe innerhalb der Wolke, sowie der geographischen Verteilung. Der Datensatz soll genutzt werden, um auch Aussagen über die Veränderung von Eiswolken durch anthropogene Aerosole zu treffen. Daneben werden erste Studien vorgestellt, in denen die neuen Daten zur Evaluierung von Atmosphärenmodellen herangezogen werden.

## **Einfluss von Klimaszenarien unterschiedlicher Auflösung auf die Ergebnisse agrarmeteorologischer Modelle in unterschiedlichen Regionen Österreichs**

Sabina Thaler (1,2), Josef Eitzinger (1), Gerhard Kubu (1), Barbara Chimani (3), Christoph Matulla (3), Johann Hiebl (3), Michael Hofstätter (3), Douglas Maraun (4), and Thomas Mendlik (4)

(1) Institute of Meteorology, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria (sabina.thaler@boku.ac.at), (2) CzechGlobe-Global Change Research Institute CAS, Brno, Czech Republic, (3) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Klimaforschung, Wien, Austria, (4) Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz, Graz, Austria

Um einen einheitlichen Klimaszenariendatensatz für die Klima- und Klimaimpaktforschung in Österreich zur Verfügung zu haben und so künftige Studien vergleichbar zu machen, wurde der ÖKS15-Datensatz erstellt. Diese ÖKS15-Klimaprojektionen beinhalten 13 Modelle mit verschiedenen RCP Szenarien für den Zeitraum 1951-2100 und weisen eine räumliche Auflösung von 1km x 1km Gitternetz auf. In unserer Studie wurden diese Daten als Inputdaten für das prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodell DSSAT (CERES-Maize, CERES-Barely, CERES-Wheat) und für das agrar-klimatologische Risikoindikatormodell AGRICLIM für drei klimatisch unterschiedliche Agrargebiete in Österreich verwendet. Simuliert wurden Winterweizen, Sommergerste und Körnermais und drei verschiedenen Bodenklassen. Zu Beginn wurden die Unsicherheiten bei Verwendung der ÖKS15 Projektionen als Inputdaten in den verwendeten Klimaimpaktmodellen (Untersuchungszeitraum 1981-2010) herausgearbeitet. Hierbei zeigte sich, dass Sommergerste die stabilsten simulierten Erträge, während nicht bewässerter Mais, insbesondere in trockenen Gebieten, die größten Ertragsschwankungen aufweist. In einem weiteren Schritt wurde der Einfluss unterschiedlicher räumlicher Auflösung der Klimaszenarien auf ausgewählte simulierte Indikatoren und Ergebnisse untersucht. Dazu wurden die Klimadaten von 1 km auf 5km, 11km und 21km aggregiert. Bewässerter Körnermais und Sommergerste zeigen dabei in allen drei Untersuchungsgebieten die kleinsten simulierten Ertragsabweichungen, da unter diesen Bedingungen die Wasserversorgung nicht ertragslimitierend wirkt. In einem letzten Schritt wurde die Entwicklung der Ernteerträge unter zukünftigen Klimaszenarien simuliert. Winterweizen und Sommergerste zeigen hier tendenziell eine Ertragszunahme bis zum Ende des Jahrhunderts, während Mais, bewässert und nicht bewässert, wegen einer verkürzten Wachstumsperiode bei unveränderter Reifegruppe eine Ertragsreduktion in allen drei Untersuchungsgebieten aufweist.

## 20 Jahre Regionales Dobson Kalibrierzentrum für Europa am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg

Ulf Köhler (1), Wolfgang Steinbrecht (1), Fritz Schönenborn (1), Hans Claude (1), Karel Vanicek (2), Ladislav Metelka (2), and Martin Stanek (2)

(1) Deutscher Wetterdienst, Met. Obs. Hohenpeissenberg, Hohenpeissenberg, Germany (ulf.koehler@dwd.de), (2) Czech Hydrometeorological Institute, Solar and Ozone Observatory, Hradec Kralove, CZ

Erste Messungen des Gesamtzongehaltes in der Atmosphäre begannen 1926 nach der Entwicklung und dem Bau der ersten Dobson Spektrophotometer, benannt nach deren „Erfinder“ Prof. G.M.B. Dobson aus Oxford. Ein größeres, globales Messnetz, das in großen Teilen heute noch existiert, wurde im Nachgang des Internationalen Geophysikalischen Jahres (IGY) 1957 aufgebaut. Schon in den 60er Jahren erkannte man bei sporadischen Vergleichen, dass die Messgenauigkeit einiger Instrumente stark nachgelassen hatte mit Messfehlern von bis zu mehr als 10%.

Daraufhin wurde beschlossen, Referenzinstrumente zu bestimmen, die bei anfangs sporadischen Kalibrierkampagnen als Standard verwendet wurden. Ab Mitte der 80er Jahre, als die Bedeutung und Gefährdung der Ozonschicht u.a. wegen der Entdeckung des antarktischen Ozonlochs in den Fokus der Atmosphärenforschung gelangte, wurde ein globales Dobson Kalibriersystem ins Leben gerufen. Dieses besteht derzeit aus einem Welt-Kalibrierzentrum bei der NOAA in Boulder (WDCC), die den Primärstandard D083 betreiben, und fünf regionalen Kalibrierzentren (RDCCs), darunter seit 1999 das für Europa (RDCC-E) am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg (MOHp) in enger Zusammenarbeit mit dem Solar and Ozone Observatory im tschechischen Hradec Kralove (SOO-HK). Neben der Durchführung jährlicher eigener Kampagnen vor Ort, beteiligte sich das RDCC-E durch wissenschaftliche und technische Unterstützung maßgeblich an mehreren Kalibrierungen auch in der Schweiz, Spanien, Ägypten und Südafrika.

In diesen 20 Jahren wurden in insgesamt 50 Kalibrierkampagnen – 29 davon am MOHp – 168 mal die ca. 40 Dobson Spektrometer aus 28 Ländern Europas und Afrikas erfolgreich überprüft, gegebenenfalls repariert und größtenteils modernisiert. Im globalen Kalibriersystem wurden seit den 60er Jahren die operationellen Instrumente fast 500 mal überprüft, davon 297 mal seit 1999. Betrachtet man die Ergebnisse der sogenannten Initial Calibrations (1. Vergleichsmessung zu Beginn einer Kampagne ohne jegliche Arbeiten am Instrument) seit den 80er Jahren und vergleicht diese mit den frühen Jahren, ist der Erfolg dieses Kalibriersystems nicht zu übersehen. Von den anfänglich großen Differenzen zum Standard-Dobson bis zu mehr als  $\pm 10\%$  sanken in den vergangenen zwei Dekaden nicht nur in Europa, sondern weltweit bei mehr als 2/3 (206 von 297) der untersuchten Dobson Spektrometer diese Fehler bei der Initial Calibration auf unter  $\pm 1\%$ . Dieser Beleg insbesondere für die Stabilität der Dobson-Instrumente führte dazu, dass der von der WMO anfänglich empfohlene Kalibrierzyklus von 4 Jahren auf bis zu 6 Jahre ausgedehnt werden konnte.

Durch die Aktivitäten in diesem globalen Dobson Kalibriersystem ist die für Trendanalysen und Satellitenvalidierung nötige Genauigkeit der Dobson Messungen gewährleistet.

## **Effektiver Strahlungsantrieb und schnelle Rückkopplungen von Kondensstreifen-Zirren**

Marius Bickel, Michael Ponater, Svenja Reineke, and Lisa Bock

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Erdsystem-Modellierung, Wessling, Germany (mariaus.bickel@dlr.de)

Kondensstreifen-Zirren liefern den größten Beitrag zur Klimawirkung des Luftverkehrs und spielen daher eine wichtige Rolle bei der Begrenzung des durch die Luftfahrt verursachten Klimawandels. Bislang wurde der Beitrag zur Klimawirkung von Kondensstreifen und Kondensstreifen-Zirren auf der Basis des stratosphären-adjustierter Strahlungsantrieb bewertet. Es wurde aber bereits gezeigt, dass die Wirksamkeit des stratosphären-adjustierten Strahlungsantriebs von linienhaften Kondensstreifen hinsichtlich einer Temperaturänderung am Boden deutlich reduziert ist. Der stratosphären-adjustierte Strahlungsantrieb stellt somit im Falle von Kondensstreifen-Zirren eine eher ungeeignete Größe zur Abschätzung der Klimawirkung dar.

Hier präsentieren wir Ergebnisse von globalen Klimamodellsimulationen zur Berechnung von effektiven Strahlungsantrieben, welche nach neuestem Kenntnisstand wahrscheinlich ein wesentlich besseres Maß zum Vergleich von Beiträgen zur totalen Klimawirksamkeit darstellen. Unsere Simulationen zeigen einen deutlich verringerten effektiven Strahlungsantrieb im Vergleich zum stratosphären-adjustierten Strahlungsantrieb. Somit ist die zu erwartende Klimawirkung von Kondensstreifen-Zirren, im Vergleich zu bisherigen Abschätzungen des Strahlungsantriebs, deutlich reduziert. Für ein CO<sub>2</sub> Erhöhungsexperiment gleicher Stärke fällt die Reduktion des effektiven Strahlungsantriebs im Vergleich zum stratosphären-adjustierten Strahlungsantrieb wesentlich kleiner aus.

Zur Klärung der physikalischen Ursachen des reduzierten effektiven Strahlungsantriebs wurden die schnellen Strahlungsrückkopplungen mit Hilfe einer Rückkopplungsanalyse nach dem „partial radiative perturbation“-Verfahren bestimmt. Im Kondensstreifenfall ist die Reduktion auf eine stark negative Wolkenrückkopplung, bedingt durch die Abnahme von natürlichen Wolken, zurückzuführen. Dagegen wird die Abnahme im CO<sub>2</sub> Fall hauptsächlich durch eine negative Rückkopplung der Landoberflächentemperatur verursacht.

## **Hochaufgelöste Stadtklimaprojektionen der sommerlichen Hitzebelastung als Grundlageninformation zur Unterstützung der Klimaanpassung in Städten**

Saskia Buchholz, Meinolf Kossmann, Heike Noppel, Philip Lorenz, and Sabrina Wehring  
Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach, Germany  
(saskia.buchholz@dwd.de)

Da die Anpassung an die Folgen des Klimawandels überwiegend auf kommunaler Ebene erfolgt, werden für viele Entscheidungen hochaufgelöste und robuste Klimaprojektionen benötigt. Die räumliche Auflösung von Regionalklimamodellen ist derzeit noch unzureichend für planerische Entscheidungen der Raumordnung und Bauleitplanung (gilt insbesondere für Wind und Lufttemperatur). Um die für die Stadtentwicklung relevante Heterogenität der Stadtstrukturen und der Landschaft auflösen zu können, kommen Stadtklimamodelle zum Einsatz. Diese wiederum benötigen aufgrund der hohen räumlichen und davon abhängig auch zeitlichen Auflösung sehr viel Rechenzeit, sodass sie bisher nicht für dynamische Klimaprojektionen genutzt werden können. Um diese Limitierungen zu überwinden und hochaufgelöste Klimaprojektionen für Städte bereitzustellen, hat der Deutsche Wetterdienst mit der „Quadermethode“ (Früh et. al 2011) einen geeigneten dynamisch-statistischen Ansatz für die räumliche Verfeinerung regionaler Klimaprojektionen entwickelt.

Seit ca. 10 Jahren sind mit der Quadermethode berechnete Klimaprojektionen der sommerlichen Hitzebelastung für viele deutsche Städte (z. B. Frankfurt am Main, Köln, München und Halle an der Saale) verfügbar. Die ersten Stadtklimaprojektionen wurden auf der Grundlage des moderaten IPCC Emissionsszenarios A1B mit einem Ensemble von vier regionalen Klimaprojektionen gerechnet. Seither haben sich sowohl die Klimamodelle weiterentwickelt als auch die Verfügbarkeit von Multi-Modell-Ensembles, die eine robustere Abschätzung des Klimawandels ermöglichen. Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, hat der Deutsche Wetterdienst erneut die Änderung der Anzahl verschiedener Kenntage (z. B. heiße Tage und Tropennächte) einheitlich für neun Städte aus verschiedenen Klimaregionen Deutschlands berechnet. Basis hierfür bildet das aktuelle DWD-Referenz-Ensemble für die drei Representative Concentration Pathways (RCP)-Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Die Ergebnisauswertungen wurden für die nahe Zukunft 2031-2060 und die ferne Zukunft 2071-2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971-2000 vorgenommen.



## Das Stationsnetz der k.u k. Centralanstalt

Rainer Stowasser, Joachim Albenberger, Barbara Chimani, and Anita Paul  
ZAMG, Library, (rainer.stowasser@zamg.ac.at)

Mit der Gründung der Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus im Jahre 1851 begann der erste Direktor Karl Kreil mit dem Auf- und Ausbau des meteorologischen Beobachtungsmessnetzes in den Gebieten der österreichischen Monarchie. Dieses erstreckte sich bis zum Ende des I. Weltkrieges von Lemberg - dem heutigen Lwiw in der Ukraine - im Osten bis Bregenz im Westen und von Nürnberg im Norden bis Lesina- dem heutigen Hvar in Kroatien - im Süden.

Die Stationen im Gebiet der Republik Österreichs wurden mit Beginn der elektronischen Datenverarbeitung recht rasch nacherfasst. Den Stationen und den historischen Wettermeldungen im "Ausland" wurde bzw. wird erst seit kürzerem im Rahmen der EuMetNet Data Rescue Aktivität Aufmerksamkeit geschenkt. In Zusammenarbeit mit Projektpartnern aus In- sowie Ausland konnten Papierbestände aufgearbeitet und die historischen Lücken schrittweise geschlossen werden.

Der Vortrag zeichnet die Entwicklungslinien des ZAMG Messnetzes von 1851-1919 nach und erzählt die Geschichte der Rahmenbedingungen, wobei einerseits meteorologische/klimatologische aber andererseits rein pragmatische Erfordernisse zur Gründung/Schließung/Verlegung von Stationen angeführt werden.

Ein wichtiger Faktor war der Ausbau der Eisenbahn und der simple Zusammenhang Station= Telegraph = Wettermeldung kann in der zeitlichen Abfolge gezeigt werden, aber auch viele Zufälligkeiten haben eine Rolle gespielt und zeichnen ein Bild das sich erst bei der Betrachtung über die Jahre erschließt und anhand von Karten gezeigt werden kann. Insbesondere die "mobilen Wetterstationen" (Truppenmeldungen) während des 1 Weltkrieges erzählen eine besondere Geschichte.

## Polarimetrische Radarsignaturen in der Zone bevorzugten Dendritenwachstums für das Nowcasting

Silke Trömel (1), Alexander Ryzhkov (2), Brandon Hickman (1), Kai Mühlbauer (1), and Clemens Simmer (1)

(1) Meteorological Institute, University Bonn, Bonn, Germany (silke.troemel@uni-bonn.de), (2) Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies, University of Oklahoma, and NOAA/OAR/National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma

Frühere Studien legen einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Bändern erhöhter spezifischer differentieller Phase  $K_{DP}$  in Höhen in denen bevorzugt das Wachsen von dendritischen Eispartikeln vorkommt (DGL, Dendritic Growth Layer) - d.h. zwischen  $-10^{\circ}\text{C}$  und  $-20^{\circ}\text{C}$  - und anschließender Niederschlagsintensivierung am Boden nahe. In den üblichen azimuthalen Abtastungen polarimetrischer Wetterradare (Plane Position Indicator, PPI) sind allerdings phasenbasierte Messungen wie das  $K_{DP}$  meist zu verrauscht für quantitative Analysen. Sogenannte Quasi-Vertikale-Profile (QVPs), die durch azimuthale Mittelung von PPIs bei mittleren Elevationswinkeln erzeugt werden, stellen eine neue Methode zur Prozessierung und Darstellung von polarimetrischen Radardaten dar, die eine vertrauenswürdige Detektion und Quantifizierung der für das Nowcasting relevanten Radarsignale erlaubt. Kombiniert mit Messungen der Radarreflektivität  $Z_H$  erlauben dann polarimetrische Messungen wie  $K_{DP}$  auch verlässliche Schätzungen des Eiswassergehaltes IWC und zum Schneewasser äquivalente Niederschlagsraten S(IWC).

Die Projektion der polarimetrischen IWC- bzw. S(IWC)-Schätzer zum Erdboden unter Berücksichtigung der horizontalen Drift eröffnet ein großes Potential für das radarbasierte Nowcasting von stratiformem Niederschlag mit Vorhersagezeiten von 30 Minuten und mehr, eben der Zeit die in der DGL generierter Schnee mit Fallgeschwindigkeiten von ungefähr 1 m/s für den Weg zum Erdboden benötigt. Wir stellen hier Analysen von Niederschlagsmessungen am Boden und QVPs von 52 stratiformen Niederschlagsereignissen vor, die mit dem Bonner polarimetrischen X-Band Radar (BoXPol) über mehrere Jahre erfasst wurden. Zunächst werden Windprofile des in Raum und Zeit nächsten verfügbaren Radiosondenaufstieges verwendet um die Trajektorien des generierten Schnees zum Boden unter Berücksichtigung des Schmelzens zu berechnen. Für die betrachteten Ereignisse liegen die horizontalen Verlagerungen zwischen 2 km und 100 km. Die Korrelationsanalyse zwischen  $K_{DP}$  in der DGL und gemessenen bodennahen  $Z_H$ , an den durch die Trajektorien bestimmten Orten, zeigen für Zeitverschiebungen/ Vorhersagezeiten von bis zu 60 Minuten Korrelationskoeffizienten bis zu 0.78 und unterstützen damit das vorgeschlagene Nowcastingkonzept. Die DGL-basierten S(IWC)-Zeitreihen zeigen sehr gut den, um die jeweilige Fall(Vorhersage-)zeit verschobenen, Verlauf gemessener Niederschlagszeitreihen an diesen Orten. Da mikrophysikalische Prozesse wie Reifen (riming), Anlagerung von flüssigen Tropfen (accretion) oder Verdunstung jedoch den Niederschlagsfluss von S(IWC) zwischen DGL und Erdboden modifizieren können, sind derzeit noch keine guten Schätzungen von resultierenden systematischen Abweichungen zwischen verschiedenen existierenden DGL-basierten S(IWC)-Schätzern möglich. Hierzu ist eine Klimatologie von S(IWC)-Profilen für unterschiedliche synoptische Bedingungen notwendig.

Abschließend werden mögliche Verbesserungen diskutiert, die durch lokalere und auch häufigere Windprofil-schätzungen über sogenannte Velocity-Azimuth Displays (VADs) aus der Dopplerinformation von Radaren erfolgen könnten. Polarimetrische Vertikalprofile abgeleitet aus mehreren PPIs bei unterschiedlichen Elevationswinkeln über azimuthal eingegrenzten Segmenten (Columnar-Vertical Profiles, CVPs) - eine Modifizierung der QVPs - werden ebenfalls für die oben beschriebenen Nowcasting-Strategie eingesetzt werden.

## **Monitorings- und Vorhersagesystem wetterbedingter abiotischer und biotischer Risiken für die österreichische Landwirtschaft mithilfe agrarmeteorologischer Indikatoren und Algorithmen (ARIS)**

Josef Eitzinger (1), Vojko Daneu (1), Wolfgang Fuchs (1), Sabina Thaler (1), Gerhard Kubu (1), Ahmad Manschadi (1), Maximilian Heilig (1), Miroslav Trnka (2), Bramislava Lalic (3), Ana Firanj (3), Sylvia Blümel (4), Michael Oberforster (4), Alois Egartner (4), Katharina Wechselberger (4), Andreas Schaumberger (5), Patrick Hann (6), Claus Trska (6), Katharina Falkner (1), Hermine Mitter (1), and Erwin Schmid (1)

(1) Univ. of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna, Austria (josef.eitzinger@boku.ac.at), (2) Mendel University, Brno, Czech Republic, (3) Univ. of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad, Serbia, (4) AGES - Austrian Agency for Health and Food Safety, Vienna, Austria, (5) Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Austria, (6) MELES GmbH - Ingenieurbüro für Biologie, Austria

Das ARIS (Agricultural Risk Information System) wurde im Projekt COMBIRISK (combirisk.boku.ac.at) des österreichischen Klimafonds (ACRP) entwickelt und basiert auf der Entwicklung eines operationellen, nutzpflanzenspezifischen Trockenheitsmonitoringssystem (inkl. 5-10 Tage Vorhersage) dass an die österreichischen Verhältnisse und Bedürfnisse der Landwirtschaft angepasst ist (zeitnahe und räumlich hoch aufgelöste, standortbezogene Informationen). Um dieses Ziel zu erreichen, wurden vereinfachte Ansätze von Modellen adaptiert und kombiniert - ein Wasserbilanzmodell, ein phänologisches Modell und Modelle für nutzpflanzenspezifische Ertragseffekte für 5 wichtige Kulturen für Österreich (Grünland, Winterweizen, Sommergerste, Mais und Zuckerrübe). Die methodischen Ansätze wurden mithilfe der erstellten Datenbank kalibriert und getestet. Zusätzlich wurde das räumlich basierte INCA Produkt täglicher Wetterdaten (inkl. Vorhersagedaten) für einen täglichen Eingabeprozess optimiert. Zur Demonstration operationeller Nutzung der Ausgabedaten des Systems für Österreich wurde ein Internetportal erstellt bzw. entwickelt, dass schließlich im Jahr 2017 in Kooperation mit der Landwirtschaftskammer Österreich auch operationell umgesetzt wurde. Dieses Trockenheitsmonitoringssystem wurde in den letzten 2 Jahren durch Reihe weiterer wetterbedingten Risiken abiotischer und biotischer Natur im Projekt COMBIRISK zu „ARIS“ erweitert. Das Projekt behandelt dabei die Identifizierung unterschiedlicher wetterbezogener Risiken für die Pflanzenproduktion durch Indikatormodelle, wobei als Basis eine Datenbank aus verfügbaren nutzpflanzenspezifischen Daten und diverser Witterungsauswirkungen aufgebaut wurde. Diese beinhaltet z.B. regionalbezogene Daten von dokumentierten extremen Wetterereignissen und relevante ertragswirksame Auswirkungen auf Nutzpflanzen. Frei verfügbare Datensätze werden dabei als offene Datenbank ForscherInnen und anderen Projekten zur Verfügung gestellt um größere Synergieeffekte in der Forschung zu erzielen. Die aus der Datenbank verfügbaren, beobachteten witterungsbasierten (direkten und indirekten) Schadereignisse werden zu Messdaten der Witterung in Bezug gesetzt (statistisches Screening) und sodann in Form von kalibrierten Indikatormodellen in einem GIS implementiert. Wichtige bereits kalibrierte Indikatoren beinhalten neben nutzpflanzenspezifischen Trockenheits- und Hitzeindikatoren und damit verbundene Ertragsreduktion, die Schneedeckendauer, Indikatoren günstiger meteorologischer Wachstumsbedingungen, Bodenbefahrbarkeit/Feldarbeitstage, Überwinterungsschadensrisiko für Winterkulturen, Spätfrostschadensrisiko bei Apfel, Huglin Index Wein, Maiswurzelbohrer und Maiszünsler, Infektionsrisiko bei falschem Mehltau und andere. Die Entwicklung und der Betrieb eines operationellen Monitoring Systems für wetterbezogene Risiken in der Landwirtschaft benötigt laufende wissenschaftliche Betreuung und Interaktion mit der landwirtschaftlichen Praxis zur Qualitätssicherung. Daten, Feedbacks und Bedarfserhebungen wurden bzw. werden zum Beispiel von der Landwirtschaftskammer Österreichs, der Hagelversicherung, der AGES, AGRANA und anderen zur Verfügung gestellt, die operationelle Plattform wird derzeit von der Landwirtschaftskammer Österreichs getragen. LINK zum operationellen Monitoringssystem ARIS : <https://warndienst.lko.at/winterweizen+2500++6578?typ=RSSC>

## **Hagelgefährdung und Hagelrisiko in Deutschland basierend auf einer Kombination von Radardaten und Versicherungsdaten**

Manuel Schmidberger (1), James Daniell (2,3), Michael Kunz (1,3)

(1) Institute of Meteorology and Climate Research (IMK), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany (manuel.schmidberger@kit.edu), (2) Geophysical Institute (GPI), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, (3) Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), Karlsruhe, Germany

In Deutschland, insbesondere Süddeutschland, entstehen bedingt durch schwere Hagelstürme jährlich große Schäden an Gebäuden, Fahrzeugen und in der Landwirtschaft. Aufgrund der geringen horizontalen Ausdehnung dieser Hagelereignisse werden diese von den derzeitigen Modell- und Beobachtungssystemen nicht oder nur unvollständig erfasst. Um diese Beobachtungslücke zu füllen, werden räumlich und zeitlich hoch aufgelöste, dreidimensionale Radardaten im Zeitraum von 2005 bis 2015 (jeweils von April bis September) verwendet. Die Analyse der Radardaten erfolgt mit Hilfe des Zellverfolgungsalgorithmus TRACE3D. Die Ergebnisse führen zum einen zu einer hochaufgelösten Verteilung der Hagelfrequenz in Deutschland und zum anderen zu einer einzigartigen Statistik vergangener Hagelzugbahnen.

Diese Ergebnisse bilden anschließend die Basis für ein stochastisches Zugbahnenmodell, mit dessen Hilfe beliebig viele stochastische Zugbahnen, welche den Charakteristiken vergangener Zugbahnen genügen, generiert werden können.

Anschließend erfolgt eine detaillierte Analyse der Vulnerabilität der im Portfolio enthaltenen Objekte anhand von gut dokumentierten historischen Hagelereignissen wie beispielsweise am 28. Juli 2013. Mit diesen Informationen lassen sich die Gebäude anhand ihrer Schäden in unterschiedliche Klassen mit ähnlichen Schadencharakteristiken einteilen und es können daraus ihre Vulnerabilitätsfunktionen bestimmt werden. Diese Vulnerabilitätsfunktionen ermöglichen es, die Gefährdung aus den stochastisch modellierten Zugbahnen und die Vulnerabilität der Gebäude zu einem mittleren Schadenverhältnis zu verbinden und anschließend mögliche Schäden zu berechnen.

Das stochastische Schadenmodell erlaubt es trotz des kurzen Beobachtungszeitraums von nur 11 Jahren Radardaten eine robuste Schätzung des Hagelrisikos für ein Portfolio abzugeben. Eine Simulationsdauer von beispielsweise 10 000 Jahren stellt eine ausreichend große Stichprobe von Hagelzugbahnen zur Verfügung, so dass Aussagen über maximal mögliche Schäden mit Wiederkehrperioden von beispielsweise 100 oder 200 Jahren getroffen werden können. Zusätzlich ermöglicht eine weitere Modellversion eine schnelle Schadensschätzung nach realen Ereignissen, um die Schadenregulierung nach einem Hagelsturm zu optimieren und zu beschleunigen.



## Urban heat island and aerosol-cloud interactions in the Rhine-Main area

Joachim Fallmann, Marc Barra, and Holger Tost

University Mainz, Institute of Atmospheric Physics, Mainz, Germany (jfallmann@uni-mainz.de)

The excessive warming of impervious surfaces and additional release of anthropogenic heat promotes urban heat island (UHI) formation. Human activities lead to an increase of emissions of air pollutants which in turn influences the chemical composition of urban air. Anthropogenic aerosols either produced locally or transported from remote areas are linked to the modulation of the regional hydrological cycle.

This study investigates the combined effects of the thermodynamic nature of the urban boundary layer and aerosol loading on rainfall and cloud cover in the Rhine-Main urban area. After the Ruhr and the Berlin metropolitan area, the Rhine-Main area is the third largest urban agglomeration in Germany, with a total population exceeding 5.8 million. Being a highly industrialized region, urban emissions play an important role for regional air quality here. For analyzing the link between UHI and aerosol transport and chemistry in and around clouds, we use the global chemistry climate model EMAC and its regional nested version MECO(n), which are based on the ECHAM (global) and the COSMO (regional) models. Regional nesting into a global chemical transport model allows for both the representation of synoptic meteorology and regional thermodynamic properties of the urban boundary layer.

Our model results show, that urban originated aerosols can act as cloud condensation nuclei, triggering cloud formation and remote precipitation events. The sign and magnitude of precipitation and cloud cover varies significantly for different aerosol concentrations and emission scenarios and is dependent upon regional meteorological patterns.

In the framework of current discussions on air pollution regulations in German cities we design dedicated case studies where we artificially increase or decrease local pollution levels and analyze the expected effects on meteorology, locally and remote. Observations from local measurement stations and satellite data is used to evaluate our model results.

## Nächtliche Windscherung und atmosphärische Gegenstrahlung

Stefan Emeis

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung - Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Germany (stefan.emeis@kit.edu)

Stabilisierung der Grenzschicht am Nachmittag und Abend führt zu höheren vertikalen Windscherungen bis hin zur Ausbildung von Low-Level Jets (LLJ), was für Luftqualität und Windenergienutzung relevant ist. In Emeis (2014) war der prinzipielle Zusammenhang zwischen einigen Parametern der LLJs und den meteorologischen Parametern gezeigt worden. In Emeis (2017) wurde gezeigt, dass es einen maximalen Wert für die vertikale Windscherung unterhalb von LLJs gibt, der nur von dem vertikalen Temperaturgradienten abhängt (und vielleicht von der Oberflächenrauigkeit). Dieser Zusammenhang reicht aber noch nicht aus, verlässlich die wirklich auftretende Windscherung zu bestimmen, er gibt nur eine obere Schranke.

Der bodennahe vertikale Temperaturgradient in der abendlichen und nächtlichen Grenzschicht wird sehr stark durch die Auskühlung des Bodens bestimmt. Diese Auskühlung des Bodens wiederum ist die Folge einer negativen langwelligen Strahlungsbilanz der Bodenoberfläche (kurzwellige Strahlung spielt nachts keine Rolle). Neben den Bodeneigenschaften (Bodenart, Landnutzung, Bodenfeuchte) spielt bei der Auskühlung im Wesentlichen die abwärts gerichtete langwellige Strahlung eine Rolle, die aus der Atmosphäre kommt. Diese Strahlung wird durch zwei Parameter bestimmt, die mittlere absolute Luftfeuchte in der Grenzschicht und der Bedeckungsgrad mit niedrigen und mittelhohen Wolken. Modifizierend kommt bei nicht verschwindendem Wind noch ein turbulenter Wärmefluss von der Atmosphäre zum Boden hinzu.

Hier soll nun in der Literatur vorhandenes Wissen zur nächtlichen langwelligen Strahlungsbilanz der Bodenoberfläche benutzt werden, um zu untersuchen, ob damit der bodennahe vertikale nächtliche Temperaturgradient vorhergesagt und damit die in der Nacht zu erwartende vertikale Windscherung besser prognostiziert werden kann.

Emeis, S., 2014: Wind speed and shear associated with low-level jets over Northern Germany. Meteorol. Z., 23, 295-304.

Emeis, S., 2017: Upper limit for wind shear in stably stratified conditions expressed in terms of a bulk Richardson number. Meteorol. Z., 26, 421-430.



## **Impact of land-surface heterogeneity on boundary layer – free troposphere coupling and precipitation using the ICON-LEM model**

Shweta Singh, Leonhard Gantner, and Norbert Kalthoff

Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate - Troposphere Research (IMK-TRO), Germany  
(shweta.singh@kit.edu)

Convective events are the result of different states of the atmospheric modifications due to synoptic scale condition and/or land surface characteristics. A major role in the process chain from land-surface variations, Atmospheric Boundary Layer (ABL) heterogeneity and convection is played by ABL-troposphere coupling – a process that occurs on different scales. The identification, as well as the quantification of this coupling, is important for a better estimation of the occurrence and strength of convection and its influence on heavy precipitation events. Land surface heterogeneity can be defined in terms of differences in soil type, orography, vegetation, and land use etc. These variations along with cloud cover influence the surface turbulent fluxes pattern. Lightning can be taken as a proxy for moist deep convection.

In this study, based on orographic complexities and associated hotspots of convection, we aim at three investigation areas: flat terrain, isolated orography, and complex orography. Suitable days for simulation were selected using the criteria of low wind speed and considerable flash density over the respective areas. The dependence of the diurnal cycle of surface sensible heat flux pattern on the parameters of leaf area index, orography, soil moisture, and net shortwave radiation was measured using the standardized multiple regression coefficients. The source areas of convective cells were identified using the backward trajectory model (LAGRANTO). The atmospheric moisture and heat budget terms have been calculated in order to quantify the coupling. For example, in flat terrain, the source area for convection shows a good correlation with enhanced sensible heat flux pattern and accompanied regions, where the boundary layer is warmer than the surroundings which further induce the formation of secondary circulation system along the lakes of the aimed area. The simulations show a higher boundary layer and faster growth rate over inhomogeneous area in comparison to the homogeneous area. The major energy input comes from the turbulent heat and moisture flux.

## **Untersuchung von Strömungsmustern in der urbanen Grenzschicht mit virtuellen Masten aus Multi-Doppler-Lidar Messungen**

Niklas Wittkamp, Bianca Adler, Olga Kiseleva, Norbert Kalthoff, Andreas Wieser, and Christopher Holst  
Karlsruhe Institute of Technology (KIT), IMK-TRO, Land Surfaces and Boundary Layer, Germany  
(niklas.wittkamp@partner.kit.edu)

Die atmosphärische Grenzschicht in Großstädten wird stark durch die dichte und heterogene Bebauung beeinflusst. Die Bebauung wirkt sich wesentlich auf mittleren Wind und Turbulenz in urbanen Grenzschichten und damit den Transport von Wärme und Spurenstoffen aus.

Im Rahmen des Stadtklimaprojekts [UC]<sup>2</sup> (Urban Climate Under Change) wurden im Sommer 2017 und 2018 in Stuttgart zahlreiche Messungen durchgeführt. [UC]<sup>2</sup> hat zum Ziel die atmosphärischen Austauschprozesse in Großstädten besser zu verstehen und hochauflösende Modellierung zu verbessern. Stuttgart ist einerseits charakterisiert durch dichte Bebauung und andererseits die Lage im Gebiet zweier Täler, wodurch in Abhängigkeit von der Wetterlage sehr komplexe Strömungsmuster entstehen können.

Die Untersuchung des Windfeldes in Städten gestaltet sich mit traditionellen Methoden wie Messmasten sehr aufwändig und ist oftmals – vor allem in größeren Höhen - nicht möglich. Zur Messung von Wind in Städten bieten sich daher Fernerkundungsverfahren, insbesondere Doppler-Lidar-Geräte an. Um Profile des horizontalen bzw. dreidimensionalen Windes zu messen führten wir Multi-Doppler-Messungen mit mehreren Lidar-Geräten durch. Dabei messen mehrere Lidar-Geräte von verschiedenen Standorten gleichzeitig die radialen Windgeschwindigkeitskomponenten an einem Punkt im Raum, woraus Windvektoren berechnet werden können. So werden Windprofile, sogenannte „Virtuelle Masten“ bestimmt.

Im Jahr 2017 wurden mit zwei Lidar-Geräten Profile des Horizontalwindes an 6 verschiedenen Punkten in der Stadt bestimmt, welche im Querschnitt der Täler innerhalb des Stuttgarter Stadtgebiets liegen. Im Sommer 2018 wurde ein Virtueller Mast mit drei Lidar-Geräten vermessen, wodurch ein Profil dreidimensionaler Windvektoren an dieser Stelle bestimmt werden kann.

## Ein neuer Crowdsourcing-Standard für Wetter- und Impact-Beobachtungen

Thomas Krennert, Rainer Kaltenberger, Andreas Schaffhauser, and Georg Pistotnik  
Central Institute for Meteorology Vienna, Austria, (t.krennert@zamg.ac.at)

Im operationellen Vorhersagedienst bekommen Informationen über die Auswirkung von Wetterereignissen auf das öffentliche Leben und die Mobilität eine immer größere Bedeutung. Auch die WMO empfiehlt den nationalen Wetterdiensten, Impact-basierte Wetterprognosen und Unwetterwarnungen auszugeben.

Automatische Wetterstationen messen atmosphärische Parameter in hoher Frequenz und Genauigkeit, erlauben jedoch keine Aussage über die Auswirkungen des Wetters am Boden. Für Informationen über die „Ground Truth“ von Wetterereignissen sind noch immer menschliche Beobachtungen nötig. Beispiele für Situationen, in denen diese Informationen besonders wertvoll sind, wären etwa das Auftreten von Hagel, Überflutungen, Sturmschäden, Schneeverwehungen, Nebel oder Phasenwechseln zwischen flüssigem, festem oder gefrierendem Niederschlag.

Für das Sammeln solcher Wetter- und Impact-Meldungen kooperiert die ZAMG seit 2009 mit interessierten Hobbymeteorologen, die sich im Verein „Skywarn Austria“ zusammengeschlossen haben. Ein regelmäßig angebotenes Training bildet die Skywarn-Mitglieder zu beglaubigten Wettermeldungen („Trusted Spotter“) aus und gewährleistet eine Standardisierung und Qualitätskontrolle der Meldungen. Eine Vereinheitlichung der Meldekriterien erlaubt auch das Einspielen der Meldungen in Echtzeit in die European Severe Weather Database (ESWD), die vom European Severe Storms Laboratory (ESSL) betrieben wird, sowie die Anwendung des dortigen Systems unterschiedlicher Qualitätsflaggen. Diese Zusammenarbeit zwischen der ZAMG, dem Trusted Spotter Network Austria und dem ESSL ist europaweit einzigartig und wurde von der Europäischen Meteorologischen Gesellschaft als „Best Practice“ anerkannt.

Von ESSL wurde nun eine neue App namens European Weather Observer (EWOB) entwickelt, mit der nicht nur extreme, sondern auch „gewöhnliche“ Wetterereignisse gemeldet werden können. Das entsprechende Ereignis wird aus einer vorgefertigten Liste ausgewählt und kann optional mit einem Zusatztext versehen werden. Die Position des Melders und ein Zeitstempel werden automatisch mitgesendet. Die einfache Bedienbarkeit, die sofortige Darstellung der Meldungen auf einer Karte und das Wegfallen von Meldekriterien bei dieser App macht das Absetzen von Wettermeldungen auch für eine breitere Öffentlichkeit attraktiv, deren Wetterbegeisterung sonst nicht weit genug reichen würde, um sich in Melderichtlinien einzuarbeiten und mit Schulungen zu beschäftigen.

Wir erwarten, dass auf diese Weise ein bisher weitgehend fehlender Echtzeit-Feedbackloop zwischen Wetterdiensten und der Öffentlichkeit aufgebaut werden kann, der auswirkungsbezogene Wetterprognosen und Unwetterwarnungen deutlich genauer und verlässlicher macht und somit neue Maßstäbe im Katastrophenmanagement und der gesellschaftlichen Resilienz setzen soll.

In unserem Beitrag präsentieren wir mögliche Anwendungen des neuen Meldestandards sowie das Konzept des Datenaustausches zwischen nationaler und europäischer Ebene.

## **Der Einfluss von 3-dimensionaler thermischer Strahlung auf die Dynamik und Mikrophysik von Cumuluswolken**

Carolin Klinger (1), Graham Feingold (2), Bernhard Mayer (1), and Takanobu Yamaguchi (3)

(1) Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Physik, Lehrstuhl für Experimentelle Meteorologie, München, Deutschland (carolin.klinger@physik.uni-muenchen.de), (2) Chemical Sciences Division, NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL), Boulder, Colorado, USA, (3) Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, University of Colorado, Boulder, Boulder, CO, USA

Strahlung beeinflusst maßgeblich die Bildung und Entwicklung von Wolken. Solare Strahlung erwärmt die Erdoberfläche. Die aufsteigende Luft kühlt sich ab und bei Erreichen des Kondensationsniveaus bilden sich Wolken. Wolken emittieren und absorbieren thermische Strahlung. Die an den Grenzflächen zwischen Wolken und Atmosphäre entstehenden Erwärmungs- und Abkühlungsraten können einige hundert K/d groß werden und sind somit um einige Größenordnungen höher als typische Abkühlungsraten der unbewölkten Atmosphäre von 1-2 K/d. Bei finiten Wolken werden 3D Effekte der Erwärmungs- und Abkühlungsraten in Form von Wolkenseiteneffekten wichtig.

Die thermischen Erwärmungs- und Abkühlungsraten an den Wolkenseiten haben Auswirkungen auf die Dynamik von Wolken bzw. des Wolkenfeldes sowie auf die mikrophysikalischen Eigenschaften der Wolken. Mit Hilfe wolkenauflösender Modelle wurde gezeigt, dass Erwärmungs- und Abkühlungsraten die Zirkulation (Aufwind in der Wolke und verstärkte Abwindbereiche am Rand der Wolke; sogenannte „subsiding shells“) sowie die Dynamik im Wolkenfeld und somit die Organisation des Wolkenfeldes (Zellen und Wolkenanhäufung) verändern können. Des Weiteren haben Erwärmungs- und Abkühlungsraten Einfluss auf das Wachstum von Wolkentröpfchen und können somit Auswirkungen auf die Entstehung von Niederschlag haben. In der Folge können dynamische Prozesse durch Regen beeinflusst werden. Zudem haben veränderte mikrophysikalische Eigenschaften von Wolken Auswirkung auf die Wolkenzirkulation und können die dynamische Auswirkung thermischer Strahlung mindern.

In dieser Präsentation zeigen wir thermische Erwärmungs- und Abkühlungsraten im Vergleich von 3D-Rechnung und 1D-Näherung, sowie deren Einfluß auf Tröpfchenwachstum, dynamische Rückkopplung und Niederschlagsbildung.

## Staubteufel

Alice Loesch and Ronald du Puits

Technische Universität Ilmenau, Thermo- und Fluidodynamik, Aerodynamik, Germany (alice.loesch@tu-ilmenau.de)

Staubteufel sind atmosphärische Luftwirbel mit einer vertikalen Achse. Die Wirbel bilden sich bei einer bodennahen Erwärmung durch starke Sonneneinstrahlung und dem daraus resultierenden vertikalen Temperaturgradienten. Die Struktur eines typischen Staubteufels wird dominiert von einem radialen Zufluss nahe der Erdoberfläche und einer vertikalen Aufwärtsströmung innerhalb des Wirbels. Viele Mechanismen im Zusammenhang mit ihrer Entstehung und ihren charakteristischen Eigenschaften sind bis heute nur unzureichend verstanden, da experimentelle Untersuchungen auf in-situ Messungen der Atmosphäre beschränkt sind.

In unserem Vortrag präsentieren wir eine Idee, wie Staubteufel in einem Laborexperiment generiert und Prozesse, die zu deren Entstehung beitragen, untersucht werden können. Wir verwenden dazu eine Versuchsanlage, die im Wesentlichen aus einem luftgefüllten, zylindrischen Tank mit einem Innendurchmesser von 7,15m und einer Gesamthöhe von 8m besteht. Am Boden des Tanks befindet sich eine Heizplatte, deren Temperatur zwischen 20°C und 80°C präzise eingestellt werden kann. Eine zweite Platte, die in einer beliebigen Höhe zwischen 0,2m und 6,3m positioniert werden kann, wird zum Kühlen mit Temperaturen von 10°C bis 30°C genutzt. Die Seitenwand des Tanks ist vollständig adiabatisch. Mit dieser Anordnung, die auch als Rayleigh-Bénard-System bezeichnet wird, lassen sich die Verhältnisse in einer konvektiven, atmosphärischen Grenzschicht gut nachbilden und die Entstehung von Wirbelstrukturen unter kontrollierten Bedingungen untersuchen.

Derartige Strukturen, die in ihren Eigenschaften Staubteufeln sehr ähnlich sind, wurden in diesem sogenannten *Ilmenauer Fass* bereits in der Vergangenheit beobachtet [1]. Sie sollen nun systematisch messtechnisch erfasst und charakterisiert werden. Unter anderem soll die Frage beantwortet werden, wie die Größe und Häufigkeit von den Umgebungsparametern abhängt. Dazu wird eine optische Messmethode, das sogenannte Particle Tracking Verfahren genutzt, mit dem das dreidimensionale Strömungsfeld innerhalb und außerhalb eines solchen Wirbels vermessen werden kann.

**Schlüsselwörter:** Rayleigh-Bénard-Konvektion, konvektive Grenzschicht, Staubteufel

[1] E. LOBUTOVA, C. RESAGK, T. PUTZE (2010): Investigation of large-scale circulations in room air flows using three-dimensional particle tracking velocimetry. *Build. Environ.* **45**, 1653 - 1662.

## **Large-Eddy Simulationen von Staubteufeln mit beobachtbarer Intensität: Auswirkungen von Gitterweite, Hintergrundwind und Oberflächenheterogenitäten**

Sebastian Giersch (1), Maren Brast (2), Fabian Hoffmann (3), and Siegfried Raasch (1)

(1) Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland, (2) Metek Meteorologische Messtechnik GmbH, Elmshorn, Germany, (3) Chemical Sciences Division, NOAA Earth System Laboratory, Boulder, USA

Staubteufel sind an der Erdoberfläche gebundene, konvektive Wirbel mit vertikaler Rotationsachse, die durch das Aufwirbeln von Bodenpartikeln sichtbar werden. Derzeit besteht eine große Unsicherheit darüber, in welchem Maß Staubteufel zum Aerosoleintrag in die Atmosphäre beitragen und hierdurch den Strahlungshaushalt und mikrophysikalische Prozesse von Wolken beeinflussen. Vergangene Bemühungen, den Transport zu quantifizieren und die Entstehung, Erhaltung und Statistik von Staubteufeln mittels Large-Eddy Simulationen zu untersuchen, führten nur bedingt zum Erfolg. So stimmen bis heute wichtige Eigenschaften von numerisch simulierten Staubteufeln nicht mit denjenigen überein, die tatsächlich beobachtet werden. Ein wesentlicher Unterschied ist die Druckreduktion im Wirbelzentrum verglichen mit der Umgebung. Die simulierten Werte sind fast eine Größenordnung kleiner im Vergleich zum beobachteten Wertebereich von typischerweise 250 Pa bis 450 Pa. Die stark idealisierten Setups, bei denen beispielsweise homogene Wärmeströme zur Erzeugung einer atmosphärischen konvektiven Grenzschicht angenommen wurden, könnten im Zusammenhang mit den recht groben Gitterweiten von 10 m und mehr die Diskrepanz der Druckminima erklären. In dieser Studie werden mittels Large-Eddy Simulationen die Effekte von verschiedenen Faktoren untersucht, welche zu einer signifikanten Veränderung der simulierten Wirbelstärke führen. Das Kernziel dabei ist die Simulation von Staubteufeln, welche die zu beobachtende Intensität annehmen. Es zeigt sich, dass eine hohe räumliche Auflösung von 2 m, ein moderater Hintergrundwind und eine heterogene Bodenheizung die Wirbelstärke signifikant erhöhen. So konnten erstmals Staubteufel mit einem Kerndruck wie in der Realität beobachtet numerisch reproduziert werden. Zusätzlich demonstrieren die Ergebnisse, dass die Wirbel hauptsächlich an den Linien horizontaler Strömungskonvergenz über den Zentren der stärker erhitzten Gebiete entstehen. Dies steht im Gegensatz zu älteren Befunden, welche Staubteufel vor allem entlang der Ränder und Knotenpunkten des typischen hexagonalen Zellenmusters einer konvektiven Grenzschicht zeigen.

Schlüsselwörter: Large-eddy Simulationen, konvektive Grenzschicht, Staubteufel



## Trade-offs in flux disaggregation

Matthias Sühring (1), Stefan Metzger (2,3), Ke Xu (3), Dave Durden (2), and Ankur Desai (3)

(1) Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, (suehring@muk.uni-hannover.de), (2) National Ecological Observatory Network, Boulder, USA, (3) Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Wisconsin-Madison, Madison, USA

Airborne flux measurements can be applied to quantify the surface-atmosphere exchange over heterogeneous land surfaces. While often applied to infer area-averaged fluxes, it is also possible to infer component fluxes emanating from different surface patches via flux dis-aggregation strategies. Here, we emulate flux dis-aggregation strategies by conducting an ensemble of virtual flight measurements within a set of large-eddy simulations over idealized surface heterogeneities. The resulting patch surface fluxes are compared with the known patch surface fluxes in the simulation. To calculate fluxes along the flight leg, we applied the traditional eddy-covariance and a wavelet method.

We show that the resulting patch surface fluxes are captured best when fluxes along the flight leg are calculated with the wavelet method, where the dis-aggregation error is almost invariant of the segment length used for flux calculation. For the eddy-covariance method, however, the error strongly depends on the segment length, with largest random and systematic errors for shorter segments. Among our simulation set-ups, an optimal segment length for flux calculation is determined to be 3-4 km for the eddy-covariance method, while with the wavelet method even shorter segment lengths of a few hundreds of meters can be chosen, which enables sufficient isolation of signals from surface patches and the resolution of small-scale surface heterogeneity.

## **Untersuchung des Flugverhaltens in konvektiven Wettersituationen durch Verschneidung von Flugtrajektorien mit radarbasierten meteorologischen Größen**

Jürgen Lang (1), Stefan Schwanke (2), and Ulrike Gelhardt (1)

(1) MeteoSolutions GmbH, Darmstadt, Germany, (2) DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Germany

Im Rahmen von SESSAR2020 PJ10(1) wurde unter Beteiligung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS), der MeteoSolutions GmbH und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ein Projekt durchgeführt, das zum Ziel hat, zweidimensionale konvektive Gebiete zu definieren, die aufgrund der dort herrschenden stark konvektiven Wetterbedingungen ein Sicherheitsrisiko für Verkehrsflugzeuge darstellen und u.U. zu einem Ausweichen von Flugzeugen führen. Diese sog. „Adverse Wx Zones“, die gegenüber heute genutzten Warnprodukten sehr viel praxisorientierter sind, sollen in Zukunft in den Überwachungsmonitoren der Fluglotsen visualisiert werden, um damit den Verkehrsfluss und die Abstimmung mit den Piloten zu optimieren.

Auf die Entscheidung eines Piloten, ein konvektives Gebiet auf seiner Flugroute zu durchfliegen oder diesem auszuweichen, sind meteorologische und flugtechnische Größen einflussgebend. Als wichtigste Größe ist hier die Intensität eines konvektiven Gebietes in Verbindung mit dessen horizontaler und vertikaler Ausdehnung zu nennen. Die horizontale Ausdehnung steht dabei in direkter Relation zur Flugdistanz bzw. der Aufenthaltsdauer des Flugzeuges innerhalb eines konvektiven Gebietes. Als weitere Größen sind zudem die aktuelle mittlere Flughöhe und die Flugphase zu nennen. Des Weiteren spielt nach Angaben von Piloten die Tageszeit eine Rolle. So muss in der Nacht auf die Außensicht weitestgehend verzichtet werden und es wird ein größerer Sicherheitsabstand eingehalten. Die flugtechnisch festen Größen wie Frachttyp, Gewichtsklasse und Triebwerkstyp haben zwar grundsätzlich einen Einfluss, dieser wird jedoch von den im Rahmen des Projektes interviewten Piloten als gering gewertet. Für die Untersuchung wurden zur Analyse der meteorologischen Verhältnisse Radarreflektivitäten sowie konvektive Warnstufen aus dem sog. NowCastMIX-Aviation System des DWD berücksichtigt. Um das Flugverhalten der Piloten bei konvektiven Wetterereignissen zu analysieren, wurden die Daten von anonymisierten Flugtrajektorien von Verkehrsflugzeugen mit den meteorologischen Größen verschnitten und statistisch ausgewertet. Das Untersuchungsgebiet wurde dabei auf den Bremer Luftraum begrenzt.

Neben den genutzten Daten und Verfahren werden in dieser Präsentation einige Ergebnisse vorgestellt. So zeigt die Verschneidung der meteorologischen Größen mit den räumlich und zeitlich zugeordneten Flugtrajektorien die zu erwartende deutliche Abnahme der Durchflüge durch konvektive Gebiete mit zunehmender Schwere der Warnstufe. Die in den Daten beobachteten Durchflüge hoher Warnstufen treten insbesondere in Flughöhen unterhalb 1000 m auf und können somit überwiegend der Landephase, in der nur eingeschränkte Ausweichmöglichkeiten gegeben sind, zugeordnet werden.

Aufgrund bisher fehlender Vertikalinformationen in den berücksichtigten meteorologischen Größen konnte in dieser Studie noch nicht das Überfliegen konvektiver Gebiete untersucht werden. Deshalb ist geplant, in einer weiteren Untersuchung Echotop-Informationen in die Datenverschneidung zu integrieren.

Danksagung: Wir danken dem DWD und der DFS für die Bereitstellung der benötigten Daten.

(1) This project has received funding from the SESAR Joint Undertaking under grant agreement No 734143 under European Union's Horizon 2020 research and innovation program.

Trotz der SESAR-Förderung ist hier ausschließlich die Autoren – Meinung dargestellt.

## **Bodengebundene Mikrowellenradiometer zur Atmosphärensondierung in der Vorhersage: Fehlermodell, Kalibration, Rauschanalyse, Qualitätskontrolle und Datenformate**

Harald Czekala (1), Gerrit Maschwitz (1), Emiliano Orlandi (1), Thomas Rose (1), Ulrich Löhnert (2), Susanne Crewell (2), Domenico Cimini (3), and Francesco de Angelis (3)

(1) RPG Radiometer Physics GmbH, Meckenheim, Germany, (2) Institute for Geophysics and Meteorology, University of Cologne, Germany, (3) CNR-IMAA, Potenza, and CETEMPS, L'Aquila, Italy

Die Assimilation von Helligkeitstemperaturen (TB) der polarumlaufenden Mikrowellenradiometer ist seit langem etablierter Stand der Technik in der numerischen Wettervorhersage. Die Temperatur- und Feuchteprofilierung mit bodengebundenen Radiometern dagegen wird bisher noch nicht operationell eingesetzt. Die Gründe dafür sind vor allem die fehlenden Methoden, die fehlenden Netzwerke solcher Instrumente und die niedrigere vertikale Auflösung der Radiometer gegenüber den Wetterballons.

Die Mikrowellenradiometer auf Satellitenplattformen werden mit hohen Kosten zu Einzelstücken mit maximaler Zuverlässigkeit und Genauigkeit entwickelt. Im Gegensatz dazu müssen Radiometer für Bodennetzwerke in höherer Stückzahl zu einem ungleich günstigeren Preis verfügbar sein, um eine realistische Anwendungsperspektive zu bieten. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Wetterfestigkeit und Genauigkeit nicht weniger komplex als bei Weltraumanwendungen.

In der vergangenen Dekade haben die Mikrowellenradiometer eine Entwicklung von experimentellen Instrumenten weg und hin zu einer stabilen und hochpräzisen Technologie durchlaufen. Mit neuartigen Empfängertechnologien und Kalibrationsverfahren (sowohl Primärkalibrationen als auch automatische interne Kalibrationen) erreichen moderne Radiometer in Frequenzbereichen von 20 GHz bis 60 GHz und einer Integrationszeit von einer Sekunde eine Präzision der Strahlungstemperatur (TB) von 0,15 K bis 0,05 K (durch weitere 10 s Integration sogar bis 0,02 K). Die absoluten Fehler der TB hängen entscheidend von der Genauigkeit der primären (absoluten) Kalibration ab, die aus Mangel an Eichstandards durch fundamentale physikalische Prinzipien erreicht werden muss. Verbesserte Verfahren ermöglichen jetzt Kalibrationen mit weniger als 0,15 K absolutem Fehler.

Der Effekt der verbesserten Genauigkeit (wohl absolut, als auch relativ) im Vergleich der Vorgänger-Generation von Radiometern erhöht den Informationsgehalt der vertikalen Profile von Temperatur und Feuchte um jeweils etwa einen Freiheitsgrad. Die Vertikalauflösung bleibt damit zwar immer noch unter den Möglichkeiten der Radiosonden, aber die zeitliche Auflösung liegt im Minutenbereich und passt damit wesentlich besser zu den Anforderungen der heutigen hochaufgelösten Modellgitter. Weiterhin lassen sich auch die Probleme von Ballon-Drift und Aufstiegszeit innerhalb der Troposphäre effektiv verhindern.

Mikrowellenradiometer können so mit der allwettertauglichen Beobachtung insbesondere der Grenzschicht eine Beobachtungslücke schließen, die sich aus den Nachteilen der Wetterballons und der prinzipiellen Limitierung der Satellitenbeobachtung in Bodennähe ergibt. Für eine praktische Verwendung in der direkten Assimilation der Mikrowellen-TB ist es notwendig, dass die Wettermodelle den Vorwärtsoperator, das Fehlermodell und die individuelle Fehler-Charakterisierung der verwendeten Mikrowellenradiometer kennen. Für den Vorwärtsoperator wurde das bei Satellitendaten zur Anwendung kommenden RTTOV Strahlungstransportmodell um eine bodengebundene Messgeometrie („RTTOV-gb“) erweitert, so dass die TB Daten von bodengebundenen Mikrowellenradiometern nun in gleicher Weise wie Satellitendaten verwendet werden können.

Die Charakterisierung der TB-Messdaten erfolgt durch ein NetCDF Datenformat, das innerhalb der CF-Richtlinien („Climate and Forecast Center“) neben den TB Daten einen vollständigen Block von Metadaten bereitstellt. Die darin enthaltenen Angaben über die Fehlerbudgets, Kovarianz-Matrizen der Mehrkanalempfänger, Kalibrationszustand des Gerätes und eine automatische Qualitätskontrolle erlauben eine Verwendung der Daten vollkommen analog zu den satellitengestützten Mikrowellenradiometern.

## **Möglichkeiten und Grenzen der Bereitstellung räumlich repräsentativer Komposit-Produkte von Wind und Globalstrahlung mit Unsicherheitsangaben für die Modellverifikation**

Bernd Stiller and Frank Beyrich  
DWD, MOL-RAO, Tauche, Germany

Das Observatorium Lindenberg (Deutscher Wetterdienst) nutzt zur zeitlich hoch aufgelösten Erfassung des Windvektors verschiedene Instrumente und Messverfahren (Turm bis 99 m ausgerüstet mit Schalenstern und Ultraschallanemometer, sowie verschiedene Fernsondierungssysteme für Messungen in unterschiedlichen, sich nur teilweise überlappenden Höhenbereichen bis maximal 16 km (Doppler-Sodar, Doppler-Lidar, 482 MHz-Radar-Windprofiler)).

Die Windmessungen der einzelnen Systeme unterscheiden sich in vertikaler und zeitlicher Auflösung, in der vertikalen und zeitlichen Verfügbarkeit und haben eine differierende Messunsicherheit.

Für die Verifikation der Vorhersagen der NWV-Modelle sollte eine robuste Methode entwickelt werden, die halbstündlich gemittelte zusammengesetzte Windprofile (Windprofil-Komposits) liefert und den jeweiligen Winddaten (Windkomponenten  $u$ ,  $v$  bzw. Windgeschwindigkeit und -richtung) eine Unsicherheit zuordnet. Die Daten sollen repräsentativ für Modellgitterpunkte nahe dem Standort Lindenberg (WMO-Kennziffer 10393) sein.

Die Präsentation zeigt Beispiele der ab Januar 2014 in der Datenbank Lindenerger Säule bereitgestellten Windprofile, auch in Bezug auf die Ursprungsdaten, erklärt das Verfahren der Ableitung sowohl für gewichtete arithmetische Mittel als auch für gewichtete Unsicherheiten und gibt einen Überblick über die Verfügbarkeit von Komposit-Werten.

Während für Überlegungen zur räumlichen Repräsentativität der Windmessungen nur drei verschiedene Messstandorte genutzt werden konnten, standen für Untersuchungen zur räumlichen Repräsentativität der Globalstrahlung acht Orte in einem Sondermessnetz mit einem Abstand zwischen den einzelnen Messstationen von ca. 7 bis 8 km zur Verfügung. Die Daten wurden als 10-min-Mittel im Zeitraum 2000 bis 2015 erfasst. Eine Auswertung zeigte, dass aus den Messdaten der Globalstrahlung an einem Punkt durchaus auf das Flächenmittel der Globalstrahlung, auch bei schnell wechselnden Bewölkungsverhältnissen geschlossen werden kann. In der Präsentation wird das Verfahren erläutert, das auch eine quantitative Unsicherheitsangabe liefert.

## **Die Erfindung der Radiosonde im Spiegel eines zeitgenössischen französischen Journals**

Bernd Stiller

Wettermuseum e.V. Museum für Meteorologie und Aerologie, D-15848 Tauche OT Lindenberg  
(bernd.stiller@wettermuseum.de)

Die Entwicklung der Radiosonde, deren Bezeichnung auf Hugo Hergesell (1859 - 1938) zurückgeht, erreichte Ende der 1920er Jahre die Phase erster erfolgreicher Erprobungen. Zuvor war es Wissenschaftlern in Deutschland (Max Robitzsch (1887 – 1952) und Friedrich Herath (1889 – 1974)) und in Frankreich (Pierre Idrac) bereits in Einzelfällen gelungen, Messwerte von Instrumenten, die an Wetterdrachen angebracht waren, über den Drachendraht zum Boden zu senden.

Am 7. Januar 1929 gelang es Robert Bureau (1892 – 1965) in Trappes erstmals, die Signale einer Radiosonde zu empfangen, die Temperaturwerte aus der freien Atmosphäre übermittelte. Aber auch in der Sowjetunion (Pawel Moltschanow (1893 – 1941)) und in Deutschland (Paul Duckert (1900 – 1966)) wurden bald danach Radiosonden erfolgreich erprobt, teils mit weiterentwickelten Fähigkeiten (Moltschanow-Sonde: Temperatur- und Druckwerte in Morse-Zeichen kodiert, Duckert: auch Feuchtemessung).

Im Mittelpunkt der Präsentation steht eine Wiedergabe eines mehrseitigen Berichtes eines französischen „Flieger-Journals“ aus den 1930er Jahren, der sehr euphorisch diese „französische Erfindung“ würdigt, sowie die Technik detailliert beschreibt und illustriert und Einsatzmöglichkeiten voraussagt. Eine Übersetzung in die deutsche Sprache wurde angefertigt. Das Zeitschriftenoriginal erwarb das Wettermuseum bei einer Auktion.

Der Finne Vilho Väisälä, der am 30. Dezember 1931 seine erste Radiosonde gestartet hatte, wurde im Übrigen von einer Fundsonde in finnischen Wäldern aus sowjetischer Produktion inspiriert.

## **FMCW Wolkenradar mit hohem Auflösungsvermögen und geringer Leistung**

Alexander Myagkov, Thomas Rose, and Harald Czekala  
RPG Radiometer Physics GmbH, Meckenheim, Germany

In der Vergangenheit haben sich Wolkenradargeräte als effektive Instrumente für meteorologische Messungen etabliert. Die verwendeten Geräte arbeiten mit 35 GHz (Ka-Band) und 94 GHz (W-Band) und weisen diverse spezifische Merkmale bezüglich Design, Betrieb, Datenqualität und Informationsgehalt auf.

Das RPG-Wolkenradar erfasst präzise die Rückstreuung von verschiedensten Streukörpern in der Atmosphäre, die von etwa 10 µm großen Wolken-Tröpfchen über millimetergroße Regentropfen bis zu Schneeflocken mit Größen von mehreren Zentimetern reichen. Damit kann das Wolkenradar entlang der Beobachtungsrichtung zuverlässig ein genaues Profil von Nebel, Wolken und Niederschlag in der Atmosphäre liefern. Die hohe zeitliche Auflösung ab 1 Sekunde und räumliche Auflösungen bis hinunter zu 2 Metern in bewölkten und regnenden Atmosphären sind mit keinem anderen Fernerkundungsinstrument in vergleichbarer Weise möglich. Die sehr hohe absolute und relative Genauigkeit des Radars wird durch konsequente Kalibration aller Systemkomponenten erreicht und ist unter allen Wetterbedingungen stabil.

Die Auslegung als Doppler-Radar erlaubt die Erfassung der Radialgeschwindigkeit mit bis zu 2 cm/s Auflösung. Die so gewonnenen Dopplerspektren (Verteilung der Reflektivität auf verschiedene Radialgeschwindigkeiten) in jeder Entfernung erlauben detaillierte Einblicke in die Wolkenmikrophysik und die Wolkendynamik.

Ein scannendes Doppler-Wolkenradar kann Windprofile ableiten und Turbulenz ebenso erfassen wie Windscherungen. In Gegensatz zu Laser-basierten Systemen arbeitet das Wolkenradar gerade in solchen Bedingungen, in denen ein Laser aufgrund der Menge an Streukörpern eine nicht mehr transparente Atmosphäre vorfindet und versagen muss. Die Erweiterung auf polarimetrische Detektion eröffnet weitere Möglichkeiten der Signalanalyse. Eine Einordnung bzw. Klassifizierung der Hydrometeore ist damit ebenso möglich wie eine genauere quantitative Analyse der Niederschlagsparameter.

Das RPG Wolkenradar basiert auf dem FMCW-Prinzip (Frequency-Modulated Continuous-Wave) und verwendet Halbleiterverstärker zur Signalerzeugung. Das abgestrahlte Signal bei 94 GHz zum Beispiel beträgt lediglich 1,5 Watt und erleichtert damit die Erlangung von behördlichen Genehmigungen. Die verwendeten Empfänger basieren auf den von RPG entwickelten und optimierten Hochfrequenztechnologien, die auch bei den Mikrowellenradiometern und den RPG-Produkten des Messtechnikbereiches zum Einsatz kommen. Insgesamt liefert das FMCW Wolkenradar eine kleinere und kompakte Bauform, die einen Einsatz auf Schiffen und Flugzeugen ermöglicht, aber auch gleichzeitig die Kosten für Anschaffung und Betrieb des Geräts verringert.

Trotz dieser Vorteile wird das FMCW Wolkenradar bisher lediglich in geringer Zahl und meist nur im Forschungsbereich verwendet. Das eigentliche Potential solcher Geräte liegt aber in den vielfältigen Anwendungen im öffentlichen Sektor, so zum Beispiel die Wetterbeobachtung an Flughäfen, das Monitoring potentiell bedrohlicher Niederschlagsentwicklung, der Wasserwirtschaft, der Kurzfristvorhersage, aber auch der Landwirtschaft oder dem Event-Management.

## **Cloudkite: Eine luftgetragene Multi-Sensor-Plattform zur in-situ-Messung von Wolkenmikrophysik und Turbulenz**

Philipp Höhne, Oliver Schlenczek, Gholamhossein Bagheri, Freja Nordsiek, Marcel Schröder, and Eberhard Bodenschatz

Abteilung Fluidphysik, Strukturbildung und Biokomplexität, Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen, Deutschland

Seit Jahrzehnten wird an Wolkenbildung im Labor und im Feld geforscht, jedoch sind Regen-, Wetter- und Klimavorhersagen immer noch schwer zu treffen und meistens ungenau. Ein großes Problem ist das fehlende physikalische Verständnis vom Zusammenwirken zwischen Wolkenmikrophysik und Turbulenz. Besonders der Einfluss der Turbulenz auf das Tropfenwachstum ist in Wolken weitgehend ungeklärt und ist zum Beispiel eine mögliche Lösung für den nicht geklärten Prozess der vergleichsweise schnellen Niederschlagsproduktion in warmen Wolken. Um den Einfluss der Turbulenz auf die Wolkenbildung genauer untersuchen zu können, entwickeln wir ein einzigartiges ballongestütztes Messsystem, welches „Cloudkite“ genannt wird. Der Cloudkite besteht aus einem am Boden verankerten  $250\text{m}^3$  Heliumballonkite (häufig auch Helikite genannt). Dieser trägt eine ferngesteuerte Messbox, die verschiedenste Messinstrumente im selben Messvolumen überlappend beinhaltet. Hierzu zählen u.a. ein holografisches System, Particle Imaging Velocimetry, Laser Doppler Velocimetry, 1D und 3D-Pitotrohr und thermische Anemometer und ein Spektrometer für Wolkentropfen, um gleichzeitig die räumliche Verteilung und die Größenverteilung sowie die Dynamik messen zu können. Aufgrund des ortsfesten Betriebs, der daraus resultierenden geringen Windgeschwindigkeiten (i.d.R. weniger als  $15\text{m/s}$ ) und der hohen Aufnahmezeiten unserer Instrumente können sehr viel geringere örtliche Abstände (Millimeter- bis Dezimeterbereich) zwischen den Aufnahmen im Vergleich zu flugzeuggestützten in-situ-Messungen erreicht werden. Somit können wir Wolkenbildung und Dynamik von Wolkentropfen mit einer bisher nicht erreichten Genauigkeit messen. Diese Messungen können somit das Verständnis von Themen wie „Clustering“, lokalen Inhomogenitäten der Anzahlkonzentration und Kollisionen von Tröpfchen in Wolken verbessern. Wir stellen dieses innovative Messinstrument vor, erläutern Forschungsziele und -möglichkeiten sowie geplante Messkampagnen und diskutieren die ersten vorläufigen Messergebnisse.

## Mobile Messungen zeigen hohe Ammoniak- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in deutschen Innenstädten

Robert Wegener, Dieter Klemp, René Dubus, Franz Rohrer, and Wahner Andreas

Forschungszentrum Jülich, Institute of Energy and Climate Research IEK8: Troposphere, Jülich, Germany  
(r.wegener@fz-juelich.de)

In vielen deutschen Städten ist die Konzentration von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) seit Jahren erhöht. Die Hauptquelle von Stickstoffdioxid ist der Verkehr. NO<sub>2</sub> wird direkt von Dieselmotoren mit Oxidationskatalysatoren emittiert oder durch Titration von Stickstoffmonoxid (NO) mit dem verfügbaren Ozon erzeugt.

Die Konzentration von Stickstoffdioxid wird in Deutschland in zahlreichen Stationen gemessen. Allerdings können diese Stationsdaten nicht die beträchtlichen Konzentrationsunterschiede innerhalb einer Stadt wiedergeben. Um die räumliche Verteilung von Stickoxiden und anderen Schadstoffen zu erfassen, sind mobile Messungen erforderlich. Die Daten unserer Messfahrten mit MobiLab, dem mobilen Labor des Forschungszentrums Jülich, die wir im Rahmen des Forschungsprogrammes „Stadtklima im Wandel - Urban Climate Under Change – [UC]<sup>2</sup>“ erhalten haben, weisen hohe Spitzenkonzentrationen von Stickoxiden und anderen Schadstoffen in Berlin und Stuttgart auf.

Um die Emissionen von Stickoxiden zu reduzieren, werden immer mehr Dieselmotoren mit selektiven Reduktionskatalysatoren (SCR) ausgerüstet, in denen Stickoxide (NO<sub>x</sub>) durch Einsatz von Harnstoff reduziert werden. Unsere mobilen Messungen in Straßentunneln zeigen, dass die Reduktion nicht vollständig verläuft und dass die Umgebungstemperatur die Emission von Stickoxiden im Straßenverkehr beeinflusst. So ist das mittlere Verhältnis von NO zu CO<sub>2</sub> im Winter anderthalb Mal so hoch wie im Sommer. NO<sub>2</sub> trägt mit 10% bis 40% zur NO<sub>x</sub>-Gesamtemission bei.

Eine Überdosierung von Harnstoff in SCR-Katalysatoren kann jedoch auch zur Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) führen. Vereinzelt wurden Mischungsverhältnisse von bis zu einem 1 ppm Ammoniak in der Stadt gemessen. In Anbetracht der steigenden Anzahl von Dieselfahrzeugen mit SCR-Katalysatoren ist in Zukunft mit hohen Ammoniakwerten in deutschen Innenstädten zu rechnen.

## **MUNSTAR - Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland**

Insa Otte (1), Thomas Deutschländer (1), Thomas Junghänel (1), Uwe Haberlandt (2), and Winfried Willems (3)

(1) Deutscher Wetterdienst (DWD), Hydrometeorologie, (2) Leibniz Universität Hannover, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft (WAWI), (3) Büro für Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG)

Der globale Klimawandel führt gegenwärtig und zukünftig zu einem Anstieg der mittleren Lufttemperatur und infolgedessen zu einem erhöhten Aufnahmevermögen von Wasserdampf in der Atmosphäre. Eine wahrscheinliche Folge für das Gebiet Deutschlands ist die Intensivierung von Extremniederschlägen und daraus resultierenden Überflutungen. Bemessungsniederschläge (auch IDF (Intensity Duration Frequency) oder DDF (Depth Duration Frequency) Kurven) sind die wesentliche Datengrundlage für die Dimensionierung von wasserwirtschaftlichen Baumwerken zum Schutz vor Hochwasser und Überflutungen in anthropogen genutzten Räumen. Seit den 1980er Jahren stellt der Deutsche Wetterdienst (DWD) sowohl die Datengrundlage für, als auch die Berechnung von Bemessungsniederschlägen in Form von koordinierten Starkregenregionalisierungen und -auswertungen (KOSTRA-DWD) zur Verfügung, um somit die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Starkniederschlägen in Deutschland zu analysieren. Damit diese auf dem aktuellsten Stand der Forschung sind, ist es unabdingbar, die bisherige Datengrundlage zu ergänzen und die statistische Methodik grundlegend zu überarbeiten.

Eine Grundvoraussetzung für solche extremwertstatistische Niederschlagsanalysen sind langjährige und homogene Zeitreihen. Da sich das deutsche Niederschlagsmessnetz beständig im Wandel befindet, ist es erforderlich, langjährige und raumzeitlich hochaufgelöste Zeitreihen, die auf allen verfügbaren Niederschlagsdaten Deutschlands basieren, zu akquirieren, umfassend qualitätskontrolliert aufzubereiten und subsequent auf Stationarität sowie Homogenität zu prüfen. Zusätzlich zu den daraus resultierenden, langjährigen in-situ Niederschlagszeitreihen bietet die aktive Fernerkundung - insbesondere Wetterradar Daten – in den vergangenen Jahrzehnten die Möglichkeit der flächenhaften Niederschlags erfassung.

Aufgrund der hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität von Starkniederschlagsereignissen ist es notwendig, sowohl eine lokale Extremwertstatistik, als auch eine Regionalisierung von Starkniederschlägen durchzuführen. Damit soll gewährleistet werden, dass verlässliche Werte für die Bemessungsniederschläge auch für unbeobachtete Orte zur Verfügung gestellt werden können. Zusätzlich wird mit dem Regionalisierungsverfahren durch eine vergrößerte Stichprobe eine robustere Schätzung der Werte erzielt.

Basierend auf den gründlich qualitätskontrollierten Zeitreihen werden Extremwertserien (Blockmaxima, Peak-over-Threshold, multiple Blockmaxima) für verschiedene Dauerstufen (5 min bis 72 h) abgeleitet. Anschließend werden diese umfangreichen Homogenitätsprüfungen unterzogen und ausgewertet, indem für verschiedene Dauerstufen unterschiedliche mehrparametrische Verteilungsfunktionen (z.B. GEV oder GPD) zur Ermittlung der Bemessungsniederschläge angepasst werden.

Das Regionalisierungsverfahren basiert auf der Auswahl verschiedener Dauerstufen, sowie auf der Interpolation mit multipler Regression und mit Geostatistik. Die Güte der verschiedenen Verfahren wird anschließend mit Hilfe der Kreuzvalidierung ermittelt.

In diesem Beitrag stellen wir das Projekt MUNSTAR vor und präsentieren erste Ergebnisse.

## **Aufbereitung langjähriger und zeitlich hochaufgelöster Niederschlagszeitreihen**

Thomas Junghänel, Insa Otte, Michael Jacob, and Thomas Deutschländer  
Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany

Mit dem Projekt „Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland“ (MUNSTAR) soll die koordinierte Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-DWD) grundlegend überarbeitet werden (vgl. Beitrag von Otte et al. auf dieser Konferenz). Neben der Prüfung von neuen Verfahren der Extremwertstatistik an einem Punkt und in der Fläche, sowie im Bereich der Regionalisierung von Starkniederschlägen, ist außerdem die Verbreiterung der zugrundeliegenden Datenbasis angedacht. Ziel ist es einerseits, vorhandene langjährige und zeitlich hochaufgelöste Niederschlagszeitreihen in die Vergangenheit und in die Gegenwart zu verlängern. Andererseits sollen auch neue, bisher nicht betrachtete Zeitreihen erschlossen werden. Um dieses Ziel zu erreichen hat der DWD erneut eine Initiative gestartet, archivierte aber noch nicht digitalisierte, zeitlich hochaufgelöster Niederschlagsdaten zu erfassen, aufzubereiten und dem Projekt MUNSTAR zugänglich zu machen. Neben der Recherche und Akquise der historischen Dokumente, stehen vor allem die Erzeugung eines digitalen Abbildes und die anschließende Extraktion der Zeitreihe im Vordergrund der Arbeiten. Mittels eines modernen Stapelscanners, können die Niederschlagsregistrierstreifen der mechanischen Regenschreiber effizient und in hoher Qualität gescannt werden. Außerdem arbeitet der Scanner besonders dokumentenschonend, da die Registrierstreifen nicht nur Fachunterlagen sind, sondern mittlerweile auch zum nationalen Kulturgut der Bundesrepublik Deutschland gehören. Eine plattformunabhängige und webbrowsersbasierte Software ermöglicht im Anschluss eine teilmanuelle Extraktion der Zeitreihe aus den erzeugten Bilddateien.

In diesem Beitrag werden die potentielle Datengrundlage sowie die einzelnen Arbeitsschritte vorgestellt.

## Ist die Erderwärmung unser Schicksal?

Manfried Heinrich

TÜV Nord, Umweltschutz, Pinneberg, Germany (manfriedheinrich@aol.com)

Ist die Erderwärmung unser Schicksal?

Die „wissenschaftliche Gemeinschaft“ der Meteorologen (QUAAS 2018) argumentiert, dass Forschungen zum Climate Engineering unterdrückt werden sollen, damit die Anstrengungen zur CO<sub>2</sub> Vermeidung nicht nachlassen. Es wird vermutet, dass Gesellschaften, die auch nur eine potentielle Möglichkeit zur Bekämpfung der Klimaprobleme sähen, sich nicht weiter um die Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen bemühen würden.

Unter Climate Engineering wird hauptsächlich Solar Radiation Management (SRM) verstanden, womit vereinfacht die Abschirmung von solarer Einstrahlung durch Aerosol, Aluminiumplättchen usw. am oberen Rand der Atmosphäre gemeint wird. Leider werden durch das Denkverbot auch andere Überlegungen unterdrückt, welche die Energiebilanz der Erde überhaupt nicht betreffen.

Das eigentliche Problem der Erderwärmung ist aber nicht in erster Linie der Anstieg der mittleren Temperatur, sondern die damit hervorgerufene Verschärfung der Extreme, die mit Dürren, sintflutähnlichen Niederschlägen, austauscharmen Wetterlagen und Temperaturspitzen das menschliche Leben unerträglich machen. Bei dem chaotischen Verlauf des Wetters lassen sich Extreme aber nicht vermeiden.

Zur Abhilfe muss in den natürlichen Verlauf des Wetters eingegriffen werden. Ansätze dazu gibt es bereits. Mehrere Länder, voran China, erzeugen bei Trockenheit mit Silberjodid Regen (STIELER 2015). Zur Abwendung von Katastrophen muss allerdings tiefer in den Wetterablauf eingegriffen werden. In Modellrechnungen (LIBERATO 2013) wurde untersucht, wie man den Wintersturm Xynthia hätte entschärfen können, wenn man ihm an seinem Entstehungsort die Hälfte seiner latenten Energie entnommen hätte. Tiefdruckgebiete prägen das Wettergeschehen. Darum wird in einem SF Roman (HEINRICH 2017) ein ernst gemeinter Vorschlag gemacht, wie mit Spiegeln aus dem Weltraum Zyklone erzeugt und gesteuert werden könnten, Das Buch geht auch auf die politischen und menschlichen Schwierigkeiten bei der Einführung der Wettersteuerung ein.

Selbstverständlich dürfen die Anstrengungen zur CO<sub>2</sub> Vermeidung nicht nachlassen, aber es wäre verantwortungslos, nicht schon jetzt alternative Maßnahmen gegen die zu erwarteten Katastrophen zu überlegen, damit wir die Erderwärmung überstehen.

QUAAS, J., Störungen der globalen Strahlungsbilanz, *promet* 100,(2018)

STIELER, W., 2015: China will Wetterkontrolle ausweiten, *Technology Review*, 02, p 13

LIBERATO, M. L. R., J. G. Pinto, R. M. Trigo, P. Ludwig, P. Ordonez, D. Yuen, I. F. Trigo, Explosive development of winter storm Xynthia over the subtropical North Atlantic Ocean, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2239-2251, 2013

HEINRICH, M., *Das Wetter wird gesteuert*, ISBN. 978-3-7431-3563-5, 2017

## **Ergebnisse des Wettergefahren-Nowcasting-Systems für die Luftfahrt basierend auf der Blending-Technologie von Temperatur-Fernerkundungsdaten und numerischen Modellen**

Mathias Schröder (1), Nikolay Baranov (2), Mikhail Kanevsky (3), and Eugene Miller (4)

(1) IfU GmbH Privates Institut für Umweltanalysen, Gottfried-Schenker-Str. 18, 09244 Lichtenau, Germany (msc@ifu.de), (2) Dorodnicyn Computing Centre, FRC CSC RAS, Ulitsa Vavilova, 40, 119333 Moscow, Russian Federation, (baranov@ccas.ru), (3) International Aeronavigation Systems, Bol'shaya Novodmitrovskaya Ulitsa, 12, 127015 Moscow, Russian Federation, (kanevsky@ians.aero), (4) Research-and-production organization "Atmospheric Technologies" Limited (R.P.O. ATTEX Ltd.), 4 Build.1 Likhachevsky Road, Dolgoprudny, 141700 Moscow, Russian Federation (rpo.attex@gmail.com)

Die präzise Kurzzeitvorhersage (Nowcasting) von Wettergefahren wie beispielsweise Nebel und Icing ist ein großes Problem für viele Flughäfen. Eine möglichst weitreichende und akkurate Vorhersage wird benötigt damit die Flugsicherung die Abläufe bei Start/Landung und den Flughafenservice planen kann. Eine Verbesserung der Kurzzeitvorhersage für die Wetterphänomene und -bedingungen mit der größten Auswirkung auf den Flugbetrieb stellt daher ein wichtiges Bestreben zur Verbesserung der meteorologischen Unterstützung der Flugsicherung dar. Ziel ist es einen sicheren, effizienten und regelmäßigen Flugbetrieb zu gewährleisten und rechtzeitig auf sich (schnell) ändernde Wetterbedingungen zu reagieren.

Eine Möglichkeit, solch ein Nowcasting-System zu entwickeln, besteht darin, die vorhandenen, meteorologischen Beobachtungsdaten der Messgeräte am Boden und mesoskalige Modelle mit hoher Auflösung zu kombinieren. Dieser Bericht beschreibt ein neuartiges Nowcasting-System, das auf einem automatisierten Fernerkundungs-Temperaturmess- und Nowcasting-Komplex basiert, der das Mikrowellen-Radiometer MTP-5 verwendet. Es werden die Ergebnisse des Systemtests basierend auf den Echtzeit-Temperatur-Fernerkundungsdaten (Höhe 0 – 1000 m) und der entwickelten Blending-Technologie mittels numerischer Modelle vorgestellt. Die Messungen wurden mit dem Mikrowellen-Temperaturprofilers MTP-5 in verschiedenen internationalen Flughäfen durchgeführt und ausgewertet.

Die Verwendung der Nowcasting-Technologie basierend auf der vom MTP-5 durchgeführten atmosphärischen Temperaturmessung wird eine bessere Planung und Optimierung des Flugbetriebs bei gefährlichen Wetterbedingungen gewährleisten und somit die Flugsicherheit sowie die Effizienz der Flughäfen erhöhen.

## **Niederschlagsinterzeption im Wandel: Langzeitmessungen von 1997 bis 2018 im Tharandter Wald**

Sandra Genzel, Max Plorin, Christian Bernhofer, and Ronald Queck

Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, Technische Universität Dresden, 01737 Tharandt, Germany (sandra.genzel@tu-dresden.de, max.plorin@tu-dresden.de)

Die experimentelle Bestimmung von Parametern für die Anwendung in Interzeptionsmodellen benötigt Zeitreihen von Bestandes- und Freilandniederschlag über viele Jahre. Der Grund dafür ist die große Zahl der Faktoren, die den Interzeptionsprozess beeinflussen. Sowohl die meteorologischen Bedingungen als auch die Charakteristik der Niederschlagsereignisse sind sehr variabel und nur Messungen über längere Zeiträume liefern ausreichend Daten für die statistische Bestimmung von Modellparametern.

An der Ankerstation im Tharandter Wald werden seit dem Frühjahr 1997 für einen Fichtenbestand (*Picea abies*) Messungen des Bestandesniederschlags mithilfe von standardisierten Messrinnen durchgeführt. Auf der nahegelegenen Lichtung (Wildacker) werden außerdem seit 1959 Messungen des Freilandniederschlags durchgeführt, der für die vorgestellten Berechnungen als Referenzniederschlag dient. Damit besteht ein Langzeitdatensatz über 22 Jahre in 10-minütiger Auflösung, der die Berechnung und Analyse der Niederschlagsinterzeption für den Fichtenbestand ermöglicht.

Die qualitätsgeprüften 10-Minuten-Werte werden sowohl zu Tageswerten als auch zu Einzelereignissen zusammengefasst. Auf dieser Basis werden mithilfe regressiver Verfahren statistische Parameter (wie z.B. Speicher- und Sättigungskapazität) für den Fichtenbestand abgeleitet und in datenbasierten Modellansätzen zur Abschätzung der Interzeption angewendet. Zur Untersuchung des Einflusses von Niederschlagsdauer und -intensität, werden die Ereignisse anhand der Niederschlagsintensitäten in Ereignisklassen eingeteilt. Zudem betrachtet werden Änderungen der Niederschlagsinterzeption, die infolge von Veränderungen und Störungen des Bestandes aufgetreten sind, z.B. Sturmschäden, Durchforstungsmaßnahmen und Trockenheit.

Der Beitrag präsentiert die Ergebnisse der statistischen Analyse des Langzeitdatensatzes und vergleicht diese mit Ergebnissen anderer Experimente. Es wird gezeigt, wie sich experimentell ermittelte Parameter über kurze Beobachtungszeiträume verändern können und wie sich das auf die ermittelte Interzeption auswirkt.

## Hochaufgelöste Analyse von kleinräumigen Extremniederschlägen mithilfe des WegenerNet Klimastationsnetzes

Jürgen Fuchsberger (1), Katharina Schroeer (1,2,3), Sungmin Oo (2,4,5), Ulrich Foelsche (4,2,1), Gottfried Kirchengast (1,4,2)

(1) Wegener Center für Klima und Globalen Wandel (WEGC), Universität Graz, Österreich (juergen.fuchsberger@uni-graz.at), (2) FWF-DK Klimawandel, Universität Graz, Österreich, (3) Jetzt am Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSwiss, Zürich, Schweiz, (4) Institutsbereich Geophysik, Astrophysik und Meteorologie, Institut für Physik, Universität Graz, Österreich, (5) Jetzt an der Abteilung Biogeochemische Integration, Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, Deutschland

Das WegenerNet Klimastationsnetz in der Region Feldbach (Südoststeiermark/Österreich) besteht aus mehr als 150 Klimastationen welche seit 2007 die kleinräumige Wetter- und Klimaentwicklung mit neuartiger Genauigkeit vermessen. Auf einem Gebiet von rund 22 km × 16 km (mittlere Stationsdichte: eine Station pro ~2 km<sup>2</sup>) werden mit 5-minütiger Auflösung Parameter wie u.a. Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Niederschlag, Wind und Bodenfeuchte aufgezeichnet. Durch mehr als 12 Jahre an hochaufgelösten Niederschlagsdaten werden umfangreiche Analysen von regionalen Starkregenereignissen ermöglicht, die in operationellen Messnetzen mit mittleren Stationsabständen von um die 10 km nicht möglich sind.

Vor kurzem wurden zwei wichtige Studien zu diesem Thema abgeschlossen (Schroeer et al., 2018 und O et al., 2018), deren Ergebnisse im Rahmen dieser Präsentation gezeigt werden.

Schroeer et al. (2018) untersuchen >500 konvektive Niederschlagsereignisse, die im Zeitraum 2007–2015 in der südoststeirischen Untersuchungsregion gemessen wurden. Für jedes Ereignis werden die maximalen Niederschlagsraten für Zeitskalen von 10 min bis 3 h betrachtet, für die zunächst Analysen der räumlichen Korrelation durchgeführt werden. Korrelationsdistanzen von ca. 7,8 km für 10 minütige Beobachtungen weisen darauf hin, dass bei längeren Stationsabständen mit Unterschätzungen gerechnet werden muss.

In einem nächsten Schritt wird das hochaufgelöste Stationsnetzwerk mithilfe einer neuartigen Methode systematisch ausgedünnt, so dass Sub-Netzwerke mit Stationsabständen von 1,5 km bis 40 km entstehen. Anschließend wird für jedes Niederschlagsereignis die maximale Niederschlagsrate sowohl auf Stationsebene, als auch als Flächenniederschlag berechnet. Dabei zeigt sich, dass der maximale Flächenniederschlag über 10 min bis 1 h für die extremsten Ereignisse (max. Niederschlagsrate > 80. Perzentil) mit zunehmendem Stationsabstand  $d$  [km] über 1 km – 30 km nach einem Potenzgesetz abnimmt, und zwar mit  $d^{-0,5(\pm 0,1)}$ .

O et al. (2018) untersuchen zudem für 71 Starkregenereignisse (Tagesniederschlagssumme > 90. Perzentil) im Zeitraum 2007–2016, wie sich die Stationsdichte auf die Unsicherheit bei der Bestimmung des Flächenniederschlags für Zeitskalen von 5 min bis 24 h auswirkt. Außerdem untersuchen sie den Einfluss der horizontalen Auflösung von gegitterten Beobachtungsdatensätzen auf die berechnete Auftrittswahrscheinlichkeit und Intensität (99. und 99,9. Perzentil) von Extremniederschlägen.

Wie erwartet, werden Extremniederschläge mit abnehmender horizontaler und zeitlicher Auflösung der Beobachtungsdaten mit zunehmender Unsicherheit charakterisiert, wobei diese Unsicherheiten durch die vorliegenden Studien empirisch quantifiziert werden konnten. Die Resultate beider Studien verdeutlichen, dass es bei Messungen mit operationellen Stationsnetzen zu starker Unterschätzung der Intensitäten dieser Ereignisse kommen kann. Die gewonnenen Ergebnisse können sowohl bei der Anwendung von bestehenden Beobachtungsdaten als auch bei der Interpretation, Evaluierung und Entwicklung regionaler und konvektionserlaubender Klimamodelle genutzt werden.

### Referenzen:

- Schroeer, K., G. Kirchengast, and S. O (2018): Strong dependence of extreme convective precipitation intensities on gauge network density. *Geophys. Res. Lett.*, 45, 8253–8263, doi:10.1029/2018GL077994
- O, S., and U. Foelsche (2018): Assessment of spatial uncertainty of heavy local rainfall using a dense gauge network. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1–21, doi:10.5194/hess-2018-517

## Modellierung der Niederschlagsinterzeption mittels Large-Eddy-Simulation

Max Plorin, Sandra Genzel, Christian Bernhofer, and Ronald Queck

Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, Technische Universität Dresden, 01737 Tharandt, Germany (max.plorin@tu-dresden.de)

Der Interzeptionsprozess wird, neben der Art und Intensität des Niederschlags, von der Vegetationsstruktur und der Verteilung der meteorologischen Bedingungen im Bestand beeinflusst. Bisherige Modelle parametrisieren die Vegetationsstruktur gar nicht oder nur in Schichten und die Zuordnung mikrometeorologischer Messungen (z.B. der Verdunstung) zu im Bestand gespeichertem Niederschlag ist aufgrund unterschiedlicher Quellflächen nicht möglich.

Die Nutzung hochaufgelöster Vegetationsmessdaten soll eine Lokalisierung des Interzeptionswassers im Bestand und die Zuordnung meteorologischer Randbedingungen der Verdunstung ermöglichen. Durch die Anwendung in einem Large-Eddy-Simulationsmodell (LES), das in der Lage ist, die räumliche Heterogenität der meteorologischen Bedingungen im Bestand widerzuspiegeln, kann mithilfe der Informationen zur Vegetationsverteilung (PAD, Blattflächendichte in  $\text{m}^2\text{m}^{-3}$ ) eine detaillierte Beschreibung des gesamten Interzeptionsprozesses realisiert werden.

Im Beitrag wird der prinzipielle Aufbau eines geplanten Moduls zur Erweiterung des parallelisierten Large-Eddy-Simulationsmodells PALM, welches durch die gute Parallelisierung für den Einsatz auf Großrechnern geeignet ist, vorgestellt. Es werden die verschiedenen Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie die verwendeten Ansätze gezeigt, die die Modellierung der Niederschlagsinterzeption von Wäldern ermöglichen sollen. Das Modell soll auf Daten aus einem forstwirtschaftlich genutzten Altlichtenbestand (*Picea abies*) im Tharandter Wald bei Dresden angewendet werden. Das Untersuchungsgebiet schließt eine  $50 \times 90 \text{ m}^2$  große Lichtung ein und zeigt die typische Heterogenität mitteleuropäischer Wälder. Terrestrische Laserscans dienen zur Erstellung eines hochaufgelösten Vegetationsmodells.

Neben dem prinzipiellen Aufbau des Interzeptionsmoduls werden im Beitrag Ergebnisse erster Large-Eddy-Simulationen für den Waldabschnitt an der ASTW gezeigt. Es wird erstmals eine LES-Modellierung mit einer Auflösung von  $1 \text{ m}^3$  für diesen Standort durchgeführt. Die Berechnungen werden zunächst auf eine neutral geschichtete Atmosphäre beschränkt und nur die Windverteilung für die ASTW betrachtet. Dabei wird die Bedeutung der hochaufgelösten Vegetationsdaten für die Windverteilung in den Vordergrund gestellt. Eine Validierung der Ergebnisse wird durch Winddaten von vier bis zu 42 m hohen Messtürmen ermöglicht.

## **Überwachung natürlicher CO<sub>2</sub> Emissionen unter Verwendung eines Netzwerks aus kostengünstigen Sensoren**

Yann Büchau and Jens Bange

Eberhard Karls Universität Tübingen, Center for Applied Geoscience, Environmental Physics, Tübingen, Germany  
(yann-georg.buechau@uni-tuebingen.de)

Das Neckartal zwischen Horb und Rottenburg im Schwarzwald ist für seine natürlichen Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bekannt. Das Kohlendioxid ist vermutlich geologischen Ursprungs und tritt dort in hohen Konzentrationen aus sogenannten Mofetten aus. Bis in die 1980er Jahre wurde das dortige Gasvorkommen von der Mineralwasserindustrie genutzt. Die Förderbrunnen wurden anschließend versiegelt, trotzdem bilden sich weiter Mofetten aus. Die tatsächlich im Eyachtal austretende Gasmenge wurde bisher lediglich geschätzt und nie wissenschaftlich untersucht. Die Quantifizierung der Gesamtemission sowie der horizontalen und vertikalen Flüsse hat das vorgestellte DFG-finanzierte Projekt zum Ziel.

In dem Projekt wird ein modulares Netzwerk aus kostengünstigen Sensorsystemen auf Arduino-Basis entwickelt, mit dem der Kohlendioxidaustritt in die untere Atmosphäre kontinuierlich vermessen werden soll. Das entwickelte Messsystem ist prinzipiell beliebig erweiterbar und kann somit auf Gebiete mit ähnlichen Phänomenen übertragen werden. Finanziert wurde die Ausstattung von der Alfred-Teufel Stiftung. Durch die Verwendung kostengünstiger Komponenten wird eine flächendeckende Gebietsvermessung und somit auch die Untersuchung der örtlichen und zeitlichen Variabilität der Kohlendioxidkonzentration möglich. Die Herausforderungen bestehen dabei unter anderem in der Zuverlässigkeit der Datenaufzeichnung und -übertragung sowie in der Einschätzung der Messgenauigkeit der Sensoren und deren Kreuzempfindlichkeiten auf andere Umweltfaktoren. Als Referenz und zur punktuellen Gasflussmessung ist der Einsatz einer Eddy-Covariance Station geplant. Die verwendete Infrastruktur, Sensoren und der aktuelle Projektfortschritt werden in diesem Vortrag vorgestellt.

## **Haben Windenergieanlagen in Deutschland Strom erzeugt, wie es von den vorherrschenden Windverhältnissen im Zeitraum 2000-2014 zu erwarten wäre?**

Sonja Germer (1,2) and Axel Kleidon (1)

(1) Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, Germany (axel.kleidon@bgc-jena.mpg.de), (2) jetzt: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie

Die Planung der Energiewende von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien erfordert Schätzungen, wie viel Strom Windenergieanlagen aus den vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen erzeugen können. Hier schätzen wir die monatlich ideale Windenergieerzeugung aus Datensätzen von Windgeschwindigkeiten, der Luftdichte und der installierten Windenergieanlagen in Deutschland und vergleichen diese mit den gemeldeten tatsächlichen Erträgen. Beide Erträge wurden in einem statistischen Modell verwendet, um Faktoren zu identifizieren und zu quantifizieren, die den tatsächlichen Ertrag im Vergleich zu dem idealen Ertrag reduzierten. Die installierte Kapazität innerhalb der Region hatte keinen wesentlichen Einfluss. Das Alter der Anlage und die Parkgröße führten zu erheblichen Ertragsreduktionen. Die prognostizierten Erträge stiegen von 9,1 TWh/a im Jahr 2000 auf 58,9 TWh/a im Jahr 2014, was auf eine Erhöhung der installierten Kapazität von 5,7 GW auf 37,6 GW zurückzuführen ist, was sehr gut mit den für Deutschland gemeldeten Schätzungen übereinstimmt. Der Alterseffekt senkte die Erträge von 2000 bis 2014 von 3,6 auf 6,7%. Der Effekt der Parkgröße verringerte die jährlichen Erträge in diesem Zeitraum um 1,9%. Die tatsächlichen Monatserträge repräsentieren jedoch im Durchschnitt nur 73,7% der idealen Erträge, mit unbekanntem Ursachen. Wir schließen daraus, dass die Kombination von aus Windbedingungen vorhergesagten idealen Erträgen mit beobachteten Erträgen geeignet ist, realistische Schätzungen der Windenergieerzeugung sowie realistische Ressourcenpotenziale abzuleiten.

## **Eine Erklärung für die unterschiedliche Klimasensitivität von Land- und Meeresoberflächen basierend auf dem Tagesgang**

Axel Kleidon and Maik Renner

Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, Germany (axel.kleidon@bgc-jena.mpg.de)

Beobachtungen und Klimamodellsimulationen zeigen typischerweise eine höhere Klimasensitivität von Landoberflächen im Vergleich zu Meeresoberflächen. Hier zeigen wir, dass dieser Unterschied in der Temperatursensitivität durch die unterschiedlichen Mechanismen erklärt werden kann, mit der die starke tägliche Variation der Sonnenstrahlung gepuffert wird. Während Ozeane die täglichen Schwankungen durch Wärmespeicheränderungen unter der Oberfläche abpuffern, finden sich diese Änderungen in Wärmespeicherung über Land hauptsächlich in der unteren Atmosphäre statt, die sich im täglichen Wachstum der konvektiven Grenzschicht widerspiegeln. Wärmespeicheränderungen unterhalb der Oberfläche erlauben es dem Ozean-Atmosphäre System, turbulente Flüsse Tag und Nacht aufrecht zu erhalten. Über Land ist die Situation anders, da die Oberfläche durch Absorption der Sonnenstrahlung erwärmt wird und nennenswerte turbulente Flüsse während der Tagesstunden stattfinden. Diese kürzere Dauer turbulenter Flüsse an Land führt zu einer höheren Sensitivität des Systems Land-Atmosphäre zu Änderungen des Treibhauseffekts, da die Nachttemperaturen vor allem durch den Austausch terrestrischer Strahlung geprägt werden, die für Änderungen des Treibhauseffekts empfindlicher sind. Wir verwenden ein einfaches, analytisches Energiebilanzmodell des Oberflächen-Atmosphäre-Systems, in dem turbulente Flüsse durch die maximale Leistungsgrenze beschrieben werden. Damit bestimmen wir die Auswirkungen dieser unterschiedlichen Puffermechanismen auf die Temperatursensitivität. Das Modell sagt voraus, dass Landoberflächen eine 50% höhere Klimasensitivität haben als Meeresoberflächen, und dass die Nachttemperaturen an Land ungefähr doppelt so stark ansteigen wie die Tagestemperaturen. Beide Vorhersagen vergleichen sich sehr gut mit Beobachtungen und CMIP5-Klimamodellsimulationen. Die größere Klimasensitivität von Landoberflächen lässt sich daher durch die Pufferung der tageszeitlichen Schwankungen der Sonnenstrahlung in der unteren Atmosphäre erklären.

## **Bestimmung des Tagesgangs der Energiebilanzaufteilung über Land aus der thermodynamischen Grenze maximaler Leistung**

Axel Kleidon and Maik Renner

Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, Germany (axel.kleidon@bgc-jena.mpg.de)

Turbulente Wärmeflüsse prägen die Bedingungen an der Landoberfläche. Sie werden jedoch typischerweise durch semi-empirische Parametrisierungen beschrieben, welche Unsicherheiten birgt, wenn z.B. diese Ansätze für die Simulation des globalen Wandels verwendet werden. Hier beschreiben wir einen einfachen, aber physikalisch basierten Ansatz, der die turbulenten Flüsse als Ergebnis eines thermodynamischen Prozesses beschreibt. Dabei wird angenommen, dass maximal Arbeit verrichtet wird, um die konvektive Bewegung aufrecht zu erhalten und somit den turbulenten Austausch zwischen der Landoberfläche und der Atmosphäre zu bewerkstelligen. Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik leiten wir zunächst eine Grenze ab, der der Carnot-Grenze entspricht, welche aber explizit die täglichen Wärmespeicheränderungen in der unteren Atmosphäre berücksichtigt. Wir nennen dies die Grenze einer kalten Wärmekraftmaschine und verwenden sie zusammen mit der Oberflächenenergiebilanz, um die maximale Leistung abzuleiten. Damit können die turbulenten Flüsse für einen gegebenen solaren Strahlungsantrieb bestimmt werden. Die anhand dieser thermodynamischen Grenze geschätzte Aufteilung der Oberflächenenergiebilanz erfordert keine empirischen Parameter. Die Abschätzungen der Energiebilanz vergleichen sich sehr gut mit Beobachtungen aus verschiedenen Klimaten, mit Korrelationskoeffizienten von  $r^2 \geq 95\%$  und Steigungen nahe 1. Diese Ergebnisse legen nahe, dass turbulente Wärmeflüsse an Land nahe ihrer thermodynamischen Grenze arbeiten. Das legt nahe, dass das Prinzip der maximalen Leistung ein geeignete Methode ist, um physikalisch basierte Abschätzungen der Energiebilanz abzuleiten.

## **Aus 3 mach 1 – automatische Konvektionserkennung für automatische Flughafenwettermeldungen**

Thomas Schubert

Deutscher Wetterdienst, Research and Development, Offenbach a. M., Germany (thomas.schubert@dwd.de)

Drei Datenarten zu einer Konvektionsinformation zu verschmelzen, das ist das Ziel von autoKON (automatische KONvektionserkennung). Als Teilprojekt von AutoMETAR (Projekt zur Vollautomatisierung der Wetterbeobachtungen an den internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland bis 2022) ist im Deutschen Wetterdienst autoKON der Schlüssel, um zukünftig konvektive Wetterinformationen vollautomatisch in den METAR-Wettermeldungen zu verschlüsseln. Hierfür werden Satelliten-, Radar- und Blitzortungsdaten zunächst einzeln voranalysiert, um anschließend in einer Datenfusion kombiniert zu werden. Die vorgestellte Arbeit zeigt, welche Schritte bis zum Ende der Datenfusion angewandt werden, um eine robuste Information über die Wetterzustände Schauer (SH) und Gewitter (TS) sowie die Bewölkungsarten Towering Cumulus (TCU) und Cumulonimbus (CB) zu erhalten.

Im ersten Schritt – der Voranalyse – wird jede Datenart einzeln auf konvektive Erscheinungen hin analysiert. Die Daten des DWD-Radarverbundes werden von der konvektiven Zellerkennung KONRAD3D analysiert, die 5-minütigen Rapid-Scan Satellitendaten auf CB-Bewölkung geprüft und aktive Blitzregionen erfasst. Im zweiten Schritt, der Datenfusion erfolgt die Konsolidierung aller drei Informationseinheiten. D. h. es wird ein „best mögliches“ Ergebnis erzeugt, das die Qualität der Voranalysen in Betracht zieht und sehr präzise und zuverlässige Daten wie Blitzortungen bevorzugt berücksichtigt, sodass am Ende Gewitter, konvektive Bewölkung, deren Bedeckungsgrad, sowie die damit verbundenen Niederschläge ein Teil der METAR-Flughafenwettermeldung werden können. Damit in Zukunft Flugwetterberater, Piloten und Flugsicherung die konvektive Situation der Atmosphäre in Flughafennähe per automatischer Wettermeldung erfahren.

## **Niederschlagsdaten für Hochasien – Neue Perspektiven für ein altes Problem**

Dieter Scherer (1), Xun Wang (1), Tom Grassmann (1), Benjamin Schröter (2), Vanessa Tolksdorf (1), and Marco Otto (1)

(1) Technische Universität Berlin, Department of Ecology, Berlin, Germany (dieter.scherer@tu-berlin.de), (2) Technische Universität Dresden, Institute of Cartography, Germany

In der auch im globalen Kontext bedeutsamen Region Hochasien sind Beobachtungsdaten zu Wetter und Klima im Allgemeinen sowie zum Niederschlag im Besonderen leider bis heute nur in begrenztem Umfang verfügbar und mit großen Unsicherheiten behaftet. Bodengestützte und satellitenbasierte Messungen des Niederschlags sind generell mit erheblichen Messfehlern behaftet, was insbesondere für Schneeniederschläge gilt, welche gerade in den Hochgebirgsräumen Hochasiens von großer Bedeutung für den Wasserhaushalt der Fluss- und See-Einzugsgebiete sowie den Massenhaushalt von Gletschern und Eiskappen sind. Leider weist das Stationsnetz vor allem im Westen der Untersuchungsregion nur eine geringe Dichte auf, und es gibt zudem einen geographischen Bias in Bezug auf die Lage im Relief. Mit der Verfügbarkeit neuer atmosphärischer Gitterdaten mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung stehen inzwischen bessere Möglichkeiten zur Verfügung, räumliche Muster des Niederschlags und ihre zeitliche Variabilität zu untersuchen. Im Beitrag sollen neue Perspektiven vorgestellt werden, die sich aus der wachsenden Verfügbarkeit von ERA5 Reanalysedaten sowie neuen messtechnischen Möglichkeiten für Hochasien ergeben. Zum einen soll ein neuer Gitterdatensatz präsentiert und diskutiert werden, der derzeit mittels eines dynamischen Downscalings von ERA5-Reanalysedaten mit einstündiger zeitlicher Auflösung sowie mit Gitterpunktabständen bis zu 2 km produziert wird. Dieser Datensatz stellt eine verbesserte Version der öffentlich frei verfügbaren High Asia Refined analysis (HAR; [www.klima.tu-berlin.de/HAR](http://www.klima.tu-berlin.de/HAR)) dar und wird im Jahr 2019 ebenfalls online bereitgestellt und aktualisiert. Die hohe räumliche und zeitliche Auflösung der HAR v2 ermöglicht es, auch mesoskalige Prozesse der Niederschlagsbildung zu erfassen und die lange bekannten und bisher unbefriedigend gelösten Probleme bei der Quantifizierung des Schneeniederschlags zu reduzieren. Hierzu werden aber auch Bodenmessungen zum Niederschlag im Hochgebirge benötigt, welche in der Lage sind, belastbare Daten zu unterschiedlichen Niederschlagstypen zu gewinnen. Seit August 2018 wurde am Halji-Gletscher in Nepal in ca. 5300 m ü.M. eine neue Wetterstation installiert, welche mit einem geländetauglichen Doppler-Niederschlags-RADAR ausgestattet ist und stündliche Daten aufzeichnet, die täglich per Satellitentelemetrie nach Berlin übertragen werden.

## **Thermische Exposition von Fußgängern im Dresdner Stadtviertel Gorbitz im Sommer 2018: Repräsentativität stationärer und mobiler Messungen**

Valeri Goldberg (1), Astrid Ziemann (1), Benjamin Richter (2), and Christian Bernhofer (1)

(1) Technische Universität Dresden, Professur für Meteorologie, PF 1117, 01735 Tharandt, Deutschland  
(valeri.goldberg@tu-dresden.de), (2) Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt

Im Rahmen des BMBF Verbundprojektes „HeatResilientCity (HRC)“ werden durch die Professur für Meteorologie der TU Dresden die meteorologischen und humanbiometeorologischen Wirkungen in hitzebelasteten Stadtquartieren in Dresden und Erfurt untersucht. Zielgebiet in Dresden ist ein Stadtquartier in Dresden-Gorbitz. Dieses Stadtquartier ist aufgrund seiner demographischen Struktur (kinderreiche Familien, Rentner) besonders sensitiv gegenüber einem zunehmenden Hitzेरisiko. In Dresden-Gorbitz soll die Belastung durch Sommerhitze reduziert werden, indem innerhalb des Projektverbundes Anpassungsmaßnahmen an Gebäuden und in Freiräumen entwickelt, umgesetzt und bewertet werden. So wird z.B. in Kürze durch eine kommunale Wohnungsbaugesellschaft (Projektpartner in HRC) die energetische Sanierung von ausgewählten Häusern erfolgen.

Im Rahmen von HRC wurden im Sommer 2018 Messungen der thermischen Belastung eines Fußgängers mit einem Messrucksack im Stadtviertel Dresden-Gorbitz durchgeführt. Die Messungen erfolgten an mehreren Tagen bei unterschiedlichen Bewölkungs- und Temperaturbedingungen auf einem ca. 4 km langen Rundkurs durch das überwiegend aus Plattenbauten der 1980er Jahre bestehende Stadtquartier. Dabei führt die Route an markanten Punkten vorbei, die von vielen Bewohnern im Quartier frequentiert werden, z.B. Schule, Kitas, Wohnhäuser, Haltestellen, Einkaufsmärkte, Seniorenheim. An den Messtagen wurde dieser Rundkurs teilweise kontinuierlich über 16 Stunden hinweg absolviert, um neben der räumlichen auch die tageszeitliche Variabilität der Messgrößen zu erfassen. Neben diesen mobilen Messungen wurden von der Landeshauptstadt Dresden (LHD) stationäre Temperatur- und Feuchte-Stationen im Stadtquartier über den gesamten Sommer hinweg betrieben.

Die aus den meteorologischen Standarddaten (Temperatur, Globalstrahlung, Wind, Feuchte, Strahlungstemperatur in 4 Raumrichtungen) berechneten thermischen Indizes (PET, UTCI) werden mit stationären Messdaten der LHD sowie ENVI-met Simulationen des Gebietes verglichen, um die Repräsentativität der Messroute hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Variabilität der thermischen Exposition im Stadtquartier zu bewerten.

Erste Auswertungen der Messdaten zeigen die starke Abhängigkeit der thermischen Exposition von der Einstrahlung und damit von den Licht- und Schattenverhältnissen auf der Messroute. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den Befragungen vor Ort, dass das Vorhandensein von Schattenflächen bei der überwiegenden Zahl der Passanten entscheidendes Kriterium für die Qualität einer Fußgängerpassage in einem Wohngebiet ist.

Die Ergebnisse der Messungen und Simulationen dienen als Input für Modellrechnungen zum Gebäudeinnenklima (Projektpartner in HRC) sowie als meteorologische Begleitinformation für laufende energetische Sanierungsmaßnahmen ausgewählter Plattenbauten. Gleichzeitig sind sie Grundlage für Maßnahmenempfehlungen zur Hitzevermeidung in Dresden-Gorbitz (z.B. Ausbau und Verdichtung von Schattenräumen).

## Untersuchungen von Aerosolaktivierung in Strahlungsnebel mit einem Lagrangschen Wolkenphysik Modell

Johannes Schwenkel (1) and Björn Maronga (1,2)

(1) Leibniz Universität Hannover, Institute of Meteorology and Climatology, Faculty of Mathematics and Physics, Germany (schwenkel@muk.uni-hannover.de), (2) Geophysical Institute, University of Bergen, Norway

Die korrekte Vorhersage von Nebel ist nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe in der numerischen Wettervorhersage (NWP). Die für den Lebenszyklus des Strahlungsnebels relevanten Einflüsse werden durch eine Vielzahl physikalischer Prozesse wie beispielsweise der Strahlungskühlung/-erwärmung, turbulente Mischung und der Wolkenmikrophysik beeinflusst, die alle auf unterschiedlichen Skalen interagieren. Insbesondere die Wolkenmikrophysik wird in NWP-Modellen hochgradig parametrisiert und entsprechende Parametrisierungen sind in der Regel nicht speziell für die Vorhersage von Nebel konzipiert. Eine verbesserte Nebelvorhersage ist jedoch sowohl aus Sicherheitsgründen im Verkehr als auch aus wirtschaftlichen Gründen eine wichtige Aufgabe in der Wettervorhersage.

In diesem Vortrag präsentieren wir Ergebnisse von Large-Eddy-Simulationen mit dem Modell PALM (The Parallelized Large-eddy Simulation Modell) von einem Strahlungsnebelereignis mit einem gekoppelten Lagrangschen Wolkenmodell (engl. Lagrangian Cloud Model, LCM), das es uns ermöglicht, alle für Nebel relevanten mikrophysikalischen Prozesse mithilfe der grundlegenden Gleichungen zu lösen, anstatt diese zu parametrisieren. Diese explizit simulierten Prozesse beinhalten unter anderem ein verbessertes Advektionsschema für Partikel mit aufgelöster Tröpfchensedimentation, größenauflöster Aktivierung und Diffusionswachstum sowie Kollisions- und Koaleszenzprozesse.

Das LCM basiert auf der so genannten Supertropfen Methode, bei der ein simuliertes Partikel (Supertropfen) eine große Anzahl von realen Tropfen oder Aerosolen repräsentiert.

Mithilfe dieser Modelle war es uns erstmals möglich, den Aktivierungsprozess in einer 3D-LES für einen Nebelfall explizit zu betrachten. Die Anzahl der aktivierten Aerosole, welcher typischerweise in NWP-Modellen für Nebel überschätzt wird, jedoch einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung des Lebenszyklus des Nebels hat, wurde für verschiedene Aerosolumgebungen ermittelt. Somit konnten wir zeigen, dass eine geringe Anzahl an aktivierten Nebeltropfen zu niedrigeren Nebelschichten und einem früheren Auflösen des Nebels führt, wohingegen höhere Anzahlkonzentrationen aktivierter Nebeltropfen zu vertikal mächtigeren und länger anhaltenden Nebelschichten führten. Daraus konnten wir die kritische Anzahlkonzentration von Nebeltropfen für den Regimeübergang von flachen Nebelereignissen zu vertikal mächtigeren Nebelschichten ableiten.



## **Bestimmung der Sensitivität der Temperatur zur langwelligen und kurzwelligen Einstrahlung aus räumlichen Unterschieden**

Maik Renner (1), Axel Kleidon (1), Chirag Dhara (1), and Hisashi Ozawa (2)

(1) Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, (2) Department of Environmental Sciences, Hiroshima University, Hiroshima, Japan

Lokale und globale Veränderungen der Temperatur sind maßgeblich durch Veränderungen im Strahlungshaushalt der Erde bedingt. Klimamodelle können diese Zusammenhänge zwar beschreiben und simulieren, jedoch sind Beobachtungen unerlässlich, um die Unsicherheiten der Modelle eingrenzen zu können. Durch Fernerkundungsmethoden ist es nun möglich, den Strahlungshaushalt und die Temperaturen miteinander auf globaler Skala zu verbinden. Wir stellen hier eine statistische Methodik vor, um die Sensitivität der Temperatur zur eingehenden Strahlung im Rahmen der Strahlungsbilanz der Oberfläche zu bestimmen. Die Methodik basiert auf räumlichen Unterschieden der jeweiligen Strahlungskomponenten und ermittelt die Beiträge der absorbierten kurzwelligen Einstrahlung und der langwelligen Gegenstrahlung zur Temperatur. Wir analysieren dabei zwei beobachtungsbasierte Datensätze (CERES-EBAF, ERA-Interim Reanalyse) und 25 Klimamodelle aus dem CMIP5 Archiv. Die Ergebnisse zeigen für alle Datensätze, dass die Sensitivität der Temperatur zur langwelligen Gegenstrahlung doppelt so groß ist wie zur kurzwelligen Einstrahlung.

Variationen der kurzwelligen Einstrahlung dagegen zeigen sich überproportional in Änderungen der turbulenten Wärmeflüsse. Weiterhin zeigen sich signifikante Abweichungen einiger Klimamodelle von den Beobachtungen. Dabei verändern sich die bestimmten Sensitivitäten nur wenig, wenn ein anderes Klimaszenario simuliert wird, was auf Unterschiede der Modellparametrisierung hinweist. Wir veranschaulichen die ermittelten Sensitivitäten mit Anwendungen zum Verständnis zum beobachteten Trend der Temperatur und systematischen Abweichungen von Klimamodellen.

## Der Wasserdampf und das Ceilometer

Matthias Wiegner (1), Josef Gasteiger (2), Margit Pattantyús-Ábrahám (3,4), Ina Mattis (3), Alexander Geiß (1), and Ulrich Görzdorf (5)

(1) Ludwig-Maximilians-Universität, Meteorologisches Institut, München, Deutschland (m.wiegner@lmu.de), (2) Universität Wien, Fakultät für Physik, Wien, Österreich, (3) Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Hohenpeißenberg, Deutschland, (4) jetzt: Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg, Deutschland, (5) Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg, Lindenberg, Deutschland

Netzwerke von kontinuierlich und autonom messenden Einwellenlängen-Lidarsystemen (Ceilometern) werden zunehmend auf ihre Eignung für die Fernerkundung von Aerosolpartikeln hin untersucht. Motivation ist vor allem die flächendeckende Erkennung und Charakterisierung von Aerosolschichten, beispielsweise nach Vulkanausbrüchen. Die optische Charakterisierung beschränkt sich dabei auf die Ableitung des Partikel-Rückstreuoeffizienten. In diesem Zusammenhang wurde bisher weitgehend ignoriert, dass die meisten Ceilometer (CL31 und CL51 von Vaisala, CS135 von Campbell Scientific, CHM8k von Lufft) in einem Spektralbereich arbeiten, in dem Absorption durch Wasserdampf stattfindet, eine Bestimmung von Partikeleigenschaften also ohne Korrektur fehlerhaft ist.

In diesem Beitrag werden zusammenfassend diskutiert: der Einfluss des Wasserdampfs auf Ceilometersignale (Wiegner et al. 2014), ein Verfahren zur Korrektur der Wasserdampfabsorption für die Ableitung des Partikel-Rückstreuoeffizienten (Wiegner and Gasteiger, 2015) sowie eine Validierung des Verfahrens auf der Basis der Ceilometervergleichskampagne CeiLinEx2015 in Lindenberg (Wiegner et al., 2018). Hierbei hat sich gezeigt, dass eine Validierung im strengen Sinne kaum möglich ist, weil die Partikeleigenschaften bei der Wellenlänge eines von Wasserdampfabsorption unbeeinflussten Referenzsignals (typischerweise 1064 nm) und bei der Wellenlänge des Ceilometersignals (typischerweise 910 nm) sich unterscheiden. Zudem ist in der Praxis die exakte Wellenlänge des zu untersuchenden Ceilometers nicht genau bekannt. Unter der Berücksichtigung der damit verbundenen Unsicherheiten konnte jedoch nachgewiesen werden, dass eine Korrektur von CL51-Messungen (Vaisala) möglich erscheint. Es wird jedoch empfohlen, bei künftigen Generationen von Ceilometern die emittierte Wellenlänge (zeitabhängig) zu dokumentieren.

Die Bestimmbarkeit der Mischungsschichthöhe aus Ceilometersignalen ist von der Wasserdampfabsorption unbeeinflusst.

### Literatur

Wiegner, M., Madonna, F., Binietoglou, I., Forkel, R., Gasteiger, J., Geiß, A., Pappalardo, G., Schäfer, K., and Thomas, W.: What is the benefit of ceilometers for aerosol remote sensing? An answer from EARLINET, *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 1979-1997, <https://doi.org/10.5194/amt-7-1979-2014>, 2014.

Wiegner, M. and Gasteiger, J.: Correction of water vapor absorption for aerosol remote sensing with ceilometers, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 3971-3984, <https://doi.org/10.5194/amt-8-3971-2015>, 2015.

Wiegner, M., Mattis, I., Pattantyús-Ábrahám, M., Bravo-Aranda, J. A., Poltera, Y., Haeffele, A., Hervo, M., Görzdorf, U., Leinweber, R., Gasteiger, J., Haeffelin, M., Wagner, F., Cermak, J., Komínková, K., Brettle, M., Munkel, C., and Pönitz, K.: Aerosol backscatter profiles from ceilometers: validation of water vapor correction in the framework of CeiLinEx2015, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2018-307>, in review, 2018.

## Model Output Statistics für weltweite automatisierte Flugplatz-Wettervorhersagen

Sebastian Trepte (1), Günter Mahringer (2), and Michael Eckert (3)

(1) Deutscher Wetterdienst, Meteorologische Anwendungsentwicklung, Offenbach, Deutschland (sebastian.trepte@dwd.de),  
(2) AustroControl Linz, Hörsching, Österreich (Guenter.Mahringer@austrocontrol.at), (3) Deutscher Wetterdienst, Abteilung  
Flugmeteorologie, Offenbach, Deutschland (michael.eckert@dwd.de)

Die TAF-Guidance des Deutschen Wetterdienstes (DWD) basiert auf Model Output Statistics (MOS) und ist seit vielen Jahren in routinemäßigem Einsatz. Sie bietet sowohl eine automatisierte Vorhersageguidance als auch AutoTAFs (Terminal Aerodrome Forecasts) für Flughäfen weltweit.

Die MOS-Methode liefert eine statistische Interpretation des Globalmodells IFS (ECMWF) an einzelnen Flughäfen und Wetterstationen. Die Modellvorhersagen sind die unabhängigen Variablen (Prädiktoren) und die Zielgröße ist das Wetterelement, das beobachtet und von MOS vorhergesagt wird (Prädiktand). Daraus werden auch viele probabilistische Vorhersagegrößen abgeleitet.

Die Technik basiert auf multipler linearer Regression. Die besten Prädiktoren aus einem vordefinierten Pool werden mithilfe eines vorwärts gerichteten Screenings ausgewählt. Eine der Eigenschaften des MOS-Ansatzes ist die Verwendung einer Vielzahl von Modellvariablen als Prädiktoren, die nicht beobachtet werden. Sehr nützliche Prädiktoren sind darüber hinaus die Stationsbeobachtungen selbst (SYNOP, METAR). Der Trainingszeitraum beträgt aktuell 12,5 Jahre.

Das DWD MOS-System minimiert die systematischen Modellfehler der IFS-Läufe von 00 und 12 UTC. Die endgültige Prognose ergibt sich durch Erzeugung eines Zwei-Member-Ensembles (Lagged-Average-Forecast), wobei die Gewichtung der Mitglieder (Modellläufe) ebenfalls auf MOS basiert.

Die Vorhersageleistung hängt von der Aufbereitung der Prädiktanden und Prädiktoren und der Modellqualität ab. Viele neue Prädiktoren werden empirisch als eine Kombination verfügbarer Modellprädiktoren abgeleitet. Dies betrifft z.B. Gewitter-Indizes und Nebelprädiktoren durch Verwendung verschiedener nichtlinearer Transformationen.

Als Prädiktanden sind spezielle deterministische und probabilistische Größen wie Wolkenhöhen und mehrere Sichtweitschwellenwerte enthalten, die sich an den Anforderungen der Luftfahrt orientieren. Testweise wird auch die Landebahnsichtweite (RVR) vorhergesagt.

An die MOS-Vorhersagen ist ein TAF-Kodierungsalgorithmus angefügt (AutoTAF). Die Kodierung erfolgt gemäß den ICAO/WMO-Richtlinien, wobei der Informationsverlust aufgrund der Kodierung minimiert, der TAF aber so kurz wie möglich sein soll. Es werden AutoTAFs für die Vorhersagezeiträume 9, 24 und 30 Stunden herausgegeben.

Es ist geplant, die MOS/TAF-Guidance als gemeinsames Prognosesystem innerhalb der MET Alliance zu verwenden. Die MET Alliance ist ein Zusammenschluss europäischer Flugwetterdienste mit dem Ziel, die Vorhersageverfahren zu vereinheitlichen und gemeinsam weiter zu entwickeln.

Eine fortlaufende Verifikation der Prognosegüte von Guidance und AutoTAF im Vergleich zu den manuell erstellten TAFs unterstützt diesen Prozess. Anhand eines Index (Key Performance Indicator) kann gezeigt werden, ab welchen Wahrscheinlichkeiten des MOS-Systems bestimmte Ereignisse vorhergesagt werden sollten. Es zeigt sich, dass die MOS-Ergebnisse im Vergleich zu den operationell erstellten TAFs teilweise eine sehr gute Qualität aufweisen. Beim Kodieren der AutoTAFs geht allerdings wieder einiges an Qualität verloren. Aktuelle Ergebnisse des MOS/TAF-Verifikationsprojekts der MET Alliance werden gezeigt.

## Neue aktive Fernerkundungssysteme für Wasserdampf- und Temperatur-Messungen bis zur Turbulenzauflösung

Andreas Behrendt, Florian Späth, Diego Lange, Simon Metzendorf, Shravan Kumar Muppa, and Volker Wulfmeyer

University of Hohenheim, Inst. for Physics and Meteorology, Stuttgart, Germany (andreas.behrendt@uni-hohenheim.de)

Mit verschiedenen Lidar-Techniken lassen sich Wasserdampf- und Temperatur-Daten in der Atmosphäre mit sehr hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung (wenige Sekunden, wenige Meter) bis in mehrere Kilometer Entfernung bestimmen. In diesem Beitrag werden die neuesten Entwicklungen vorgestellt und mit aktuellen Messbeispielen illustriert. Feuchtemessungen sind zum einen mit der DIAL-Technik möglich. DIAL steht für „Differenzielles Absortions-Lidar“. DIAL-Systeme verwenden infrarote Laserstrahlung, deren Wellenlänge auf Wasserdampfabsorptionslinien eingestellt wird. Durch abwechselndes Aussenden von Signalen auf und knapp neben der Linie, erhält man Messsignale, die so kombiniert werden, dass sämtliche apparativen Einflüsse sich eliminieren und die gemessene Feuchte nur vom molekularen Absorptionsquerschnitt abhängt. Da der Absorptionsquerschnitt sehr genau in Labormessungen bestimmt werden kann, müssen DIAL-Systeme also nicht kalibriert werden. Eines der weltweit leistungsstärksten Wasserdampf-DIAL-Systeme ist das der Universität Hohenheim. Es ist in einem mobilen Anhänger eingebaut, was es erlaubt, das System weltweit auf Messkampagnen einzusetzen. Mit einem 80-cm-Scanner kann die räumliche Verteilung des Wasserdampfs bis in mehrere Kilometer Entfernung um das DIAL bestimmt werden. In der neuesten Ausbaustufe beträgt die ausgesendete Laserleistung bis zu 10 W bei 300 Hz. Unser zweites Lidar ist ein System, das starke ultraviolette Laserpulse aussendet und neben dem elastischen Rückstreusignal bei 355 nm auch inelastische Raman-Signale von Wasserdampf, Sauerstoff und Stickstoff bei anderen Wellenlängen detektiert. Durch Kombination von insgesamt vier Messsignalen lassen sich das Wasserdampfmischungsverhältnis, die Temperatur und Partikel-Extinktion sowie Partikelrückstreuung bestimmen. Dieses Water-Vapor-Temperature-Raman-Lidar (WVTRL) ist in einem Lastwagen eingebaut und so ebenfalls mobil. In der letzten Version werden Laserpulse bei bis zu 12 W bei 50 Hz ausgesendet. Ein 40-cm-Scanner erlaubt auch mit diesem System abtastende Messungen. Es war bis vor Kurzem das weltweit leistungsstärkste System seiner Art. Seit Sommer dieses Jahres gibt jedoch ein noch leistungsstärkeres, welches wir für die Helmholtz-Gemeinschaft entwickelt haben. Das so genannte ACROSS-WVTRL verwendet einen dioden-gepumpten Nd:YAG-Laser als Transmitter mit 20 W bei 200 Hz im UV. Ebenfalls verbessert werden konnte die Gesamteffizienz des Send- und Empfangszweigs. Das ACROSS-WVTRL ist kompakt und automatisiert, so dass es kontinuierliche Messungen mit hoher Auflösung und Genauigkeit rund um die Uhr erlaubt. Wir denken, dass der so ermöglichte bessere Einblick in die thermodynamische Struktur der Grenzschicht und unteren freien Troposphäre einen lang gehegten Wunsch erfüllen wird.

## Was ist ein extremes NiederschlagsEREIGNIS? – Das Projekt „KlamEx“ wagt eine Definition

Tanja Winterrath, Thomas Junghänel, Katharina Lengfeld, Ewelina Walawender, and Andreas Becker  
Deutscher Wetterdienst, Hydrometeorology, Offenbach a. M., Germany (tanja.winterrath@dwd.de)

In den vergangenen Jahren sorgten extreme Niederschlagsereignisse in Deutschland für Sturzfluten mit erheblichen Schäden und sogar Todesfällen, z. B. im Frühsommer 2016 in Simbach und Braunsbach, aber auch im Frühsommer des extrem trockenen Jahres 2018 kam es lokal zu schweren Überflutungen durch Starkregen. Diese auch medial präsenten Ereignisse hinterließen den subjektiven Eindruck, dass sich extreme Niederschläge dieser Art häufen. Einsatzstatistiken und Versicherungsdaten bestärken diese Vermutung. Lässt sich dieser Eindruck mit meteorologischen Daten objektiv bestätigen? Gibt es einen belegbaren Trend in extremen Niederschlagsereignissen? Diese Fragen sind nicht einfach zu beantworten, denn es gibt keine allgemeingültige Definition für Begriffe wie Starkregenereignis oder Extremereignis. Gängige Ansätze der Extremwertstatistik sind rein statistischer Natur und unabhängig von Beginn und Ende eines Ereignisses. Sie berücksichtigen darüber hinaus lediglich die Intensität und Dauer von Niederschlag, nicht aber die flächenhafte Ausdehnung, den zeitlichen Verlauf oder auch die Zu- und Abnahme. Aber wo und wann beginnt und endet ein Ereignis und trennt es von einem weiteren – sowohl räumlich als auch zeitlich? Sind beispielsweise konvektive Strukturen einer Front jeweils als einzelne Ereignisse zu werten oder als Teile eines großräumigen Ereignisses? Gerade diese Fragen sind wichtig für ein belastbares Monitoring von Extremereignissen und die Bestimmung von Trends, insbesondere, wenn man von einer Änderung der Niederschlagsstruktur im Rahmen des Klimawandels ausgeht.

Mit der Radarklimatologie des Deutschen Wetterdienstes liegt ein Datensatz vor, der nahezu alle Extremereignisse seit 2001 deutschlandweit dokumentiert. Im Gegensatz zu stationsbasierten Niederschlagszeitreihen ermöglichen die flächendeckenden Messungen des Wetterradars die umfassende Charakterisierung extremer Niederschlagsereignisse in Bezug auf Intensität, Größe, Lebensdauer, zeitliche Entwicklung und räumliche Verlagerung.

Zusätzlich zu der rein meteorologischen Betrachtungsweise sind gerade im Zusammenhang mit schadensträchtigen Extremereignissen auch die Auswirkungen und Schadenspotenziale zu berücksichtigen. Dabei sind Ort und Umfang des Impacts zusätzlich z. B. von den topographischen Gegebenheiten, die den Abfluss bestimmen, oder auch vorherrschenden organisatorischen Strukturen abhängig. Bewertet man beispielsweise Extremereignisse im Hinblick auf eine strategische Einsatzplanung im Katastrophenschutz, spielen Zuständigkeitsbereiche von Einsatzkräften wie Feuerwehren eine Rolle. Eine systematische Analyse des Einsatzgeschehens in Deutschland stellt daher eine wichtige Grundlage für die wirkungsbezogene Analyse von Starkregenereignissen dar. In diesem Zusammenhang ist eine Homogenisierung der Einsatzdokumentation zwingend notwendig.

Im Rahmen des Projekts „Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikovorsorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung (KlamEx)“ der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“ erfassen wir die Starkregenereignisse, die seit 2001 in Deutschland stattgefunden haben, in einem umfassenden Ereigniskatalog. Über die Zusammenfassung charakteristischer meteorologischer Eigenschaften, das Hinzuziehen räumlicher Information, aber auch den Vergleich mit verfügbaren Einsatzstatistiken soll eine Ereignisdefinition etabliert werden, die Aussagen zu Folgen des Klimawandels für das Starkregengeschehen und die Auswirkungen auf den Bevölkerungs- und Katastrophenschutz ermöglichen kann. In unserem Beitrag diskutieren wir verschiedene Ansätze, um extreme Niederschlagsereignisse zu definieren und zu charakterisieren und stellen das Projekt KlamEx vor.

## **Aufrechterhaltung von Baroklinität durch extratropische Zyklone**

Thomas Spengler and Chris Weijenborg

Geophysical Institute, University of Bergen and Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen, Norway  
(thomas.spengler@uib.no)

Die Positionierung und Aufrechterhaltung der Baroklinität in mittleren und hohen Breiten und die damit verbundenen Zugbahnen der Zyklone sind noch nicht vollständig verstanden. Insbesondere wird die relative Rolle von Oberflächeninhomogenitäten wie Land-See-Kontraste und Fronten in der Meeresoberflächentemperatur im Vergleich zu der Rolle diabatischer und adiabatischer Prozesse in der freien Troposphäre weiterhin diskutiert. Ein wegweisender Artikel wies auf die Selbsterhaltung der Zugbahnen der Zyklone durch diabatische Erwärmung der Stürme selbst hin. Dies impliziert, dass die Stürme nicht nur von der vorhandenen Baroklinität wachsen, sondern die Baroklinität für folgende Stürme zur Verfügung stellen. Mit einer kürzlich eingeführten Diagnostik für die Neigung isentroper Flächen und ihrer Tendenz, bewerten wir die relative Rolle diabatischer und adiabatischer Effekte, die mit extratropischen Zyklonen bei der Aufrechterhaltung der Baroklinität in der unteren und oberen Troposphäre verbunden sind.

Ferner stellen wir eine Fallstudie vor, die das Konzept unserer Diagnose bei der Interpretation der Baroklinität einführt. Wir zeigen, dass eine bestimmte Abfolge von Stürmen, die in einem schweren Wirbelsturm ihren Höhepunkt findet, auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass die vorherigen Stürme die Hintergrundbaroklinität, entlang der sich die nachfolgenden Stürme entwickeln, aufrechterhalten oder sogar erhöhen. Darüber hinaus stellen wir eine globale Klimatologie der Baroklinität für Sommer und Winter vor, zusammen mit ihren Tendenzen. Wie zu erwarten, sind die Zugbahnen der Zyklone in der mittleren Baroklinität sowie in ihrem saisonalen Verlauf deutlich sichtbar. Darüber hinaus wird die zuvor aufgestellte Hypothese der Selbsterhaltung der Zugbahnen der Zyklone bestätigt, wobei die diabatischen Tendenzen die adiabatischen Tendenzen im Zeitmittel ausgleichen. Die diabatischen Tendenzen hängen grösstenteils mit extratropischen Zyklonen zusammen und erhöhen die Baroklinität.



## Wie gut können wir den Tagesgang der Verdunstung modellieren?

Maik Renner (1), Claire Brenner (2), Kaniska Mallick (3), Hans-Dieter Wizemann (4), Luigi Conte (1), Ivonne Trebs (3), Jianhui Wei (4), Karsten Schulz (2), Volker Wulfmeyer (4), and Axel Kleidon (1)

(1) Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, (2) Universität für Bodenkultur Wien, Österreich, (3) Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), (4) Universität Hohenheim

Obwohl viele Modellierungsansätze zur Verdunstung gute Ergebnisse für Tages- oder Monatswerte liefern, können sie systematische Abweichungen für den Tagesgang zeigen.

In dieser Arbeit evaluieren wir den Tagesgang unterschiedlicher Ansätze der Verdunstung. Die verwendeten Ansätze werden mit Beobachtungsdaten angetrieben und somit auch häufig zur Abschätzung regionaler Verdunstungsraten mit Fernerkundungsdaten benutzt. Für die Evaluierung führen wir eine Metrik ein, die den linearen Zusammenhang und die Phasenverschiebung einer Variablen zur Sonneneinstrahlung als unabhängige Antriebgröße für jeden Tagesgang inklusive Unsicherheiten ermittelt. Wir evaluieren Energiebilanzmessungen einer Eddy-Kovarianz Station über einer Wiese in Luxemburg an wolkenfreien Tagen mit unterschiedlichen Feuchtebedingungen.

Die Ergebnisse zeigen deutlich kleinere Phasenverschiebungen ( $< 30$  min) der Komponenten der Oberflächenenergiebilanz, als die der Temperatur in der Luft ( $\sim 2$ -3 h) bzw. der Oberfläche (1 h). Modellansätze, die auf dem Penman-Ansatz beruhen und neben der Strahlungsbilanz auch das Dampfdruckdefizit an Antrieb verwenden, zeigen hier deutlich größere Phasenverschiebungen als die gemessene Verdunstung. Das Dampfdruckdefizit als Funktion der Temperatur zeigt eine ebenso große Phasenverschiebung, die nicht durch andere Eingangsgrößen kompensiert wird. Modellansätze die hingegen den Temperaturgradienten zwischen Boden und Luft verwenden, zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messungen. Der Temperaturgradient zeigt interessanterweise nur eine kleine Phasenverschiebung, die zudem sensitiv auf die Wasserlimitierung reagiert.

Diese Ergebnisse zeigen, dass vorhandene Modellansätze systematische Abweichungen im Tagesgang aufweisen, was deren begrenzte Extrapolationsfähigkeit für den globalen Wandel andeutet.

## **Guideline zu dem ÖKS15-Datensatz für die Klimaimpaktforschung und Stakeholder**

Barbara Chimani (1), Christoph Matulla (1), Josef Eitzinger (2), Theresa Gorgas-Schellander (1), Johann Hiebl (1), Michael Hofstätter (1), Gerhard Kubu (1), Thomas Mendlik (3), Douglas Maraun (3), and Sabina Thaler (2)  
(1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Klimaforschung, Wien, Austria (barbara.chimani@zamg.ac.at), (2) Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur Wien, Wien, Austria, (3) Wegener Center für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz, Graz, Austria

2015/16 wurde der ÖKS15-Datensatz, ein Set hochaufgelöster Klimaprojektionen für Österreich erzeugt, das Klima- und Klima-Impakt-Studien zur Verfügung steht. Dieser Datensatz sowie jene Beobachtungsdatensätze, die zur Erzeugung verwendet wurden, wurden nun erweitert und hinsichtlich verschiedener Qualitätskriterien genauer untersucht (z.B.: durch die Bestimmung von Fehlermaßen auf unterschiedlichen Skalen oder die Eignung der Daten das Auftreten von Wetterlagen richtig wiederzugeben). Die Ergebnisse dieser Analysen wurden nun in einer allgemeinverständlichen Guideline über Qualität, Unsicherheiten und Anwendung dieser Daten zusammengefaßt und durch eine leichtverständliche Einführung in das zur Interpretation der Daten erforderliche Basiswissen sowie Antworten auf häufig gestellte Fragen der Datennutzer erweitert.

Die Guideline besteht daher aus 3 Teilen:

Teil 1 behandelt das Basiswissen, welches u.a. Informationen zu Klimamodellen, zur Analyse von Beobachtungsdatensätzen und Downscaling-Methoden enthält. Dieser Teil wendet sich in erster Linie an Stakeholder, Entscheidungsträger und die interessierte Öffentlichkeit und soll ermöglichen verschiedene Begriffe zutreffend in ein einfaches, aber richtiges Bild von Daten, Methoden und Zusammenhängen einzuordnen.

Teil 2 der Guideline fokussiert auf die nun erweiterten ÖKS15-Daten und den zur Erstellung notwendigen Beobachtungsdatensatz. Hier sind die Ergebnisse der oben angesprochenen Analysen zur Qualität, Unsicherheit usw. dargestellt. Diese Resultate werden durch ein Anwendungsbeispiel aus der Praxis ergänzt bei dem u.a. auch der Effekt, den die Verwendung verschiedener Klimaprojektionen auf die damit berechneten Ergebnisse haben können, gezeigt wird. Dieses Kapitel wurde sowohl für Wissenschaftler geschrieben, die mit diesen Daten arbeiten (werden), als auch für potentielle Auftraggeber um ihnen einen Überblick über Anwendbarkeit und Grenzen dieses Datensatzes zu verschaffen (d.h. für welche Frage-Stellungen ist dieser Datensatz geeignet).

Teil 3 bietet Antworten zu häufig gestellten Fragen der Klima-Impakt-Forschung. Es werden unterschiedliche Datenquellen ebenso besprochen, wie die mit unterschiedlichen Arten von Daten verbundenen Vor- und Nachteile oder wie man sich bei der Wahl verschiedener Klimaprojektionen zurechtfinden kann. Die behandelten Fragen wurden u.a. bei Workshops, die im Zuge des Projekts durchgeführt worden sind, gesammelt. Dieser Teil richtet sich an Anwender, die mit den nun verfügbaren Daten arbeiten bzw. planen damit zu arbeiten.

In der Präsentation wird die Guideline, die zugrundeliegende Strategie, ihre Struktur und ihr Inhalt vorgestellt.

## Radon-222 und Beryllium-7 als natürliche Tracer

Gabriele Frank (1), Josef Salvamoser (2), and Thomas Steinkopff (1)

(1) Deutscher Wetterdienst, Messnetze und Daten, Offenbach, Deutschland (thomas.steinkopff@dwd.de), (2) Institut für Angewandte Isotopen-, Gas- und Umweltuntersuchungen (IGU), Wörthsee, Deutschland (salv.igu@t-online.de)

Das Global Atmosphere Watch (GAW)-Programm dient dazu, den Einfluss der anthropogenen Emissionen auf die Atmosphäre weltweit zu untersuchen und zu bestimmen, sowie die Daten kontinuierlich der Fachwelt in dem „World Data Centre for Greenhouse Gases“ (Weltdatenzentrum für Treibhausgase) der WMO zur Verfügung zu stellen.

Zur Untersuchung der atmosphärischen Transportvorgänge werden in der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (2650 m) und auf der Zugspitze (2962 m) vom Deutschen Wetterdienst (DWD) die natürlichen Radionuklide Radon-222, Beryllium-7, Blei-210 quasikontinuierlich gemessen. Die Messungen liefern in Kombination mit meteorologischen Daten eine Datenbasis zur Klassifizierung von Luftmassen und eine Ergänzung für Verdünnungs- und Ausbreitungsrechnungen gasförmiger und aerosolgebundener Spurenstoffe.

Aufgezeigt werden hier die Optimierung und die Auswirkung der zweiten Probeentnahmestelle zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration auf der Zugspitze.

Die Messergebnisse der Radon-222- und der Beryllium-7-Aktivitätskonzentrationen werden im Zusammenhang mit der horizontalen und vertikalen Durchmischung der Luftmassen dargestellt.

Die Herkunft der natürlichen Radionuklide Radon-222 und Beryllium-7 ist bekannt, daher eignen sich diese hervorragend dazu, atmosphärische Transportprozesse zu untersuchen. Ein großer Vorteil von Radon-222 ist, dass keine nennenswerte Beeinflussung durch atmosphärische Prozesse (chemische Prozesse, Auswaschung) erfolgt.

Erhöhte Werte von Beryllium-7 sind stets ein Indiz für Luftmassen aus den oberen Bereichen der Atmosphäre, wo Beryllium-7 in Wechselwirkung mit der kosmischen Strahlung erzeugt wird. Erhöhte Werte von Radon-222 lassen auf lokale Einflüsse oder auf eine starke Anreicherung durch den Transport über Landmassen mit hohen Radon-Emanationen in Kombination mit geringer Deposition und Auswaschung schließen.

Seit 2014 stehen die Radon-222-Messergebnisse, nach eingehender Prüfung seitens des DWD, dem „World Data Centre for Greenhouse Gases“ der WMO zur Verfügung.

## Ein Extremalprinzip für die atmosphärische Wirbeldynamik

Peter Névir

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany (peter.nevir@mail.met.fu-berlin.de)

Extremalprinzipien sind sehr allgemeingültige Grundprinzipien der Natur, wobei eine bestimmte Größe unter gegebenen Randbedingungen einen extremalen Wert, d.h. einen kleinsten oder größten Wert annimmt. Dieses ist ein Hinweis darauf, dass die Prozesse in der Natur zielgerichtet und optimal ablaufen. Das bekannteste Extremalprinzip ist das Hamilton'sche Prinzip der kleinsten Wirkung, was in der klassischen Mechanik seine Anwendung findet. Hierbei wird ein Linienintegral über ein Wirkungsfunktional extremal. Bei den Anwendungen in der dynamischen Meteorologie ist dieses jedoch ungeeignet, da hier keine einzelnen Partikeltrajektorien, sondern die zeitliche Evolution von Wirbelphänomenen auf verschiedenen Skalen wie Tornados, Hurrikans oder extratropische Zyklonen von Interesse ist. Ein Wirkungsprinzip direkt für atmosphärische Wirbelfelder ist bisher nicht bekannt. Es kann jedoch gezeigt werden, dass auf Basis der Energie-Wirbel-Theorie der Fluidodynamik, im Gegensatz zu dem Linienintegral in der Hamilton'schen Dynamik, ein Flächenintegral extremal werden muss. Hier ist eine ganze Familie von möglichen Trajektorien zu betrachten, wobei das Wirkungsfunktional ebenfalls einen minimalen Wert annimmt. Damit können die bekannten Wirbelgleichungen direkt abgeleitet werden. Weiter kann das Wirkungsfunktional auch zur Bestimmung der Stabilität und Instabilität von atmosphärischen Grundzuständen verwendet werden. Diese Idee wird am Beispiel der barotropen Vorticity-Gleichung und der quasigeostrophischen Dynamik konzeptionell vorgestellt. Eine mögliche Anwendung zum Verständnis der Stabilität von blockierenden Wetterlagen wird ebenfalls diskutiert.

## Neue radarbasierte Produkte des DWD zum präventiven Starkregenrisikomanagement in Deutschland

Andreas Becker (1), Christoph Brendel (1), Mario Hafer (1), Thomas Junghänel (1), Anna Klameth (2), Katharina Lengfeld (1), Ewelina Walawender (3), Elmar Weigl (1), and Tanja Winterrath (1)

(1) DWD, Hydrometeorological Department, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach am Main, Germany (andreas.becker@dwd.de), (2) DWD, Data and Observational Networks Department, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach am Main, Germany, (3) DWD, Hohenpeissenberg Meteorological Observatory, Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeissenberg

Nicht zuletzt die Starkregenereignisse der vergangenen Jahre (Münster, 2014; Braunsbach, Simbach, 2016; Berlin/Oranienburg, 2017; Oststeinbeck, 2018) weisen auf die in Deutschland traditionell unterschätzten Naturgefahren Starkregen und Sturzfluten hin. Nach neuesten Erkenntnissen des DWD können gerade die extremen Starkregenereignisse überall auftreten und auch abseits von Gewässern zu schadenträchtigen Überflutungen führen. Da die weitere Verbesserung der Vorhersage sich in einem zunehmend ungünstigen Kosten/Nutzen Verhältnis bewegt, sollte sich ein effizientes Management des Starkregenrisikos in Deutschland auch auf präventive Maßnahmen stützen. Diese erfordern zunächst ein gutes Lagebild über die Gefährdung, und hierzu zeigen wir den erheblichen Nutzen einer inzwischen 17-jährigen radargestützten hochauflösenden (1 qkm, 1h) Niederschlagsklimatologie des DWD auf. Sie liefert ein aktualisiertes Lagebild zur Starkregengefährdung in Deutschland und ist essentielle Datengrundlage für eine deutschlandweite Starkregengefahrenhinweiskarte, welche die Hot Spots für weitergehende Untersuchungen zur Prävention auf regionaler Skala aufzeigen soll. Aufgrund der relativ kurzen zeitlichen Basis der Radarklimatologie, sind die quantitativen Informationen zur Gefährdung noch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die Beschreibung von worst-case Szenarien und insbesondere der Gefährdungslage für extremste Niederschläge ist aber bereits möglich und weist prompt auf ein neues Lagebild für diese Art der Niederschläge hin, mit einem deutlich geringeren Bezug zur Topographie, als bisher angenommen. Das Potential der Nutzungen für den Datensatz ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft. An dieser Stelle ist die Verbesserung der Erosionsüberwachung durch eine schnelle Diagnose der Erosivität demonstriert worden. Weiter Nutzungsformen liegen im Bereich der Gefährdungs- und Risikoanalysen im Rahmen der Prävention für den Bevölkerungs- und Hochwasserschutz und im Rahmen der Landschafts- und Stadtplanung mit Bezug auf eine „wassersensible“ Herangehensweise. Methodik und Anwendungsbeispiele sollen mit diesem Beitrag vorgestellt werden. Insgesamt macht der DWD hiermit ein nachhaltiges Angebot im Kontext der Klimaanpassung und Prävention gegen die in Deutschland notorisch unterschätzten Naturgefahren Starkregen und pluviale Sturzfluten.



## **Eigenschaften und Nutzungspotentiale der neuen gerasterten Analysen des globalen Niederschlags des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN)**

Andreas Becker, Jan Nicolas Breidenbach, Peter Finger, Siegfried Fränkling, Astrid Heller, Bruno Heller, Armin Rauthe-Schöch, Kira Rehfeldt, Elke Rustemeier, Udo Schneider, Raphaele Schulze, and Markus Ziese  
DWD, Hydrometeorological Department, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach am Main, Germany  
(andreas.becker@dwd.de)

Bis Sommer 2018, hat das Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie sein gesamtes Portfolio an gerasterten Datenprodukten zur Analyse des monatlichen und täglichen globalen Niederschlages über den Landoberflächen aktualisiert und öffentlich bereitgestellt. Gegenüber der Vorgängerversion aus 2015 sind die erneut DOI referenzierten Datenprodukte in wesentlichen Eigenschaften (zeitliche Abdeckung, räumliche Auflösung, Interpolationsverfahren, Fehlerinformation, statistical infilling) verbessert worden. Insbesondere aus China und dem zentralen Afrika sind wesentliche Verbesserungen in der Datenbelegung der Analysequalität zugutegekommen. Darüber hinaus ist im Vorjahr erstmals ein homogenisierter Datensatz für Europa (HOMPRA) bereitgestellt worden. Das Portfolio der Datenprodukte enthält für die unterschiedlichen archetypischen Anforderungen in punkto Aktualität, Qualität, Homogenität und Genauigkeit das jeweils optimale Produkt. Die zeitliche Abdeckung der monatlichen Analysen erstreckt sich inzwischen von 1891 bis heute, bei den täglichen Analysen sind alle Tage seit Anfang 1982 inkludiert. Die räumliche Auflösung ist maximal 0.25 Grad. Insbesondere die Integration mit anderen Datenprodukten aufgrund der Interoperabilität des Datenformats erhöht das Nutzungspotential. So werden z.B. durch den Verschnitt mit Abflussdaten für Flusseinzugsgebiete, bereitgestellt durch das Global Runoff Data Centre, wissenschaftliche Untersuchungen zu den Komponenten des globalen Wasserkreislaufes zusätzlich möglich. Auch ermöglichen kombinierte Satelliten-in-situ Produkt die voll globale Analyse des Niederschlages. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Datenprodukte und zeigt das breite Spektrum an Nutzungsmöglichkeiten auf.



## **Turbulente Austauschprozesse über polaren Eistrinnen - Eine LES-Studie**

Xu Zhou (1), Micha Gryschka (1), Matthias Sühling (1), Björn Witha (2), Christof Lüpkes (3), Vladimir Gryanik (3), and Siegfried Raasch (1)

(1) Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Germany, (2) Forwind, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Germany, (3) Alfred Wegener Institut, Bremerhaven, Germany

Eistrinnen sind kanalartige Öffnungen im Meereis mit einer Breite von einigen Metern bis hin zu mehreren Kilometern und einer Länge von bis zu einigen hundert Kilometern. Sie entstehen durch Divergenz oder Scherung in der Meereis-drift, hervorgerufen durch Wind- und Ozeanströmungen. Obwohl Eistrinnen in den Polarregionen nur einige Prozent zur Gesamteisbedeckung beitragen, spielen sie eine wichtige Rolle in der Energiebilanz. So wird der Netto-Wärmefluss vom Ozean in die Atmosphäre in polaren Regionen durch diese Öffnungen im Eis signifikant erhöht. Messungen im Winter haben beispielsweise für das westliche Weddelmeer einen Beitrag von bis zu 70% aufgezeigt. Direkt über den Rinnen treten typischerweise Wärmeflüsse von einigen hundert Watt pro Quadratmeter auf. Daher ist das Verständnis über die Austauschprozesse über Eistrinnen wichtig für die Entwicklung von Parametrisierungen in Wetter- und Klimamodellen.

In diesem Beitrag sollen Ergebnisse einer Parameterstudie mit dem turbulenzauflösenden Modell PALM (Parallelized Large Eddy Simulation Model) hinsichtlich der turbulenten Austauschprozesse über Eistrinnen gezeigt werden. Insbesondere wird die Abhängigkeit der bodennahen Wärmeflüsse von der Rinnenbreite diskutiert, welche zwischen 10 m und 25 km Breite variiert wurde. So zeigen die Ergebnisse, dass über schmalen Rinnen ein effektiverer Wärmetransport stattfindet als über breiteren, was auch mit einigen Beobachtungen aus experimentellen Studien übereinstimmt. Die Ausprägung dieser Abhängigkeit hängt u.a. von der Stärke des Hintergrundwindes ab.

## **Ableitung zukünftiger Jährlichkeiten für Extremwerte unterschiedlicher Klimavariablen mittels einer Kerndichteschätzung**

Christoph Brendel and Thomas Deutschländer

Deutscher Wetterdienst, Hydrometeorologie, Offenbach/Main, Germany (christoph.brendel@dwd.de)

Das Expertennetzwerk des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) untersucht Herausforderungen, die sich für den Verkehrssektor im 21. Jahrhundert ergeben. Hierzu zählen u.a. die Auswirkungen des Klimawandels und extremer meteorologischer Ereignisse auf die Verkehrsinfrastruktur. Insbesondere die Wetterextreme stellen eine potenzielle Gefahr für den nachhaltigen Betrieb dar und Änderungen in ihrer Auftrittshäufigkeit erfordern eine erhöhte Resilienz des Verkehrssystems.

Für die Ableitung robuster Änderungssignale von Extremereignissen relevanter Klimavariablen (Temperatur, Niederschlag, Wind, Feuchte) im 21. Jahrhundert wurde als Datengrundlage ein Klimamodellensemble verwendet, das sich aus (hochaufgelösten) regionalen Klimaprojektionen ( $0,11^\circ$ ) von EURO-CORDEX und ReKLiEs-De zusammensetzt. Das umfangreiche Multi-Modell-Ensemble mit drei Repräsentativen Konzentrationspfaden (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) erlaubt die Interpretation der Ergebnisse unter Berücksichtigung verschiedener Unsicherheitsquellen wie der Emission von Treibhausgasen, Unterschiede der Modellphysik und Parametrisierungen zwischen den Ensemblemitgliedern sowie der internen Klimavariabilität.

Als methodische Grundlage zur Bestimmung zukünftiger Jährlichkeiten von Extremereignissen wurde eine nicht parametrische Kerndichteschätzung angewendet. Im Gegensatz zur häufig verwendeten klassischen Extremwertanalyse sind hierbei keine Vorauswahl eines Modells zur Beschreibung der Extremwertverteilung sowie keine gesonderte Behandlung von instationären Zeitreihen notwendig. Im historischen Zeitraum werden zunächst Überschreitungen von relativen Schwellenwerten (90%, 95%, 99% und 99.9% Quantil) als Extremereignis definiert. Für diese Überschreitungen wird anschließend mittels der Kerndichteschätzung eine Auftrittswahrscheinlichkeit (Jährlichkeit) der Schwellenwertüberschreitung in Abhängigkeit von der Zeit sowohl für das historische Klima, als auch den Projektionszeitraum bestimmt. Da nur die Überschreitung des Schwellenwertes, aber nicht der absolute Wert berücksichtigt wird, ist diese Methode auch robust gegenüber statistischen Ausreißern. Jährlichkeiten für Extremereignisse, die im historischen Klima bisher nicht aufgetreten sind, lassen sich jedoch nicht bestimmen, da für die Kerndichteschätzung keine Extrapolation wie bei einem Modell möglich ist.

Ausgewertet wurden die Ergebnisse der Kerndichteschätzung für meteorologische Jahreszeiten sowie stratifiziert nach einzelnen Regionen in Deutschland und im Mittel für das gesamte Bundesgebiet. Hierbei zeigen sich große Unterschiede zwischen den einzelnen Klimavariablen und RCPs, im Verhältnis hierzu aber deutlich geringere Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen. Insbesondere nimmt die Jährlichkeit für Temperaturextreme der Maximum- und (Minimumtemperatur), vor allem für das RCP8.5, deutlich zu (ab). Für Extreme des Winds sind die Änderungen oftmals kleiner als die Schwankungen der multidekadischen Variabilität.

## Offline Nesting des mikroskaligen Stadtklimamodells PALM-4U in COSMO

Matthias Sühling (1) and Eckhard Kadasch (2)

(1) Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, (suehring@muk.uni-hannover.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung

Für die Untersuchung spezifischer stadtklimatologischer Fragestellungen mithilfe numerischer Simulationen ist es notwendig alle für die jeweilige Fragestellung relevanten physikalischen Prozesse zu berücksichtigen, welche einen weiten Skalenbereich abdecken können, angefangen von kleinskaligen Mischungsprozessen im Bereich weniger Meter bis hin zu synoptischen Skalen.

Die Berücksichtigung realistischer synoptischer Randbedingungen ist dabei insbesondere für die Modellevaluierung von großer Bedeutung, bei der Simulationsergebnisse mit Daten aus Messkampagnen verglichen werden, als auch bei der Simulation historischer Extremereignisse.

Das turbulenzauflösende Stadtklimamodell PALM-4U ist in der Lage sowohl kleinskalige Austauschprozesse aufzulösen und gleichzeitig sich räumlich und zeitlich ändernde synoptische Randbedingungen zu berücksichtigen, welche über eine standardisierte Schnittstelle vom COSMO Modell bereitgestellt werden.

Dies ermöglicht es turbulenzauflösenden Simulationen über einen längeren Zeitraum von mehreren Tagen durchzuführen.

Die COSMO Lösung dient dabei als zeitlich abhängige Randbedingung in PALM-4U.

Da in COSMO turbulente Austauschprozesse nicht explizit aufgelöst werden, müssen sich in der Large-Eddy Simulation nahe des Einströmrandes zunächst turbulente Strukturen entwickeln, sodass teilweise große Anpassungsbereiche notwendig.

Um den Anpassungsbereich und damit den Rechenzeitbedarf zu reduzieren, wird ein synthetischer Turbulenzgenerator verwendet, welcher räumlich und zeitlich miteinander korrelierte Störungen auf die von COSMO bereitgestellten Randwerte aufprägt.

Die dafür zugrunde liegende Turbulenzstatistik wird abhängig von den atmosphärischen Bedingungen parametrisiert, um für verschiedene Stabilitätsregime anwendbar zu sein.

Das implementierte offline Nesting wird anhand geeigneter Testfälle verifiziert.

## Condensation growth of levitated microdroplets in an electric field

Dmitrii Gabyshev (1), Alexander Fedorets (1), Nurken Aktaev (1), Otto Klemm (2), and Stepan Andreev (3)

(1) University of Tyumen, Microhydrodynamic Technologies Laboratory, Russian Federation (gabyshev-dmitrij@rambler.ru),

(2) Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Climatology, Germany, (3) Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Russian Federation

A laboratory technique has been developed to keep water droplets (30–100  $\mu\text{m}$  diameters) in a levitated, stationary state within an upward-oriented airstream. The droplets are organized in a hexagonal monolayer which forms in a steam jet. They are kept in equilibrium for up to several minutes [1]. Almost immobile droplets thus travel a distance of many meters relatively to the jet, which makes the system comparable to the concept of the “Leipzig Aerosol Cloud Interaction Simulator LACIS” [2]. However, in our case, optical microscopy can be used to study the positions and sizes of the microdroplets in real time.

At the first place, we studied the droplets’ growth according to the Maxwell’s law for condensation. Later, a technology was developed to suppress condensational growth through the exposure to infrared radiation [3]. More recent research focused on the influence of periodic heating of the subjacent water layer on the droplets’ growth [4]. This was the starting point to study the droplets’ growth under the influence of an external electric field.

Electric fields in the order of  $10^5 \text{ V m}^{-1}$  were applied and an enhancement of condensation was observed. To our knowledge, this is the first experimental observation of a process that has long been proposed in theoretical considerations [5]. A mathematical model based on theoretical data is in moderate agreement with our experimental data. Also, a strong anisotropy of condensation within the electric field as well as effects on droplet growth are predicted. The results are promising and will likely contribute to the understanding of electrophysics of natural cloud droplets [6] and eventually of the formation of precipitation [7, 8].

We thank the Russian Foundation for Basic Research (Project 18-38-00232 mol\_a), the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project 3.12801.2018/12.2), and the German Academic Exchange Service (Michail-Lomonosov-Programme — Linie A, 2018, No. 57391663) for financial support.

### References:

- [1] Fedorets A.A. *et al.* *Sci. Rep.* **7** 1888 (2017). DOI: 10.1038/s41598-017-02166-5
- [2] Kiselev A. *et al.* *Appl. Opt.* **44**(22) 4693 (2005), DOI: 10.1364/AO.44.004693
- [3] Fedorets A.A., Dombrovsky L.A. *Int. J. Heat Mass Transf.* **104** 1268 (2017). DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.09.087
- [4] Fedorets A.A. *et al.* *Int. J. Heat Mass Transf.* **127A** 660 (2018). DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.055
- [5] Murino G. *South Afr. J. Phys. (South Africa)* **2** 113 (1979).
- [6] Andreev S.N., Gabyshev D.N. *Bull. Lebedev Phys. Inst.* **45**(9) 257 (2018). DOI: 10.3103/S1068335618090014
- [7] Pruppacher H.R., Klett J.D. *Microphysics of Clouds and Precipitation* (Springer, 2010).
- [8] Nadykto A.B. *et al.* *Aerosol Sci. Tech.* **37**(4) 315 (2003). DOI: 10.1080/027868203000961

## FESSTVaL - Field Experiment on Sub-Mesoscale Spatio-Temporal Variability in Lindenberg

Bastian Kirsch (1), Felix Ament (1), Cathy Hohenegger (2), Daniel Klocke (3,2), Ivan Bastak Duran (4), Martin Göber (5,3), Tijana Janjic Pfander (6,3), Ulrich Löhnert (7), Tobias Pardowitz (5), Henning Rust (5), Linda Schlemmer (4), Jürg Schmidli (4), Annika Schomburg (4,3), Sabrina Wahl (7), Martin Weissmann (6), Frank Beyrich (8), and Matthieu Masbou (3)

(1) Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland (bastian.kirsch@uni-hamburg.de), (2) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Bereich Modellentwicklung - Wolkenphysik, Max Planck Institut für Meteorologie, Hamburg, Deutschland, (3) Deutscher Wetterdienst, Forschung und Entwicklung, Offenbach am Main, Deutschland, (4) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Bereich Modellentwicklung - Planetare Grenzschicht, Goethe Universität Frankfurt, Frankfurt am Main, Deutschland, (5) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Bereich Kommunikation und Warnungen, Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland, (6) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Bereich Datenassimilation und Vorhersagbarkeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland, (7) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Bereich Klimamonitoring und Diagnostik, Universität Bonn und Universität zu Köln, Bonn und Köln, Deutschland, (8) Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg - Richard-Aßmann-Observatorium, Tauche, Deutschland

Numerische Wettervorhersage (NWP) Modelle auf regionalen Skalen verwenden eine typische Gitterweite von  $O(1)$  km). Während solche Maschenweiten die explizite Auflösung von zumindest tiefer Konvektion erlauben, werden zahlreichen Prozesse, wie z. B. Turbulenz oder flache Konvektion, durch die zu grobe Gitterweite nicht aufgelöst. Large-Eddy Simulationen (LES) mit einer räumlichen Auflösung von  $O(100)$  m ermöglichen einen Einblick in diese kleinskaligen und im Allgemeinen schlecht aufgelösten Phänomene. Auch solche Simulationen beruhen allerdings auf teilweise unsicheren Parametrisierungen. Aufgrund der zu groben operationellen Beobachtungsnetze ist die Validierung von NWP- und LES-Modellen schwierig. Beispielsweise beträgt der typische Abstand der automatisierten Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) 25 km.

Wir stellen den Plan für die Messkampagne FESSTVaL (Field Experiment on Sub-Mesoscale Spatio-Temporal Variability in Lindenberg) vor, die auf Initiative des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung (HErZ) am Meteorologischen Observatorium Lindenberg nahe Berlin während der Sommermonate 2020 stattfinden wird. Bei der Kampagne soll ein Messnetzwerk mit hoher räumlicher Abdeckung die Erfassung von Phänomenen und Prozessen auf Skalen zwischen 500 m und 5 km ermöglichen. Die Messungen dienen dazu (i) unser Prozessverständnis zu verbessern, (ii) Aspekte konvektions-auflösender NWP-Simulationen zu validieren und (iii) verschiedene Messstrategien und Instrumententypen für die Entwicklung geeigneter Messnetze der Zukunft zu vergleichen. Zusätzlich zu den Messungen werden zur Unterstützung der Messkampagne und zu Validierungszwecken zahlreiche Simulationen durchgeführt. Drei der Quellen von sub-mesoskaliger Variabilität stehen im Fokus des Experimentes: Strukturen der atmosphärischen Grenzschicht, Cold Pools und Windböen. Des Weiteren wird die Verwendbarkeit von Citizen Science basierten Messungen untersucht und die Qualität und Repräsentativität von ESA Aeolus Produkten evaluiert.

## Die Erfassung von Cold Pools mit dichten Messnetzen bei FESSTVaL 2020

Bastian Kirsch (1), Felix Ament (1), Cathy Hohenegger (2), Daniel Klocke (3,2), and Rainer Senke (1)

(1) Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland (bastian.kirsch@uni-hamburg.de), (2) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Bereich Modellentwicklung - Wolkenphysik, Max Planck Institut für Meteorologie, Hamburg, Deutschland, (3) Deutscher Wetterdienst, Forschung und Entwicklung, Offenbach am Main, Deutschland

Als Cold Pools werden kleinräumige Gebiete evaporativ gekühlter Luft bezeichnet, die sich unterhalb regnender und meist konvektiver Wolken an der Erdoberfläche ausbreitet. Cold Pools sind insbesondere für die Dynamik von Niederschlagsprozessen von Bedeutung, da sie eine wichtige Rolle bei der Bildung und Erhaltung von Konvektion spielen. Der Durchgang einer Cold Pool Front wenige Minuten vor Einsetzen des Niederschlages ist meist mit deutlichen Sprüngen im lokalen Luftdruck-, Temperatur- und Windgeschwindigkeitssignal verbunden. Konvektions-auflösende numerische Wettervorhersage (NWP) Modelle und moderne Large-Eddy Simulationen (LES) mit Gitterweiten von unter 1 km sind in der Lage Cold Pools explizit aufzulösen. Die Dynamik der Cold Pools stellt dabei eines der faszinierendsten Merkmale der neuen Simulationen dar, doch wird diese auch realistisch abgebildet? Aufgrund der unzureichenden Auflösung operationeller Messnetze fehlen allerdings Referenzbeobachtungen, die eine genaue Erfassung von Cold Pools sowie eine Validierung ihrer simulierten Eigenschaften erlauben.

Im Rahmen der Messkampagne FESSTVaL (Field Experiment on Sub-Mesoscale Spatio-Temporal Variability in Lindenberg) sollen neuartige Messstrategien mit hoher räumlicher Abdeckung zur Beobachtung sub-mesoskaliger Strukturen der atmosphärischen Grenzschicht, zu denen auch Cold Pools zählen, erprobt werden. FESSTVaL soll im Sommer 2020 als gemeinsame Initiative der Partner des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung (HErZ) am Meteorologischen Observatorium Lindenberg nahe Berlin stattfinden.

Wir werden Pläne und wissenschaftliche Vorarbeiten zur Untersuchung von Cold Pools während FESSTVaL vorstellen. Zur Erfassung der Größe und räumlichen Strukturen von Cold Pools in hinreichender Auflösung, soll im Umkreis von ca. 20 km um das Observatorium in Lindenberg ein dichtes Netzwerk aus bodengebundenen Messstationen installiert werden. Das Netzwerk wird aus ca. 100 kostengünstigen und stromsparenden Datenloggern bestehen, die Luftdruck und Temperatur mit sekundlicher Auflösung autonom aufzeichnen und zurzeit am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg entwickelt und getestet werden. Ein gröberes Netz aus etwa 20 WXT-Kompaktsensoren mit zusätzlicher Wind-, Feuchte- und Niederschlagsmessung sowie einzelner hoch-präziser Energiebilanz-Stationen und einem X-Band Niederschlagsradar sollen das Messnetz ergänzen. Auswertungen von vorhandenen Beobachtungsdaten des Wettermastes Hamburg und Routine-Messstationen zeigen, dass die mittlere negative Temperaturanomale eines Cold Pools zwischen 3 und 4 K liegt, während Luftdruck- und Windgeschwindigkeitssignale von etwa 1 hPa und 3 m/s zu erwarten sind. Außerdem ist ein ausgeprägter Tages- und Jahresgang in der Häufigkeit des Auftretens von Cold Pools zu beobachten.

## **In-situ Windmessungen über komplexem Gelände mittels UAS**

Kjell zum Berge, Martin Schön, Alexander Rautenberg, Moritz Mauz, Asmae El-Bahlouli, Hermann Knaus, and Jens Bange

Eberhard Karls Universität Tübingen, Center for Applied Geoscience, Environmental Physics, Tübingen, Germany  
(kjell.zum-berge@uni-tuebingen.de)

Innerhalb des WINSSENT Projektes (Wind Science and Engineering in Complex Terrain) wird im Südwesten Deutschlands ein Windenergiesektor errichtet und anschließend dauerhaft betrieben. Das Testfeld befindet sich in komplexem Gelände direkt oberhalb eines bewaldeten Hanges am Rand der Schwäbischen Alb. Ergebnisse aus den dort durchgeführten Messungen helfen bei der zukünftigen Planung von Windkraftanlagen und führen zu einem besseren Verständnis des Windfeldes in komplexem Gelände. Die Arbeitsgruppe für Umweltphysik der Universität Tübingen nutzt im Rahmen des Verbundvorhabens WINSSENT das UAS (Unmanned Aircraft System) MASC3 um in-situ Messungen der atmosphärischen Grenzschicht durchzuführen. Das MASC3 ist ein „Fixed-Wing“ UAS mit einer Spannweite von vier Metern, angetrieben von einem Elektromotor, welcher es ermöglicht, autonom Messungen über einen Zeitraum von bis zu zwei Stunden durchzuführen. Das System misst unter anderem den turbulenten dreidimensionalen Wind und die turbulente Temperatur.

Innerhalb des WINSSENT Projektes wird das MASC3 eingesetzt, um Windmessungen über dem Testfeld und in der Anströmung in Höhen zwischen 20 und 200 m über Grund durchzuführen. Die Messflüge wurden über das Jahr verteilt an Tagen mit unterschiedlichen Witterungsbedingungen durchgeführt. Zusammen mit den erhobenen Daten der Messmasten und LIDAR wurden die resultierenden Daten anschließend mit CFD-Simulationen verglichen. Wir präsentieren den Vergleich der von MASC3 gemessenen Daten mit den CFD-Simulationen in Bezug auf den Einfluss unterschiedlicher Wetterlagen und deren Einfluss auf den Luftstrom über komplexem Gelände. Neben dem Vergleich mit Simulationsdaten soll zudem ein Vergleich mit den bereits vorhandenen Winddaten des Messmastes direkt an der Hangkante präsentiert werden. Dieser ist mit Ultraschall-Anemometern auf verschiedenen Höhen ausgestattet und ermöglicht so einen direkten Vergleich des turbulenten Windes.



## Meteorologisches Observatorium der Neumayer-Station III

Hanno Müller and Holger Schmithüsen

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (holger.schmithuesen@awi.de)

Das Alfred-Wegener-Institut betreibt an der Neumayer-Station III (70° 40' S, 8° 16' W) auf dem Ekström-Schelfeis in der Antarktis ein meteorologisches Observatorium und drei automatische Wetterstationen in bis zu 1400 km Entfernung von der Station. Wir geben hier einen kompakten Überblick über das meteorologische Observatorium, das seit 1981 qualitativ hochwertige Langzeitmessreihen verschiedener essentieller Klimavariablen aufzeichnet.

Synoptische Beobachtungen werden alle drei Stunden und Vertikalsondierungen der Atmosphäre mit Radiosonden täglich durchgeführt, um über das Global Telecommunication System und das WMO Information System Messdaten für Wettervorhersagemodelle zur Verfügung zu stellen. Das meteorologische Observatorium liefert Beiträge zu internationalen Netzwerken wie dem Global Climate Observing System und dem Network for the Detection of Atmospheric Composition Change. Außerdem ist das meteorologische Observatorium Teil des Baseline Surface Radiation Network, um als eine von vier Stationen in der Antarktis Messungen kurz- und langwelliger Strahlungsflüsse in bestmöglicher Qualität bereitzustellen.

Die zeitliche Entwicklung der Jahresmitteltemperatur der bodennahen Luft wird von 1982 bis 2018 vorgestellt. Eine Trendanalyse zeigt weder eine signifikante Erwärmung noch eine Abkühlung an Neumayer.

Seit 1992 werden regelmäßige Ballonaufstiege mit elektrochemischen Ozonsonden durchgeführt. Für das Jahr 2018 wird der zeitliche Verlauf des Ozonpartialdrucks vom Boden bis in 30 km Höhe präsentiert und die zeitliche Entwicklung der minimalen Gesamtozonsäule während des jährlichen Ozonloches von 1992 bis 2018 dargestellt.

## **Verdunstungsunterschiede von vier benachbarten langjährigen Eddykovarianz-Stationen über unterschiedlicher Landnutzung**

Uta Moderow, Uwe Eichelmann, Thomas Grünwald, Markus Hehn, Heiko Prasse, Ronald Queck, Uwe Spank, and Christian Bernhofer

Technische Universität Dresden, Institute of Hydrology and Meteorology, Tharandt, Germany (uta.moderow@tu-dresden.de)

Wasserdampf ist das wichtigste natürliche Treibhausgas und vor dem Hintergrund des Klimawandels und den damit einhergehenden Klimafolgen kommt daher der Verdunstung eine besondere Bedeutung zu. Diese setzt an der Erdoberfläche Strahlungsenergie um, führt der Atmosphäre Wasserdampf zu und ist Teil der Wasser- und der Energiebilanz. Das Cluster von Flussmessstationen der TU Dresden (Moderow und Bernhofer 2014) bietet die Möglichkeit den Stoff- und Energieaustausch (v.a. Wasser und Kohlendioxid) zwischen Erde und Atmosphäre für räumlich nah gelegene Stationen unterschiedlicher Landnutzungen zu studieren.

Vier Flussmessstationen des TU Dresden Clusters (Ankerstation Tharandter Wald, Fichte; Grillenburg, Wiese; Klingenberg, Mehrfelderwirtschaft; Oberbärenburg, Fichte) sollen in dem Beitrag hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Verdunstung näher vorgestellt werden. Die Stationen befinden sich an der Nordseite des Erzgebirges (Sachsen) in einem Umkreis von 30 km und sind im Wetterverlauf bzw. klimatisch ähnlich, allerdings mit einem Höhengradienten in der obigen Reihenfolge. Dies ermöglicht es Unterschiede auf 1) unterschiedliche Höhenlagen, 2) unterschiedliche Landnutzung und 3) sonstige Einflussgrößen („Störgrößen“) zu analysieren. Grundlage bilden Halbstundenmessungen über 10 Jahre, die lückengefüllt und zu Tageswerten zusammengefasst wurden.

Die Analysen umfassen vor allem einen Vergleich des Wasser- und Energiedargebots (Bodenwasser/Niederschlag; zur Verfügung stehende Energie) und des latenten Wärmestroms. Charakteristische Größen wie Albedo, Oberflächentemperatur, Bowenverhältnis oder das Verdunstungsverhältnis zu Niederschlag und Strahlungsbilanz ergänzen den Beitrag.

### Literatur

Moderow, U., Bernhofer, C., 2014. Cluster of the Technische Universität Dresden for greenhouse gas and water fluxes. iLEAPS-Newsletter, Special issue on environmental research infrastructures 34–37.



## **Objective Classification of Convective and Stratiform Rain Type in Bavaria Using Thies Disdrometer Measurements of Rain Microstructure**

Wael Ghada (1), Nicole Estrella (1), Annette Menzel (1,2)

(1) Department of Ecology and Ecosystem Management, Technical University of Munich, Freising, Germany, (2) Institute for Advanced Study, Technical University of Munich, Munich, Germany

Classification of rain type into convective and stratiform is an important prerequisite to investigate the association between rain properties and the weather conditions on local and large scales. This classification is also important to improve the accuracy of rain rate estimation by radars. Some classification methods suggest using pairs of rain microstructure parameters such as the median volume diameter  $D_0$ , the intercept  $N_0$ , rain intensity  $R$ , shape  $\mu$  and slope  $\Lambda$  of the fitted gamma distribution to rain drop size distribution. All of these parameters can be measured by disdrometers. However, large differences in their values occur when using different disdrometer types. This makes the suitability of using the same classification methods for different types of disdrometers doubtful. We test the classification performance of a selection of methods when applied on Thies disdrometer measurements of rain microstructure. We also investigate the possibility of improving the classification performance by applying different machine learning predictive models.

Clear convective and stratiform intervals were selected out of one year of Thies disdrometer measurements in Fuerstzell in the southeast of Germany. The already available classification methods performed poorly when applied to this dataset, even after modifying the decision boundary for optimized separation performance. To achieve better classification, a collection of rain microstructure features were selected based on low inter-correlation and high prediction power for rain type. These features were then used in different predictive models. The newly suggested models outperformed all the available methods which were restricted in terms of predictors and linear decision boundary.

## **Meteorologische Aspekte des Versuchs von S.A. Andree, im Jahr 1897 den Nordpol mit einem Gasballon zu erreichen**

Dieter Etling

Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, Germany (etling@muk.uni-hannover.de)

11. Juli 1897 starteten die Schweden Salomon August Andree, Knut Frenkel und Nils Strindberg mit einem Gasballon von Spitzbergen, um damit als erste den Nordpol zu erreichen. Die Ballonfahrt endete wegen technischer und meteorologischer Probleme bereits nach 3 Tagen am 14. Juli mit einer Notlandung auf dem Packeis. Zum Nordpol wären zu diesem Zeitpunkt noch etwa 780 km Luftlinie zurückzulegen gewesen. Trotz des Misserfolgs wurde diese Expedition in zahlreichen Publikationen beschrieben und diskutiert. Dies lag weniger an der erfolglosen Ballonfahrt als vielmehr an dem anschließenden Rückmarsch über das Packeis, der sich über knapp 3 Monate erstreckte und am 5. Oktober auf der Weißen Insel endete. Durch das späte Auffinden der verstorbenen Expeditionsteilnehmer und deren Tagebüchern im Jahr 1930 konnte der Verlauf der Expedition im Detail nachvollzogen werden (siehe z.B. S.A. Andree, 2008).

In diesem Beitrag wird die eigentliche Ballonfahrt unter meteorologischen Aspekten betrachtet. Dabei werden folgende Punkte behandelt:

1. Meteorologische Grundlagen für die Planung der Ballonexpedition basierend auf den Ergebnissen des ersten internationalen Polarjahres (1882/83).
2. Meteorologische Gründe des frühen Abbruchs der Ballonfahrt auf Grund von Vereisung der Ballonhülle. Hierzu werden die Wetteraufzeichnungen aus den Tagebüchern der Expedition herangezogen.
3. Es wird die Frage diskutiert, ob zum damaligen Zeitpunkt der Nordpol auf Grund der vorherrschenden Luftströmungen prinzipiell mit dem Ballon erreichbar gewesen wäre. Zu diesem Zweck wird die synoptische Situation im Juli 1897 mit Hilfe von Reanalysedaten (20CR) analysiert.

Literatur: S.A. Andree: Dem Pol entgegen. Mit dem Ballon ins ewige Eis. 1930, Brockhaus Leipzig, Nachdruck 2008, Buchverlag König, 278 S.

## Wie extrem waren die Dürrebedingungen des Sommers 2018 in Europa im Vergleich zu früheren Dürresommern?

Stephanie Hänsel (1,2) and Andreas Hoy (2)

(1) Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany (stephanie.haensel@dwd.de), (2) TU Bergakademie Freiberg, Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, Freiberg, Germany

In den letzten 20 Jahren gab es in Europa einige sehr heiße und trockene Sommer, die regional immer wieder neue Rekordwerte im Vergleich zu langjährigen Klimaaufzeichnungen erreichten (z.B. 2003, 2010, 2015). Diese Sommer waren mit vielfältigen negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesellschaft, die natürlichen Ökosysteme und verschiedene Wirtschaftssektoren verbunden, so dass im Rahmen des Klimawandels stattfindende Änderungen von hoher gesellschaftlicher Relevanz sind.

Je nachdem welche Eigenschaft des Phänomens (z.B. Mittelwerte bzw. Anomalien, Überschreitungshäufigkeit als extrem definierter Schwellenwerte, Dauer und/oder Intensität von Perioden, Kombination verschiedener Klimaparameter, etc.) betrachtet wird und mittels welcher Indizes diese Eigenschaften beschrieben werden, erhält man unterschiedliche Rangfolgen von Extremjahren. In diesem Beitrag wird der Sommer bzw. das Sommerhalbjahr 2018 mittels verschiedener auf Tages- und Monatsdaten basierender Indizes charakterisiert und in die beobachtete langzeitliche Niederschlagsentwicklung eingeordnet. Dabei werden rein niederschlagsbasierte Dürreindizes ebenso verwendet, wie solche die die Temperatur bzw. die potentielle Evapotranspiration mit einbeziehen. Zudem erfolgen auch vergleichende Analysen bezüglich der Einschätzung des Sommers mittels von Hitze- und Dürreindizes.

Die Analysen basieren auf einem Kollektiv von Stationsdaten mit langjährig verfügbaren Tages- und Monatsdaten von Niederschlag sowie Mittel-, Minimum- und Maximumtemperatur. Es werden Stationen aus Gesamteuropa betrachtet und die entsprechenden regionalen Differenzierungen in der Charakteristik extremer Sommer dargestellt.

Die Untersuchungen zeigen einen deutlichen Anstieg von Dürrebedingungen im Sommer in vielen Regionen Europas, insbesondere unter Einbeziehung der Evapotranspiration in die Dürrebewertung. Mit fortschreitender Klimaerwärmung ist aufgrund der Rückkopplungen zwischen (Boden-)Trockenheit und Hitze (sensibler Wärme) in Europa mit einer weiteren Häufung und Intensivierung von kombinierten Hitze- und Dürrebedingungen im Sommer zu rechnen. Entsprechende Anpassungsmaßnahmen werden daher in vielen Handlungsfeldern erforderlich.

## **Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Klimawandel und Extremereignissen auf das Bundesverkehrssystem Deutschlands**

Stephanie Hänsel (1), Christoph Brendel (1), Markus Forbriger (2), Jens Kirsten (3), Martin Klose (3), Enno Nilson (4), Regina Patzwahl (5), Nils Schade (6), Rita Seiffert (7), and Andreas Walter (1)

(1) Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland (stephanie.haensel@dwd.de; Christoph.Brendel@dwd.de; andreas.walter3@dwd.de), (2) Eisenbahn-Bundesamt (EBA), Bonn, Deutschland (ForbrigerM@eba.bund.de), (3) Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, Deutschland (Kirsten@bast.de; klose@bast.de), (4) Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, Deutschland (nilson@bafg.de), (5) Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe, Deutschland (regina.patzwahl@baw.de), (6) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg, Deutschland (Nils.Schade@bsh.de), (7) Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Hamburg, Deutschland (rita.seiffert@baw.de)

Der Klimawandel sowie das gehäufte Auftreten von Extremereignissen stellen eine große Herausforderung für die Bereitstellung und Aufrechterhaltung eines nachhaltigen und resilienten Verkehrssystems dar. Innerhalb des BMVI-Expertennetzwerkes analysieren und bewerten sechs Bundesoberbehörden gemeinsam die spezifischen Auswirkungen langfristiger Klimaänderungen auf die Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße. Damit erarbeiten sie Grundlagen für eine Priorisierung des Anpassungsbedarfs und für die Berücksichtigung des Klimawandels in Planungsprozessen im Infrastrukturbereich.

Der Fokus der durchgeführten Klimawirkungsanalysen liegt auf den mit Hochwasser, Niedrigwasser, Stürmen, Meeresspiegelanstieg, Wasserbeschaffenheit und Hangrutschungen verbundenen Gefahren bzw. Einschränkungen der Funktionalität des Verkehrssystems. Klima-induzierte Änderungen in der Häufigkeit und Intensität der betrachteten Naturgefahren werden mittels diverser (Klima-)Indizes und Impaktmodellsimulationen untersucht. Regionale Fallstudien und spezifische Untersuchungen in Fokusgebieten an der Küste und im Binnenbereich Deutschlands ergänzen dabei die deutschlandweiten Analysen. Um eine – über alle Verkehrsträger und betrachteten Gefahren – integrierte Bewertung der Klimawirkungen auf das Verkehrssystem zu ermöglichen, basieren alle Analysen auf abgestimmten Datensätzen, Szenarien und Auswertemethoden.

Die Bewertung der Ergebnisse der Klimawirkungsanalysen ermöglicht den Planern, Betreibern und Besitzern der Verkehrsinfrastruktur die Identifizierung und Priorisierung von Anpassungserfordernissen und konkreten Maßnahmen. Zudem werden die Ergebnisse in den Bundesoberbehörden für die forschungsbasierte Politikberatung verwendet. Langfristig ist ein Einfließen der im BMVI-Expertennetzwerk erzielten Erkenntnisse in strategische Planungs- und Managementinstrumente für die Bundesverkehrsinfrastruktur geplant.



## NaFoLiCA - Namib Fog Life Cycle Analysis

Jan Cermak (1), Andreas Bott (2), Roland Vogt (3), Bianca Adler (1), Hendrik Andersen (1), Christian Feigenwinter (3), Joel Franceschi (3), Maike Hacker (2), Norbert Kalthoff (1), Irina Solodovnik (1), and Robert Spirig (3)

(1) Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany (jan.cermak@kit.edu), (2) Universität Bonn, Bonn, Germany, (3) Universität Basel, Basel, Switzerland

In diesem Beitrag wird das Projekt Namib Fog Life Cycle Analysis (NaFoLiCA) vorgestellt. Der Lebenszyklus von Nebel und niedrigen Wolken in der Namib-Region sowie die Faktoren, die deren Entwicklung bestimmen, werden gemeinsam von Gruppen in Deutschland und der Schweiz mit namibischen Partner/innen untersucht.

Niedrige Wolken und Nebel sind ein herausragendes Element von Wasserkreislauf und Strahlungshaushalt der hyperariden Namibwüste. Da nur wenige und lückenhafte Beobachtungsdaten vorliegen, ist bislang wenig über die Dynamik und Determinanten dieser Phänomene bekannt. Im Rahmen von NaFoLiCA verbinden wir In-Situ-Beobachtungen mit satellitengestützter Fernerkundung und numerischer Wettervorhersage, um die Prozesse und ihre Auswirkungen auf der Systemskala besser zu verstehen.

Im Rahmen einer Feldkampagne im September 2017 maßen wir Profile von Nebelereignissen an einem Standort nahe der Küste sowie einem weiteren weiter landeinwärts gelegenen Ort, ergänzt durch meteorologische sowie hydrologische Messungen an einem Stationsnetzwerk. Auf Basis dieser Beobachtungen konnten satellitengestützte Bestimmungen von Nebel und niedrigen Wolken weiterentwickelt werden. Geostationäre Satellitendaten, ergänzt durch Informationen von aktiven Sensoren, werden mit einer neu entwickelten Algorithmik unter Zuhilfenahme von Konzepten der Computer Vision, ausgewertet. Die numerische Wettervorhersage wiederum baut auf Einsichten aus den In-Situ-Beobachtungen auf und wird mithilfe der Satellitenprodukte evaluiert. Dieser Beitrag bietet einen Überblick über das Gesamtprojekt sowie erste Erkenntnisse aus der Datenauswertung.



## Alternative Klimaszenarien für Deutschland

Klaus Keuler (1), Heike Hübener (2), Katharina Bülow (3), Christoph Menz (4), Christian Steger (5), and Kirsten Warrach-Sagi (6)

(1) Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg (BTU), Lehrstuhl Umweltmeteorologie, Cottbus, (2) Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Wiesbaden, (3) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany (GERICS), Geesthacht, (4) Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Potsdam, (5) Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, (6) Universität Hohenheim (UHOH), Institut für Physik und Meteorologie, Stuttgart

Im Rahmen des Projektes ReKliEs-De (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland) wurde eine Reihe regionaler Klimasimulationen mit verschiedenen statistischen und dynamischen Regionalisierungsmethoden für Europa und Deutschland durchgeführt. Zusammen mit den bereits existierenden EURO-CORDEX Simulationen standen damit jeweils 15 Simulationen der beiden Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5 mit den jeweils gleichen Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen für eine vergleichende Studie zur Verfügung. Ziel dieser Studie ist es, die möglichen Alternativen für die zukünftige Klimaentwicklung in Mitteleuropa aufzuzeigen und quantitativ abzuschätzen. Dazu wurden 24 verschiedene Klimaindices analysiert, die sowohl die Veränderung von mittleren als auch von extremen Klimazuständen erfassen. Der Vergleich zwischen den beiden Szenarien demonstriert einerseits die deutlichen Unterschiede zwischen den möglichen Klimaentwicklungen aber andererseits auch die zum Teil erhebliche Bandbreite der simulierten Klimaänderungen innerhalb der beiden Szenarien, die durch die unterschiedlichen Klimamodelle und Regionalisierungsmethoden bedingt ist. Die Analyse konzentriert sich auf Deutschland und einige größere, nach Deutschland entwässernde Flusseinzugsgebiete. Sie zeigt, dass sowohl die mittlere Erwärmung als auch die Zunahme wärmebedingter Extremwerte im RCP2.6 Szenario drei bis vier Mal geringer ausfällt als im RCP8.5 Szenario. Kälte-Extrema nehmen in beiden Szenarien ab, aber im RCP2.6 nur ca. halb so stark wie im RCP8.5. Saisonale Niederschlagsänderungen (sowohl positive als auch negative) fallen im RCP8.5 deutlich stärker aus. Der Anstieg extremer Niederschlagsereignisse ist, sowohl was ihre Anzahl als auch die mit einem Ereignis verbundene Niederschlagsmenge betrifft, im RCP8.5 Szenario bis zu vier Mal größer. Die Ergebnisse belegen, dass das "Klimaschutzszenario" RCP2.6 eine wesentlich moderatere und akzeptablere Klimaänderung für Deutschland bietet als das "Weiter wie bisher Szenario" RCP8.5, aber eine erhebliche und unverzügliche Reduktion der globalen Treibhausgas-Emissionen erfordert.



## **MOPSMAP, ein vielseitiges Tool für die Modellierung der optischen Eigenschaften von Aerosol-Partikeln**

Josef Gasteiger (1) and Matthias Wiegner (2)

(1) University of Vienna, Aerosol Physics and Environmental Physics, Faculty of Physics, Wien, Austria (josef.gasteiger@univie.ac.at), (2) Ludwig-Maximilians-Universität, Meteorologisches Institut, München, Deutschland

Die Modellierung der optischen Eigenschaften von Aerosol-Partikeln wird für verschiedene Zwecke benötigt, beispielsweise für die Inversion der Aerosol-Mikrophysik (z.B. der Partikelgröße) aus Fernerkundungs- und optischen in-situ Messungen oder für die Berechnung des Strahlungs-Effekts von Aerosol-Schichten in Wetter- und Klimamodellen.

In diesem Beitrag wird MOPSMAP (Gasteiger and Wiegner, 2018; <https://mopsmap.net>) vorgestellt, welches die Modellierung der optischen Eigenschaften von Aerosol-Mischungen auf einfache Weise ermöglicht. MOPSMAP besteht aus einem Datensatz mit den optischen Eigenschaften (Extinktion, Einfachstreuabbedo, Streumatrix) von zufällig orientierten Einzelpartikeln, einem Fortran-Programm, welches die Berechnung der Eigenschaften von Partikelmischungen erlaubt, sowie einem Web-Interface, das Online-Berechnungen ermöglicht, ohne den Datensatz (10-30GB) herunterladen zu müssen. MOPSMAP deckt einen weiten Bereich an möglichen Partikelmischungen ab. Kugeln, Sphäroide, sowie sechs irregulär-geformte Mineralstaub-Partikelformen können nahezu beliebig gemischt werden. Die Berechnungszeit ist selbst für komplizierte Mischungen aus nicht-kugelförmigen Partikeln sehr kurz, meist beträgt sie deutlich weniger als eine Sekunde pro Wellenlänge. Während der Entwicklung des Fortran-Programms und der Web-Oberfläche wurde auf Nutzerfreundlichkeit und Flexibilität geachtet. Es werden verschiedene typische Aerosolmischungen als Beispiele bereitgestellt. Das Web-Interface ermöglicht nach Registrierung die Speicherung der eigenen Rechnungen, um diese wiederaufzurufen oder mit geänderten Parametern nochmal laufen zu lassen.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über MOPSMAP und zeigt Anwendungsbeispiele.

### *Literatur:*

Gasteiger J. and Wiegner M.: *MOPSMAP v1.0: a versatile tool for the modeling of aerosol optical properties*, *Geosci. Model Dev.*, 11, 2739-2762, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2739-2018>, 2018.

### *Danksagung:*

*Diese Arbeit wurde durch den Europäischen Forschungsrat (ERC) im Rahmen des Horizon 2020 Programms unterstützt (Fördernummer 640458, A-LIFE, a-life.at).*

## **Atmosphärische Stabilitätsparameter – „Best Practices“ zur Ermittlung, Interpretation und Verwendung von Standard-Messungen für CFD-Simulationen in der Windenergie**

Carolin Schmitt (1), Catherine Meissner (2), Steve H. Clark (3), Gibson Kersting (4), and Pau Casso (5)

(1) CS Meteo, Consulting, Karlsruhe, Germany (carolin.schmitt@email.de), (2) Windsim AS, Tonsberg, Norway, (3) NRG Systems, Vermont, USA, (4) E.ON Climate & Renewables North America Inc., USA, (5) Vortex SL, Barcelona, Spain

Im Bereich der Windenergie ist die atmosphärische Stabilität eine wichtige Größe, da durch sie die Strömungsverhältnisse an einzelnen Standorten unterschiedlich geprägt werden. Sie hat Einfluss auf die Abschätzung der Energieerträge ebenso wie auf die Modellierung der Lasten einer Windkraftanlage. Weiterhin kann sie bei der Diagnose von Über- und Underperformance bestehender Anlagen und der Überprüfung der Leistungskurve eine Rolle spielen.

Daher ist es wichtig, genaue Stabilitätsparameter zu bestimmen um sie in CFD Berechnungen (Computational Fluid Dynamics) zur Standortbewertung mit einfließen zu lassen. Heutzutage enthalten alle CFD-Codes ihre eigene, häufig unterschiedliche Methode zur Berücksichtigung atmosphärischer Stabilitätseffekte und brauchen daher unterschiedliche Eingabeparameter.

Die meisten Berechnungen der atmosphärischen Stabilität erfordern entweder die Messung der Windgeschwindigkeit und der Temperatur in zwei Höhen oder die direkte Bestimmung der turbulenten Flüsse. Aus Standard-Messungen in der Windressourcenbewertung ist die Datengrundlage dafür allerdings meist unzureichend da selten direkte Fluss-Messungen gibt, Differenztemperaturmessungen immer noch selten sind und die Genauigkeit und Verfügbarkeit von Temperaturmessungen oft geringe Qualität aufweisen. Außerdem gibt es verschiedene Methoden, um die atmosphärische Stabilität aus Messungen zu berechnen, und alle führen zu unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen der Stabilitätsklassen.

Innerhalb dieser Arbeit werden diese verschiedenen Methoden zur Berechnung der atmosphärischen Stabilität analysiert. Es wird untersucht, wie gemessene atmosphärische Stabilitätsparameter sowie Parameter aus mesoskaligen Modellen und mittlere Windgeschwindigkeitsprofile in CFD-Simulationen einbezogen werden sollten, um die Berechnung der Windressourcen zu verbessern. Mehrere Standorte mit unterschiedlicher Komplexität und Vegetation und verschiedenen Messlayouts fließen in die Untersuchung mit ein. Die Stabilitätsparameter werden unter Verwendung dieser Daten und verschiedener Methoden berechnet (z. B. Sukanta, Holtslag, Profile-Methode, Eddy-Kovarianz-Methode und Richardson-Methode). Wo verfügbar, werden Ultraschalldaten zur Berechnung der Monin-Obukhov-Länge verwendet, um einen direkten Vergleichswert zu haben.

Daraus lässt sich ableiten, welche Methode die besten Klassifizierungsergebnisse und damit verbundene Unsicherheiten liefert. Ein Vergleich von simulierten Wind- und Turbulenzwerten mit neutralen und stabilitätsabhängigen Randbedingungen wird basierend auf Stabilitätsmessungen und Modellergebnissen durchgeführt und anhand von Messdaten validiert. Darauf basierend werden „Best Practices“ für die Berechnung der atmosphärischen Stabilität unter Verwendung von Standard-Messequipment, einer optimalen Messkonfiguration und numerischer Mesoskalenmodelle ermittelt. Weiterhin wird gezeigt, dass berechnete und gemessene Monin-Obukhov-Längen (unter Verwendung von Ultraschallsensoren) gut genug für die Bewertung der Windressourcen sind. Es wird geprüft ob neuere Methoden zur Berechnung der atmosphärischen Stabilität, die ausschließlich auf Windgeschwindigkeitsmessungen basieren, eine Alternative zu den herkömmlichen Profile- oder Richardson-Methoden sein können, da diese mit einer Standard-Messkonfiguration oft leichter abgedeckt werden können.

Die gemessene und modellierte atmosphärische Stabilität sollte zur Bewertung der Windressourcen verwendet werden, um die Windverhältnisse eines Standorts vollständig zu verstehen. Hierdurch kann die Genauigkeit der CFD-Strömungsmodellierung und somit Ertrags-, Unsicherheits- und Lasteneinschätzung deutlich verbessert werden.



## Windstauvorhersage in der Deutschen Bucht - Probabilistische Vorhersage und Verifikation

Andreas Trojand, Nico Becker, and Henning Rust

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Germany (andreas.trojand@fu-berlin.de)

Mehrfach pro Jahr treffen Sturmfluten auf die Küste der Deutschen Bucht. Während die meisten nur eine geringe Gefahr bedeuten, können schwere und sehr schwere Sturmfluten verheerende Folgen für Menschen und Städte haben. Eine Vorhersage des Windstaus mehrere Tage im Voraus wäre daher sehr hilfreich. Aufgrund der Variabilität in Zugbahn und Intensität der sturmfluterzeugenden Tiefdruckgebiete haben solche Vorhersagen in der Regel eine große Unsicherheit.

In dieser Arbeit werden probabilistische Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Überschreitung kritischer Windstauwerte mittels logistischer Regression aus ERA-Interim Reanalysen und EPS-Vorhersagen des EZMW abgeleitet. Als Datengrundlage dienen die 6-stündigen Windgeschwindigkeiten der beiden Datensätze in 10m Höhe aus den Jahren 2004-2009. Die Windgeschwindigkeitsvektoren sind auf  $295^\circ$  projiziert und liegen für ein Gitternetz mit einer Maschenweite von  $0.75^\circ$  über der Deutschen Bucht vor. Zusätzlich werden die vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie bereitgestellten Windstaumessungen zu Hoch- und Niedrigwasserzeiten für Cuxhaven als Referenzpunkt für die Deutsche Bucht genutzt.

Die Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung kritischer Windstauwerte wird in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeiten der beiden Datensätze modelliert. Verschiedene Strategien zur Berechnung einer Wahrscheinlichkeitsvorhersage werden in einem Kreuzvalidierungsansatz verglichen. Aus den EPS-Daten werden für jedes einzelne Member und für den Windmittelwert über alle Ensemblemitglieder die Überschreitungswahrscheinlichkeiten vorhergesagt. Als drittes werden die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Member gemittelt und dann verifiziert. Zur Referenz der drei Strategien wird aus den ERA-Interim Daten eine Wahrscheinlichkeitsvorhersage berechnet.

## **Bestimmung der räumlichen Verteilung turbulenter Größen in komplexem Gelände mit mehreren Doppler Wind Lidaren**

Maren Haid, Alexander Gohm, Lukas Umek, Helen C. Ward, Lukas Lehner, Thomas Muschinski, and Mathias W. Rotach

University of Innsbruck, Faculty of Geo- and Atmospheric Sciences, Department of Atmospheric and Cryospheric Sciences, Innsbruck, Austria (maren.haid@uibk.ac.at)

Das Windfeld in komplexem Gelände wird stark von topographisch induzierten Effekten beeinflusst. Ein prominentes Beispiel hierfür sind Föhnwinde. Dringt dieser Wind in alpine Täler ein, ist das Windfeld dort durch eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität charakterisiert. Die Erforschung des Föhns mittels Messungen und Modellrechnungen konzentrierte sich in der Vergangenheit hauptsächlich auf die synoptische Skala und Mesoskala. Es gibt wenige Studien, in denen seine kleinskaligen Eigenschaften explizit gemessen und quantifiziert wurden. Jedoch gibt es Hinweise darauf, dass mikroskalige Prozesse beim Durchbruch von Föhn in alpine Täler eine wesentliche Rolle spielen. Um diese Lücke zu füllen, fanden im Herbst 2017 im Rahmen des Forschungsprojektes PIANO (Penetration and Interruption of Alpine Foehn) intensive Messungen im Inntal (Österreich) statt.

Die Beobachtungen der PIANO Kampagne konzentrierten sich auf die Stadt Innsbruck und ihre Umgebung. Hierfür wurde ein dichtes Messnetz, bestehend u.a. aus Temperatursensoren, automatischen Wetterstationen und Eddy-Kovarianz-Stationen im Messgebiet installiert. Den Kern der Messungen bildeten vier Doppler Wind Lidare, die auf Dächern im Stadtgebiet betrieben wurden. Mit drei dieser Geräte wurden komplanare Scans sowohl auf vertikaler als auch auf horizontaler Ebene realisiert. Das vierte Geräte führte während der ganzen Kampagne Profilmessungen durch.

In diesem Beitrag werden Beobachtungen der PIANO Kampagne vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den Messungen der Doppler Wind Lidare. Die Komplexität des Stadtgebietes und die hohe Variabilität des Windfeldes stellten bei der Planung und Umsetzung der Lidar-Messungen eine besondere Herausforderung dar. Die daraus resultierenden komplanaren Messungen in drei Raumrichtungen über der Stadt bilden einen einzigartigen Datensatz, welcher es ermöglicht, Varianzfelder der Windkomponenten für die jeweilige Scan-Ebene zu bestimmen. Diese werden verwendet, um die räumliche Variabilität turbulenter Größen in komplexem Gelände zu quantifizieren. Die umfangreichen In-situ-Messungen und die Profilmessungen des vierten Lidars bieten zusätzlich die Möglichkeit, die Varianzfelder der komplanaren Scans zu validieren.



## Mikroklima von Dachbegrünung

Armin Raabe (1) and Falk Kaiser (2)

(1) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Leipzig, Germany (raabe@uni-leipzig.de), (2) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Leipzig, Germany

Die Begrünung von Dachflächen wird derzeit als Mittel diskutiert, um beispielsweise der Überhitzung von städtischen Siedlungsbieten durch die Ausdehnung natürlicher Oberflächen entgegenzuwirken.

Welchen Effekt diese Begrünung hat lässt sich mit mikrometeorologischen Messverfahren nur dann nachweisen, wenn diese Messtechnik auch in der Lage ist die lokale Wechselwirkung zwischen Luft und Unterlage zu erfassen. Oft sind die Flächen allerdings nicht groß genug, um mit herkömmlichen mikrometeorologischen Messverfahren in der Umgebung dieser Flächen deren unmittelbaren Einfluss festzustellen.

Hier wird ein akustisches Messverfahren vorgestellt, mit dem es möglich ist die Lufttemperatur- und Windverhältnisse und daraus abgeleitet die turbulenten Wärmeflüsse unmittelbar als Wechselwirkung zwischen der individuell gestalteten Unterlage und der Umgebung zu dokumentieren. Anders als mit herkömmlichen mikrometeorologischen Messungen soll so versucht werden den individuellen Beitrag einer Unterlage im Wärmehaushalt einer komplex gestalteten Umgebung zu quantifizieren.

Das Messverfahren verwendet eine dem akustischen Anemometer ähnliche Anordnung von Schallsender- und Empfängerkombinationen, die über der interessierenden Fläche verteilt werden. Mit dieser Messanordnung wird die Varianz der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur unmittelbar über der Messfläche bestimmt und über Fluss-Varianz-Ähnlichkeit auf Impuls und Wärmeflüsse geschlossen. Vergleiche mit akustischen Anemometermessungen zeigen den Vorteil dieser Messordnung vor allem dann, wenn die komplex gestaltete Dachkonstruktion in der Umgebung der Messfläche eine Anwendung anderer Messverfahren nicht sinnvoll erscheinen lässt.

## **Kompensationseffekte von Solar- und Windenergieproduktion innerhalb Europas**

Christopher W. Frank (1,2), Bernhard Pospichal (2), Sabrina Wahl (1,3), Jan Keller (1,4), Andreas Hense (3), and Susanne Crewell (2)

(1) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Klima Monitoring und Diagnostik, Deutschland, (2) Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Germany (cfrank@meteo.uni-koeln.de), (3) Meteorologisches Institut, Universität Bonn, Deutschland, (4) Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Deutschland

Die Variabilität erneuerbarer Energieproduktion findet ihren Ursprung in deren Abhängigkeit von meteorologischen Größen wie Wind und Strahlung, welche auf unterschiedlichsten Zeit- und Raumskalen stark variieren. Zur Charakterisierung der Variabilität von Solar- und Windenergie-Erzeugung sind daher räumlich- und zeitlich hochaufgelöste Informationen über die meteorologischen Größen nötig. Atmosphärische Reanalysen spielen an dieser Stelle eine entscheidende Rolle, denn diese beinhalten alle notwendigen atmosphärischen Variablen über viele Jahre und auf einem festen räumlichen wie zeitlichen Gitter. Zusätzlich bieten Reanalysen aktuell die einzige Datengrundlage mit physikalisch konsistenten Variablen, was eine entscheidende Rolle spielt, wenn wettersituationsabhängige Variablen wie Wind und Strahlung gemeinsam betrachtet werden.

Zur Validierung der Variabilität von Solar- und Windenergie-Erzeugung greifen wir in diesem Beitrag auf hoch aufgelöste regionale Reanalysen zurück, die im Hans-Ertel Zentrum für Wetterforschung des Deutschen Wetterdienstes entwickelt wurden.

Die hoch auflösende Reanalyse COSMO-REA6 basiert auf dem operationellen numerischen Wettervorhersagemodell COSMO. Von 1995 bis 2015 steht COSMO-REA6 mit einer horizontalen Auflösung von 6 km und 40 vertikalen Schichten für ganz Europa zur Verfügung. Mittels der Datenassimilationsmethode Nudging wurde eine Vielzahl verschiedener Beobachtungen in die Reanalyse assimiliert und somit eine realitätsnahe Simulation erreicht. Vorangehende Studien zur Validierung der Einzelgrößen Strahlung und Wind zeigten signifikante Verbesserungen der regionalen Reanalyse COSMO-REA6 gegenüber gröber aufgelösten globalen Reanalysen.

Zur gemeinsamen Betrachtung der wetterabhängigen Solar- und Windenergie-Erzeugung wurde ein synthetischer Erzeugungs-Datensatz basierend auf Reanalysedaten und einem Kraftwerksdatensatz erstellt. Wir zeigen erste Ergebnisse zur räumlichen Verteilung der Erzeugung, Wiederkehrperioden von Extremen, sowie statistische Auswertungen kompensatorischer Effekte von Solar- und Windenergie-Erzeugung. Insbesondere wird die räumliche Abhängigkeit kompensatorischer Effekte untersucht und vorgestellt. Darüber hinaus wird ein Zusammenhang von extremen Erzeugungen mit meteorologischen Effekten wie Windstille, niedrigem Stratus, Nebel und ähnlichen Effekten erstellt.

## Langzeitmessung der Aerosol-Zusammensetzung am Hohenpeißenberg

Harald Flentje, Thomas Elste, and Werner Thomas

Deutscher Wetterdienst, Met. Observatorium Hohenpeißenberg, Hohenpeißenberg, Germany (harald.flentje@dwd.de)

Die Zusammensetzung des atmosphärischen Aerosols bestimmt seine gesundheitlichen, klimatischen und physikalisch-chemischen Wirkungen und ist daher eine Schlüsselvariable im Global Atmosphere Watch (GAW) Programm der WMO. Die anorganische Fraktion wird an der GAW Globalstation Hohenpeißenberg seit 1995 über (quasi) tägliche Beprobung von Filtern und einem 3-stufigen Impaktor ( $dp = 0.2 - 6 \mu\text{m}$ ) bestimmt. Seit 2014 werden die anorganischen Hauptkomponenten ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  sowie Cl) und die organische Fraktion (jeweils  $dp < 0.8 \mu\text{m}$ ) zusätzlich mit hoher Zeitaufösung ( $< \frac{1}{2}$  h) mit einem Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) gemessen, einem modifizierten Aerosol-Massenspektrometer (<https://www.psi.ch/acsm-stations/about-actris>).

Diese Geräte erfassen die (relative) Variabilität der Partikel recht gut. Aufgrund bisher nicht geklärter Fremdeinflüsse auf die Kalibration, die zu einer hohen Variabilität der Kalibrierfaktoren führen, verwenden wir vorläufig deren Median. Da die ACSM Datenauswertung i.W. lineare Korrekturfaktoren wie (relative) Ionisierungseffizienzen, Sammel-Effizienzen usw. enthält, die allenfalls in 0.Ordnung (Iteration ergibt Variabilität im  $< 10\%$ -Bereich) von den Messdaten selbst abhängen und nachträglich angepasst werden können, erhält man so eine homogene Zeitreihe. Weitergehende Annahmen über die Fraktionierung der Komponenten, Ionentransmission des Quadrupol-Massenspektrometers werden gemäß der in ACTRIS gewonnenen Erfahrungen getroffen. Darauf basierend werden Periodizitäten auf verschiedenen Zeitskalen, Trends/Tendenzen incl. Signifikanzbetrachtung sowie Transportcharakteristiken an der Station Hohenpeißenberg vorgestellt.

Zur Validierung des ACSM dienen parallel laufende Messungen mit einem SMPS (ca.  $\text{PM}_{0.8}$ ) sowie Teflon-Filtern und einem Impaktor (<http://www.qasac-america.org/>). Die damit seit 2014 ermittelten Korrelationen und Konzentrations-Verhältnisse der ACSM Daten vs Filter/Berner/SMPS liegen im typischen Bereich der Ergebnisse innerhalb des Europäischen ACSM Messnetzes. Die Möglichkeit, aus diesen Vergleichen auf einige Kalibrierfaktoren für das ACSM rückzuschließen, wird ebenso diskutiert wie eine vorläufige statistische Analyse der Zusammensetzung und Quellzuordnung der organischen Partikel mittels 'positive matrix factorisation' (PMF).



## **Ein regionales dekadisches Vorhersagesystem für Europa - Extreme und Nutzer-relevante Variablen**

Julia Moemken, Hendrik Feldmann, Benjamin Buldmann, Natalie Laube, and Joaquim G. Pinto

Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Meteorology and Climate Research, Germany (julia.moemken@kit.edu)

Regionale Klimaprognosen auf Zeitskalen von bis zu zehn Jahren gewinnen zunehmend an Bedeutung, da diese Zeitspanne mit den Planungshorizonten in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zusammenfällt. In diesem Zusammenhang ist die dekadische Vorhersagbarkeit von Extremen wie Hitzewellen, Starkniederschlägen oder Winterstürmen von großer Bedeutung für Nutzer von Klimainformationen. Im Rahmen des deutschen MiKlip-Projekts („Mittelfristige Klimaprognosen“; [www.fona-miklip.de](http://www.fona-miklip.de)) wurde ein globales dekadisches Vorhersagesystem entwickelt. Dieses basiert auf dem Erdsystemmodell des Max-Planck-Instituts (MPI-ESM) und besteht aus verschiedenen Generationen von Hindcast-Ensembles. Außerdem wurde in MiKlip zum ersten Mal eine regionale Komponente des dekadischen Vorhersagesystems geschaffen. Das regionale Ensemble für Europa (räumliche Auflösung von  $0.44^\circ/50\text{km}$ ) wird mittels dynamischem Downscaling mit dem Regionalmodell COSMO-CLM erzeugt.

Die vorliegende Studie untersucht die Güte des regionalen Vorhersagesystems, den Mehrwert der Regionalisierung im Vergleich zum globalen System und potentielle Mechanismen hinter der dekadischen Vorhersagbarkeit. Der Fokus liegt dabei auf Extremen und Nutzer-relevanten Variablen. Die untersuchten Größen stehen in Verbindung mit Temperaturextremen, Starkniederschlägen, Windextremen und Maßen aus der Landwirtschaft. Parameter, die auf Temperatur basieren (z.B. Frosttage, Hitzewellen), zeigen eine hohe Vorhersagbarkeit auch für lange Vorhersagezeiträume. Die räumliche Verteilung der Vorhersagegüte ist robust. Für Niederschlagsbasierte Indizes ist die räumliche Verteilung deutlich heterogener und die Vorhersagbarkeit ist geringer. Landwirtschaftliche Parameter (z.B. Länge der Wachstumsperiode) zeigen eine gute Vorhersagbarkeit, besonders wenn sie auf der Temperatur beruhen.

Insgesamt finden wir eine dekadische Vorhersagbarkeit auf der regionalen Skala für verschiedene Extreme und Nutzer-relevante Variablen, die weit über die jährliche globale Mitteltemperatur hinausgehen. Die Ergebnisse könnten für die Impaktmodellierung auf der regionalen Skala relevant sein.

## **Optische Glasfasern ermöglichen hochaufgelöste Beobachtungen der atmosphärischen Boden- und Grenzschicht**

Anita Freundorfer (1), Karl Lapo (1,2), Lena Pfister (1), Christoph Thomas (1,2)

(1) University of Bayreuth, Institute of Geography, Micrometeorology, Germany (anita.freundorfer@uni-bayreuth.de), (2) University of Bayreuth, BayCEER, Germany

Mit Hilfe von faseroptischer Temperaturmessung können Phänomene in der atmosphärischen Grenzschicht mit bahnbrechender räumlicher und zeitlicher Auflösung beobachtet werden. Dazu wird die Intensitätsverteilung des in einer Glasfaser zurück gestreuten Lichts eines Lasers gemessen und die Temperaturabhängigkeit des Raman-effekts ausgenutzt. Auf diese Weise kann eine räumliche Auflösung der Temperaturmessung von 12,5 cm über eine Länge von mehreren Kilometern entlang der Glasfaser erreicht werden bei einer Frequenz von 1 Hz. Somit werden tausende gleichzeitige Messungen von Temperaturen im Raum ermöglicht.

In diesem Beitrag geben wir eine Übersicht über die aktuelle Methodenentwicklung und Anwendungen der optischen Glasfasermetesstechnik in der Oberflächenmeteorologie. Glasfasern werden nicht nur in passiver Anwendung zur Messung von Temperatur benutzt, sondern auch ähnlich der Funktionsweise eines Hitzedrahtanemometers unter Verwendung von elektrisch beheizten optischen Glasfasern zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit. Diese aktive Anwendung ermöglichte die Erfassung der räumlich-zeitlichen Dynamik eines Kaltluftsees in einem flachen Tal. Aktuelle Forschung zur Weiterentwicklung der Technik haben darüber hinaus gezeigt, dass mit Hilfe von auf der Glasfaser angebrachten Mikrostrukturen neben der Windgeschwindigkeit auch die Windrichtung bestimmt werden kann. Unser Ziel ist es, mit Hilfe der aktiven optischen Glasfasertechnik ein besseres Verständnis der Boden- und Grenzschicht durch räumlich und zeitlich hochaufgelöste Flussmessungen auf der Basis räumlicher Eddy-Kovarianztechnik zu erreichen.



## Wird die Windenergieproduktion in Europa durch den Klimawandel unzuverlässiger?

Julia Moemken (1), Mark Reyers (2), Hendrik Feldmann (1), and Joaquim G. Pinto (1)

(1) Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Meteorology and Climate Research, Germany (julia.moemken@kit.edu), (2) University of Cologne, Institute for Geophysics and Meteorology, Germany

Die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien wird stark von Wetter und Klima beeinflusst. Regionale Klimaprojektionen können helfen, den Einfluss des Klimawandels auf die erneuerbaren Energien abzuschätzen. Mit diesem Ziel untersuchen wir zukünftige Änderungen von Windgeschwindigkeiten und Windenergiepotentialen in einem Multimodellensemble (neun Global-Regional-Modellketten) von EURO-CORDEX. Die Simulationen haben eine Auflösung von 12 km und drei Stunden. Zur Validierung der Modelldaten werden die simulierten historischen 10-m-Windgeschwindigkeiten mit den ERA-Interim-Evaluierungsläufen aus EURO-CORDEX verglichen. Dabei zeigen sich erhebliche Modellfehler in Bezug auf die Windgeschwindigkeiten. Daher werden die 10-m-Windgeschwindigkeiten Bias-korrigiert und anschließend auf die typische Nabenhöhe von Windturbinen extrapoliert. Im letzten Schritt wird dann der Windenergie-Output (Eout; als Maß für Windenergiepotentiale) an den einzelnen Modellgitterpunkten berechnet.

Im Ensemblemittel werden für große Teile Europas nur schwache Änderungen im Eout in zukünftigen Dekaden vorhergesagt, sowohl für die Wintermonate als auch für das ganze Jahr. Im Sommer zeigt sich hingegen eine deutliche Abnahme von Eout. Außerdem wird eine Zunahme der Variabilität im Jahresverlauf und der Tag-zu-Tag-Variabilität für Teile von Nord-, Mittel- und Osteuropa projiziert. Dabei ist der Ensemblespread in Bezug auf die Tag-zu-Tag-Variabilität groß, während die Ergebnisse für die Variabilität, die sich im Jahresverlauf zeigt, robuster sind. Außerdem deuten die Ergebnisse auf ein vermehrtes Auftreten von Schwachwindphasen (mit  $v < 3$  m/s) hin. Regionen wie die Ostsee und die Ägäis könnten vom Klimawandel profitieren, da der mittlere jährliche Eout zunimmt und gleichzeitig die Variabilität schwächer wird. Andererseits zeigen sich negative Auswirkungen für Regionen wie Deutschland, Frankreich und die Iberische Halbinsel. Hier könnte die Abnahme von Eout und die zeitgleiche Zunahme der Variabilität zu großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen in der zukünftigen Windenergieproduktion führen und somit das Windenergiemanagement erschweren.

## **In-situ-Nachweis des Fernfeldes von Offshore-Windparks**

Andreas Platis (1), Marie Hundhausen (1), Astrid Lampert (2), Stefan Emeis (3), Thomas Neumann (4), Beatriz Canadillas (4), Simon Siedersleben (3), and Jens Bange (1)

(1) Universität Tübingen, ZAG, Environmental Physics, Tübingen, Germany (andreas.platis@uni-tuebingen.de), (2) Institute of Flight Guidance, Technische Universität Braunschweig, (3) Karlsruhe Institute for Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), (4) UL-DEWI GmbH

Offshore-Windparks tragen einen erheblichen Teil zur heutigen Produktion von erneuerbarer Energie bei. In den letzten Jahren erfolgte ein massiver Ausbau von Offshore-Windenergieparks in der Deutschen Bucht mit der Anordnung der Parks in Gruppen und Clustern.

Aufgrund dieser Anordnung beeinflussen sich die Windparks gegenseitig durch erhöhte Nachlaufverluste. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie finanziert derzeit ein Forschungsprojekt mit dem Namen WIPAFF (WIND PARK Far Field), das sich der Analyse der Auswirkungen von Offshore-Windparks und dessen Fernfeld widmet. Hierbei werden Nachlaufverluste durch direkte Messungen, Auswertung von Satellitenbildern und numerischen Simulationen analysiert.

Der Fokus liegt insbesondere auf der Quantifizierung der Windpark-Wakes, ihrer Abhängigkeit von der atmosphärischen Stabilität und ihrer regionalen Klimawirkung.

Der erste direkte In-situ-Nachweis der Existenz und kompletten Form von großen Windpark-Wakes wurde durch das speziell ausgerüstete Forschungsflugzeug Do-128 D-IBUF in den Jahren 2016 und 2017 im Rahmen des WIPAFF Projektes beobachtet. Dabei wurden Wakelängen von bis zu 70 km unter stabilen atmosphärischen Bedingungen, mit maximalen Windgeschwindigkeitsdefiziten von 40% im Anfangsteil des Nachlaufs und verstärkten Turbulenzen gemessen, welche die Berechnungen durch numerische Modelle und indirekte Beobachtungen des Windfeldes durch Satellitenbilder verstärken.

Die Ergebnisse der Flugmessungen werden im Rahmen dieser Studie vorgestellt.

Hierbei wird die Abhängigkeit der Wakelänge von der atmosphärischen Stabilität und Windgeschwindigkeiten untersucht. Die gemessenen Erholungsraten der Nachläufe werden zudem mit einem einfachen analytischen Modell verglichen, welches eine exponentielle Erholungsrate in Abhängigkeit der atmosphärischen Stabilität vorhersagt.

## **Turbulenzmessung mit scannenden, gepulsten Doppler-Windlidar im Rahmen der Kampagnen Perdigão 2017 und CoMet 1.0**

Norman Wildmann (1), Nicola Bodini (2), Julie K. Lundquist (2), Christian Mallaun (3), and Anke Roiger (1)

(1) German Aerospace Center (DLR e.V.), Institute of Atmospheric Physics, Oberpfaffenhofen, Germany (norman.wildmann@dlr.de), (2) Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado Boulder, Boulder, Colorado, USA, (3) German Aerospace Center (DLR e.V.), Flight experiments, Oberpfaffenhofen, Germany

Doppler-Lidar-Messgeräte werden verstärkt eingesetzt um Windprofile und Windfelder in der atmosphärischen Grenzschicht, aber auch darüber hinaus zu messen. Unter Berücksichtigung der Annahmen, die der Rekonstruktion des meteorologischen Windvektors aus gemessenen Radialwindgeschwindigkeiten zugrundeliegen, können mit dem heutigen Stand der Technik sehr genaue Messungen des mittleren Windes erzielt werden. Es existieren darüber hinaus verschiedene Methoden, um Turbulenzparameter aus Lidarmessungen abzuleiten. In zwei unterschiedlichen Kampagnen setzte das DLR jeweils drei Lidargeräte vom Typ Leosphere Windcube 200S ein, um Wind und Turbulenz auf verschiedene Arten zu messen. In der Perdigão 2017 Kampagne wurde hauptsächlich mit vertikalen (RHI-)Scans gearbeitet, um die komplexen Windfelder über zwei parallele Bergrücken zu untersuchen. Unter Zuhilfenahme von Daten eines Messnetzes von über 100 Ultraschallanemometern an einem Messnetz mit mehr als 40 Messmasten mit einer Höhe von 10-100 m, können die RHI-Messungen genutzt werden, um die Unterschiede der lokalen Turbulenz im Tal zwischen den Bergrücken und darüber in der Fläche darzustellen. In der CoMet-Kampagne wurde mit verteilten VAD-Profilmessungen gearbeitet um die Untersuchung der Ausbreitung von Treibhausgasen zu unterstützen. Die Verwendung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen anstelle der Strukturfunktion der Radialwindgeschwindigkeiten ermöglicht auch die Berechnung von Turbulenzparametern bei schwachen Signalstärken. In jedem Fall basiert die Berechnung von Turbulenz aus VAD-Scans auf Annahmen zur Größe des Kolmogorov-Längenmaßes und muss entsprechend gefiltert werden. Im Fokus dieser Arbeit ist die Herleitung von Algorithmen zur Turbulenzbestimmung für beide Scanstrategien und deren Validierung mit In-situ-Messungen. Im Rahmen der Perdigão-Kampagne stehen die Daten der Ultraschallanemometer, sowie eine Turbulenzsonde an einem Fesselballon zum Vergleich zur Verfügung. Während der CoMet-Kampagne wurden an verschiedenen Tagen flugzeuggetragene Turbulenzmessungen in der atmosphärischen Grenzschicht durchgeführt, mit denen die Lidarmessungen verglichen werden können. Es soll gezeigt werden, was die Grenzen für Turbulenzmessungen mit den verwendeten Lidargeräten und Auswertalgorithmen sind, und in welchen Situationen sie eine wertvolle Ergänzung zu etablierter Messtechnik darstellen.

## Winterwetter Wahrscheinlichkeitsvorhersagen im Kurzfristbereich für Flughäfen

Rudolf Kaltenboeck (1), Herbert Pümpel (1), Martin Hagen (2), Thomas Gerz (2), Heikki Juntti (3), Seppo Pulkkinen (3), and Elena Saltikoff (3)

(1) Austro Control, Österreich, (2) DLR, Deutschland, (3) FMI, Finnland

Winterwetter mit Schneefall oder gefrierendem Regen verbunden mit schlechten Sichten und tiefen Wolkenuntergrenzen kann sich stark auf den operativen Ablauf an Flughäfen auswirken und zu Kapazitätseinbußen führen und Einfluss auf die Flugsicherheit nehmen.

Im Rahmen des Single European Sky Air Traffic Management Research (SESAR) 2020 Programmes wurde deshalb in den letzten zwei Wintern 2016/17 und 2017/18 das PNOWWA Projekt (Probabilistic Nowcasting of Winter Weather for Airports) gemeinsam mit Austro Control, Deutscher Luft- und Raumfahrt und dem Finnischen Wetterdienst durchgeführt.

In dem Projekt wurde auf Grundlage von Wetterradardaten luftfahrtspezifische Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Winterwetter im Kurzfristbereich bis zu drei Stunden als Prototyp erstellt und an ausgewählten Flughäfen für den Boden- und Frachtablauf sowie der Flugkontrolle zur Verfügung gestellt. Dadurch konnte die Anwendbarkeit von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen zusammen mit Kunden getestet, Produkte optimiert und die Vorteile gegenüber deterministische Vorhersagen herausgearbeitet werden. Die Anwenderrückmeldungen haben die Wichtigkeit der Kurzfristvorhersage für die nächsten drei Stunden in der Luftfahrt bestätigt.

Für die Demonstrationsphasen wurden unterschiedliche Wetterradaradvektions- und Extrapolationmethoden sowie deren Ensembles getestet, kombiniert mit Bodenbeobachtungen und Vorhersagen numerischer Wettermodelle. Durch direkten Anwenderkontakt, europaweiten Umfragen und Workshops wurde Feedback eingeholt und dementsprechend die Wahrscheinlichkeitswintervorhersageprodukte angepasst.

Im Zuge des europaweiten Projektes wurden auch mesoskalige Faktoren untersucht, wie orographische Einflüsse auf die Schneefallbildung und die Intensivierung sowie der Einfluss des warmen Meeres („lake effect snow“).

Die Präsentation stellt das Projekt vor mit den angewendeten Methoden und verwendeten Datengrundlagen. Die daraus abgeleiteten luftfahrtbezogenen Anwendungen und Produkte/Layout wie auch die Anforderungen an Winter -Wettervorhersagen im Flughafenbereich, Rückmeldungen sowie zukünftige Verwendung von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Wettervorhersagen an Flughäfen.

### Referenzen:

<http://pnowwa.fmi.fi>, [http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica\\_2018\\_53\\_saltikoff.pdf](http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2018_53_saltikoff.pdf)

## Numerische Untersuchung des Einflusses der mikroskaligen Orographie auf das Windfeld in Höhen über 100 m

Philipp Stahn (1), Manuela Starke (2), and Astrid Ziemann (3)

(1) Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, Germany (philipp.stahn1@tu-dresden.de), (2) Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, Germany (manuela.starke@tu-dresden.de), (3) Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, Germany (astrid.ziemann@tu-dresden.de)

Die orographischen Gegebenheiten beeinflussen erheblich das Windfeld. Die erschwungene Drängung der Stromlinien bei der Überströmung von Hügeln und Bergrücken bewirkt in Bodennähe eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. Dieser Beschleunigungseffekt kann in Abhängigkeit von den lokalen orographischen Verhältnissen und Anströmbedingungen auch in Höhen über 100 m noch nachweisbar sein. Der Fokus dieses Beitrages liegt auf der modellgestützten Untersuchung der Geländestruktur, mit welcher eine signifikante Beeinflussung des Windfeldes in Höhen zwischen 100 m und 200 m über Grund zu erwarten ist. Zum Einsatz kommt das diagnostische Simulationsmodell WiTraK (Windfeld-, Transport- und Klimatologie-Programmsystem), mit dem es möglich ist, dreidimensionale Windfelder in der atmosphärischen Grenzschicht für verschiedene Terrainstrukturen zu modellieren. Die Anwendbarkeit des Strömungsmodells kann mit Vergleichen aus der Literatur, ein Windtunnel- und das Askervein-Experiment, bestätigt werden. Die Ergebnisse umfassender Simulationen für Gelände mit isoliertem glockenförmigen Hügeln zeigen, dass die absolute Differenz in der horizontalen Windgeschwindigkeit zwischen einem orographisch unbeeinflussten Punkt und der Erhebung in Höhen zwischen 100 m und 200 m über Grund wesentlich von der geostrophischen Windgeschwindigkeit ( $u_g$ ) und von der Höhe des Strömungshindernisses ( $\Delta H_{\max}$ ) abhängen. Als unbedeutend erweisen sich die atmosphärische Schichtung ( $\partial T/\partial z$ ) und die Breite des Hügels ( $\Delta L$ ). Zwischen den Haupteinflussgrößen existieren Interaktionseffekte, die darauf hindeuten, dass eine Verringerung der Stärke eines Faktors durch den jeweils anderen ausgeglichen werden kann. Die relative Änderung des ungestörten Windprofils in der horizontalen Windgeschwindigkeit über der Erhebung wird dagegen am stärksten durch  $\Delta H_{\max}$  gesteuert, wobei  $u_g$ ,  $\partial T/\partial z$  und  $\Delta L$  irrelevant sind. Diese Erkenntnisse sind gebunden an einfache Geländestrukturen. Gegenstand weiterführender Analysen ist der Einfluss von stark gegliedertem Terrain auf das Windfeld in Höhen über 100 m. Geplante Simulationen sollen Daten für eine räumlich hochaufgelöste Kartierung der mikroskaligen, orographischen Windbeeinflussung für ganz Deutschland liefern.

## **Extremwetterereignisse in den Medien. Zwischen Wissenschaftskommunikation und journalistischer Sensation**

Sascha Hoelig

Hans-Bredow-Institut, Germany (s.hoelig@hans-bredow-institut.de)

Extremwetterereignisse sind vielbeachtete Phänomene in der Medienberichterstattung. Dies beginnt mit der Vorhersage und der Warnung der Bevölkerung vor z.B. Stürmen oder Überschwemmungen, findet seinen Fortgang während des andauernden Ereignisses durch dramatische und emotionale Bilder und klingt gern aus in der Kritik von übertriebenen bzw. unzureichenden Warnungen der Bevölkerung.

In den verschiedenen Phasen der medialen Aufmerksamkeit stehen unterschiedliche Akteure aus jeweils unterschiedlichen Kontexten im Fokus. Während zu Beginn Meteorologen die zentrale Rolle übernehmen, Vorhersagen erstellen und über sichere Annahmen, aber auch über lokale Unsicherheiten und Eintrittswahrscheinlichkeiten kommunizieren, übernehmen während des Ereignisses Journalisten die Federführung und berichten aus den am stärksten betroffenen Regionen. In der an das Ereignis anschließenden Kritik tritt meist eine vielfältige Akteurs-Bandbreite auf, die von betroffenen Bürgern, über Politiker bis hin zu konkurrierenden Wetterdiensten, die es besser gemacht hätten, reicht.

Aus analytischer Perspektive gehen aus den ersten beiden Phasen der Berichterstattung die zentralen Ursachen hervor, die die Ausgangspunkte für die dritte Phase, die Phase der Kritik und Aufarbeitung darstellen. Die Kommunikation von Extremwetterereignissen changiert hier zwischen Wissenschaftskommunikation und den Aufmerksamkeits- und Darstellungsmechanismen journalistischer Berichterstattung, wobei beide Bereiche sehr unterschiedlichen Funktionslogiken unterliegen und nicht immer voraussetzungsfrei kompatibel sind.

Um das Vertrauen der Bevölkerung in die wissenschaftlich basierte Wettervorhersage nicht zu verspielen und die Akzeptanz von Unwetterwarnungen nicht überzustrapazieren, ist es für Meteorologen ausschlaggebend, sich dieser Unterschiede gewahr zu sein. Während wissenschaftliche Erkenntnisse zwar für ein Laienpublikum "übersetzt" werden müssen, sollten dennoch die Rollen von kommunizierendem Wissenschaftler und aufmerksamkeitsuchendem Berichterstatter klar getrennt werden.

Der Vortrag beleuchtet die Diskrepanzen zwischen dem Kommunizieren wissenschaftlich belastbarer Erkenntnisse, medialen Berichterstattungsmustern und Erwartungen des Publikums in Bezug auf die Vorhersage von Extremwetterereignissen und entwickelt Lösungsmöglichkeiten, diese vielseitigen Anforderungen in Einklang zu bringen.

## Emissionen und Lebensdauern von Stickoxiden aus Sentinel-5P-Daten

Kezia Lange, Andreas Richter, and John P. Burrows

Institut für Umweltphysik, Universität Bremen, Deutschland (klange@iup.physik.uni-bremen.de)

Stickoxide ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) sind mit ihrem Einfluss auf die menschliche Gesundheit, die troposphärische Ozonbildung und das Klima wichtige Spurengase in der Atmosphäre. Sie werden hauptsächlich durch anthropogene Vorgänge, wie vor allem der Verbrennung fossiler Brennstoffe, in die Atmosphäre emittiert. Die Lebensdauer von  $\text{NO}_x$  in der Atmosphäre ist mit einer Größenordnung von einigen Stunden dabei vergleichsweise kurz. Der Großteil der  $\text{NO}_x$ -Emissionen erfolgt in Form von NO und wird innerhalb weniger Minuten in  $\text{NO}_2$  umgewandelt. Daher befindet es sich nahe der Emissionsquellen und kann als Nachweis für Luftverschmutzung herangezogen werden. Aufgrund der spektralen Eigenschaften von  $\text{NO}_2$  ist die differentielle optische Absorptionsspektroskopie (DOAS) gut zum Nachweis geeignet. Die erforderlichen Messungen können sowohl durch bodengebundene als auch satellitengestützte Fernerkundung erfolgen.

Der im Oktober 2017 gestartete Satellit Sentinel-5P mit dem Instrument TROPOMI bietet aufgrund der hohen räumlichen Auflösung von 3,5 km x 7 km die Möglichkeit detaillierte Untersuchungen von Emissionen und Lebensdauern von Stickoxiden durchzuführen. Die höhere Auflösung im Vergleich zu bisherigen Instrumenten ermöglicht dabei eine bessere Identifikation von Emissionsquellen.

In dieser Studie werden Daten aus dem ersten Jahr von Sentinel-5P und ECMWF Winddaten für verschiedene Windsituationen analysiert. Die Sentinel-5P-Daten werden für die verschiedenen Windsituationen gemittelt, sodass deutliche Emissionsmuster entstehen. Aus den gewonnenen Daten ist es möglich Stickoxidemissionen und Lebensdauern zu bestimmen. Dieses Auswertungsverfahren in Kombination mit der hohen räumlichen Auflösung der Daten ermöglicht es innerhalb einer Stadt verschiedene Emissionsquellen zu ermitteln. Der Einfluss der verschiedenen Emissionsquellen einer Stadt wird untersucht und die Ergebnisse präsentiert.

## Trends in Windzeitreihen: Terrestrial Stilling oder regionales Phänomen?

Max Mohr and Armin Raabe

Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Leipzig, Germany (raabe@uni-leipzig.de)

Die bodennahe Windgeschwindigkeit, die an den Grenzschichtmesstürmen des DWD in Falkenberg [2] und den KNMI in Cabauw beobachtet wird, ist seit der Jahrtausendwende rückläufig. Das zeigt die Analyse von Windzeitreihen der Tages- und Jahresmittelwerte in verschiedenen Messhöhen an beiden Standorten in die in der hier vorgestellten Arbeit der Zeitraum zwischen 1999 und 2017 einbezogen wurde. Die relative Windänderung beläuft sich dabei auf -1 bis -2,5% pro Dekade, wobei dieser negative Trend in Falkenberg stärker ausgeprägt ist als in Cabauw. Die Windabnahme ist nicht konstant mit der Messhöhe und variiert mit der Windrichtung.

Ebenso ist sie abhängig von der Windgeschwindigkeit.

Reanalysedaten konnten diese beobachtete Abnahme des Winds nur teilweise reproduzieren, sodass davon ausgegangen wird, dass ursächliche Zusammenhänge durch die, den Reanalysen hinterlegten Modellen nicht aufgelöst werden. Dieser Befund und die Verknüpfung des Phänomens mit den Standorten veranlassen zur Annahme, dass vor allem (aber nicht ausschließlich) die Änderung der Landoberfläche der Grund für die Windgeschwindigkeitstrends ist [1]. Eine solche Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeit kann als Terrestrial Stilling aufgefasst werden.

Dieses Phänomen der negativen, bodennahen Windtrends wird seit Ende des zwanzigsten Jahrhunderts in den mittleren Breiten der Nordhalbkugel beobachtet. Auswirkungen der Abnahme sind beispielsweise Einbußen in der Windenergiegewinnung. Am Standort Falkenberg hat so die relative Windleistungsdichte um etwa 4% pro Dekade abgenommen.

[1] Vautard, R. et al. (2010): Northern hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nature Geosci.* 3: 756-761, DOI 10.1038/NGE0979.

[2] Becker, C., Rumme, I. U., Beyrich F. (2017): „Terrestrial Stilling“ in Lindenberg? *MOL-RAO Aktuell* 4/2017



## **Aktuelle Entwicklungen zu Postprocessing bei MeteoSchweiz**

Christoph Spirig, Jan Rajczak, Jonas Bhend, Stephan Hemri, and Mark Liniger

MeteoSwiss, Analysis and Forecasting, Zurich Airport, Switzerland (christoph.spirig@meteoswiss.ch)

Die steigende Nachfrage nach präzisen lokalen Wettervorhersagen und bestmöglicher Abschätzung der Vorhersagegüte treiben die Entwicklungen zu stets höher aufgelösten numerischen Wettermodellen und den verstärkten Einsatz von Ensemblevorhersagen. Trotz dieser Entwicklung bleibt aber Raum für Verbesserungen und Optimierungen der Vorhersagen, aber auch Kondensierung der Informationen mittels statistischer Nachbearbeitung. Bei MeteoSchweiz wurde ein Projekt zur systematischen Einführung von Postprocessing von Ensemblevorhersagen für die wichtigsten Parameter der allgemeinen Wettervorhersage gestartet. Ziel ist die operationelle Implementation von Postprocessing-Verfahren, welche unter Ausnutzung möglichst aller verfügbaren Beobachtungsdaten flächige probabilistische Vorhersagefelder produzieren und verschiedene numerische Vorhersagequellen in einer nahtlosen Vorhersage kombinieren. Als numerische Vorhersagemodelle werden zu Beginn COSMO-E und das IFS-ENS vom EZMW verwendet und es sollen Verfahren wie ensemble model output statistics (EMOS) aber auch machine learning-Methoden zum Einsatz kommen. Im Vordergrund stehen weniger methodische Neuentwicklungen, sondern eine optimale Verwendung von existierenden Methoden für die bestehende Produktionskette und Datenlage in der Schweiz.

Die Präsentation stellt das Vorhaben vor und zeigt erste Resultate von COSMO-Postprocessing mittels EMOS und machine learning. EMOS-Postprocessing kann die systematischen Vorhersagefehler von COSMO-E an Standorten mit Beobachtungen wirksam reduzieren und erste Versuche mit neuronalen Netzen zeigen vielversprechende Ergebnisse zur Verbesserung von Vorhersagen auch an Standorten ohne Beobachtungen.

Die Integration der post-prozessierten Vorhersagen in den operationellen Betrieb bringt neben der Vorhersagegüte eine Reihe weiterer Anforderungen: Die Methoden können idealerweise mit kleinen Datensätzen für die Kalibration umgehen und müssen robust sein für die Aufnahme weiterer Vorhersagemodelle oder neuartige Beobachtungsdatensätze. Schliesslich stellen sich bei der Einführung von neuen Vorhersageverfahren auch organisatorische Fragen, ob und wie automatische Produktionstools mit manuellen Interaktionsmöglichkeiten ausgestattet werden sollen und können.



## Ein logistisches Hagelschadenmodell für Deutschland

Katrin Nissen, Uwe Ulbrich, and Nico Becker

Freie Universität Berlin, Institute for Meteorology, Berlin, Germany (katrin.nissen@met.fu-berlin.de)

Hagel ist ein kleinräumiges Phänomen, für das keine homogenen Beobachtungsdaten existieren. Einzelne Hagelereignisse können jedoch hohe Schäden verursachen, so dass es wünschenswert wäre die lokalen Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines solchen Ereignisses und auch den Einfluss des Klimawandels auf diese Wahrscheinlichkeit abschätzen zu können. Schadendaten aus der Versicherungswirtschaft können helfen die Beobachtungslücke zu schließen und solchen Abschätzungen möglich zu machen.

In dieser Studie werten wir Schadendaten aus der Wohngebäudeversicherung aus, mit der in Deutschland Schäden durch Sturm und Hagel reguliert werden. Während im Winterhalbjahr Schäden durch Winterstürme dominieren, wird ein großer Teil der gemeldeten Schäden im Sommerhalbjahr durch Hagel verursacht. Die Schadendaten standen uns auf Landkreisebene für den Zeitraum 1997-2016 auf täglicher Basis zur Verfügung. Die Auswertung beschränkt sich hier jedoch auf die Sommermonate zwischen Mai und September.

Wir stellen ein logistisches Hagelschadenmodell vor, das den statistischen Zusammenhang zwischen verschiedenen meteorologischen Variablen und Hagelschäden beschreibt. Als Datengrundlage für die meteorologischen Variablen wird die COSMO Reanalyse mit einer räumlichen Auflösung von 6 km verwendet. Wir untersuchen dabei eine Vielzahl von meteorologischen Variablen wie zum Beispiel Feuchte, Temperatur, Windscherung und statische Stabilität, die sich in anderen in der Literatur veröffentlichten Studien als geeignete Proxies erwiesen haben. Schließlich zeigen wir welche dieser Variablen die Schadenwirkung in Deutschland lokal am besten beschreiben.



## Über die Nullpunktstabilität verschiedener Pyranometer

Stefan Wacker, Klaus Behrens, and Ralf Becker  
Deutscher Wetterdienst, Germany (stefan.wacker@dwd.de)

Die Globalstrahlung wird sowohl in vielen Fachdisziplinen der Meteorologie/Klimatologie als auch den angewandten Wissenschaften benötigt, da sie die potenziell an der Erdoberfläche verfügbare Energie von der Sonne darstellt. Für die verschiedenen Anwendungsfälle und Einsatzzwecke werden Pyranometer unterschiedlicher Qualität (Messunsicherheit) seitens der Hersteller angeboten.

Seit Jahrzehnten sind Pyranometer mit Thermosäulen als Empfänger das klassische Instrument zur Messung der Globalstrahlung. Im CIMO-Guide (WMO, 2014) werden für die Einschätzung der Messunsicherheit und der Qualität der Strahlungsmessungen mit Pyranometern neben Empfindlichkeit, Stabilität, Zeitkonstante, Azimut- und Zenitwinkelabhängigkeit, Linearität und Temperaturabhängigkeit auch der thermische Offset genannt. Seitens der WMO (WMO, 2014) und ISO (ISO, 1990) werden neun Charakteristiken aufgeführt, die für die drei Klassen (WMO: High quality, Good quality, Moderate quality; ISO: secondary standard, first class, second class) in unterschiedlicher Güte erfüllt werden müssen. Eines dieser Charakteristika ist der Nullpunkt, wobei zwischen dem Zero-Offset a) und b) unterschieden wird.

a) Reaktion auf eine Änderung in der Nettowärmestrahlung um  $200 \text{ W/m}^2$  bei einem ventilierten Pyranometer

b) Reaktion auf eine Änderung der Umgebungstemperatur von  $5 \text{ K/h}$

Auf Grund der physikalischen Eigenschaften kann die Thermosäule nur ein Nullsignal liefern, wenn sich aktive und passive Lötstellen im thermischen Gleichgewicht befinden und damit in der Folge keine messbare Spannung erzeugt wird. Dieser Fall ist im realen Messbetrieb praktisch nicht zu erreichen, da das Pyranometer einschließlich der Thermosäule den sich fast ständig ändernden Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind. Die Güte der Nullpunktstabilität hängt also entscheidend davon ab, wie es dem Designer gelingt ein Gerät zu konstruieren, das diese Eigenschaft erfüllt.

Am Meteorologischen Observatorium Lindenberg – Richard-Abmann-Observatorium (MOL-RAO) befindet sich das Nationale und Regionale (RA-VI der WMO) Strahlungszentrum sowie eine BSRN-Station. Aus diesem Grund verfügt das MOL-RAO über eine große Anzahl verschiedener Pyranometertypen unterschiedlicher Hersteller. Diese wurden zum Teil parallel über mehrere Monate betrieben.

Da der Nullpunkt einen wesentlichen Beitrag zur Messunsicherheit leistet, werden aus dem mehr als 10jährigen Datenpool Beispiele für das Auftreten der meteorologischen Bedingungen des Zero-Offset a) und b) herausgesucht und die entsprechenden Strahlungsmessergebnisse der verschiedenen Pyranometer analysiert.

### Literatur:

- WMO (2014 updated 2017): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8, (World Meteorological Organization, Geneva 2014) oder ([https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4147](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147))  
ISO (1990): Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation. ISO 9060:1990(E) (International Organization for Standardization, Geneva 1990)

## **Anpassung und Verifikation eines Windatlas für Deutschland**

Martin Schneider, Axel Weiter, and Heinz-Theo Mengelkamp  
anemos GmbH, Reppenstedt, Germany (mengelkamp@anemos.de)

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017 (EEG 2017) als zentrales Instrument für den Ausbau der erneuerbaren Energien gibt einen konkreten Ausbaupfad für die Windenergie an Land vor und fordert ein Ausschreibungsverfahren für Windenergie-Projekte. Die Höhe der Vergütung wird über die Standortgüte bestimmt. Als Steuerungsinstrument für den regionalen Ausbau der Windenergie und zur Einschätzung der Förderhöhe ist eine genaue Kenntnis der Verteilung des Windpotentials unerlässlich. Die Verifikation von Windfeldsimulationen erfolgt bisher eher rudimentär, da zum einen für die Klimaforschung die Temperatur und der Niederschlag eher relevante Parameter sind und die üblicherweise in 10 m Höhe ü. G. an Wetterstationen gemessene Windgeschwindigkeit ungeeignet für eine Verifikation ist.

Basierend auf MERRA-2 Reanalysedaten wurde durch dynamisches Downscaling mit dem Mesoskala-Modell WRF ein Windatlas mit 3 km räumlicher Auflösung für Deutschland berechnet. In einem „Remodelling-Verfahren“ werden durch Vergleich mit Windmessungen an hohen Masten die Abweichungen in Abhängigkeit der Orographie und Landnutzung untersucht. Aus den für jeden Windmessmast abgeleiteten formalen Zusammenhängen wird ein für das gesamte Modellgebiet gültiger Korrekturformalismus abgeleitet, der auf den gesamten Windatlas angewendet wird. Die Verifizierung wird mit Daten von hohen Masten durchgeführt, die nicht für das Remodelling verwendet wurden. Durch das Remodelling Verfahren wird die Genauigkeit des Windatlas drastisch erhöht. Es wird ebenfalls untersucht, inwieweit Ertragsdaten von Windenergieanlagen zur Verifizierung herangezogen werden können.

Der Windatlas, das Remodelling-Verfahren und die Verifizierung mit Windmessdaten und Ertragsdaten von Windenergieanlagen werden diskutiert.

## **Eine Analyse der konvektiven Organisation basierend auf Wavelet Spektren simulierter Regenraten**

Sebastian Brune and Petra Friederichs

University of Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Bonn, Germany (sbrune@uni-bonn.de)

Die Organisation von Konvektion wird mithilfe von Wavelet Spektren der simulierten Regenraten aus hochaufgelösten ICON Large-Eddy Simulationen (Gitterpunktabstand 156 m) über Deutschland beschrieben. Kurzlebige Einzelzellen liefern spektrale Energie auf horizontalen Skalen zwischen 1.2 und 4.8 km, wohingegen organisierte Konvektion wie Superzellen oder Mesoskalige Konvektive Systeme auf größeren Skalen lebt. Linear organisierte Strukturen wie Squall-Lines weisen gemäß ihrer Orientierung eine starke Richtungsabhängigkeit im Spektrum auf. Der ermittelte Grad der konvektiven Organisation aus den Wavelet Spektren wird mit anderen konvektiven Parametern (CAPE, CIN, SI, LI) und dynamischen Variablen (Scherung, Helizität) in Verbindung gebracht.

Die Wavelet Spektren beinhalten Informationen über die bevorzugte Skala, die Intensität des Niederschlags sowie die Richtungsabhängigkeit, sodass auf Basis dieser drei Komponenten die konvektive Organisation beschrieben werden kann. Alle drei Komponenten bilden den Wavelet basierten Organisationsindex (WOI), der im Vergleich zu anderen Organisationsindexen nicht objektbasiert ist und damit weder von Schwellenwerten oder Cluster-Algorithmen abhängig ist. Auf der Grundlage des WOI kann anhand von simulierten oder gemessenen Regenraten zwischen nicht-organisierter und organisierter Konvektion unterschieden werden.

Darüber hinaus ist es möglich, die Organisation der Konvektion räumlich zu charakterisieren, da die Wavelet Spektren im Gegensatz zu Fourier Spektren auch eine Ortsinformation besitzen. So können Gebiete mit verschiedenem synoptisch-skaligen Forcing und den daraus resultierenden unterschiedlichen Organisationsformen durch einen lokalisierten WOI (LWOI) beschrieben werden.

## Längerfristige Änderungen beim Wasserstand an der deutschen Ostseeküste

Bärbel Weidig, Jürgen Holfort, Ines Perlet, and Sandra Schwegmann  
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Rostock, Germany (baerbel.weidig@bsh.de)

Die am besten untersuchte, langfristige Änderung beim Wasserstand ist der allgemeine Meeresspiegelanstieg. Internationale Datenbanken, wie das PSMSL – Permanent Service of Mean Sea Level - pflegen dazu bereits lange Zeitreihen. Die Datengrundlage dieser Zeitreihen und die durchgeführten Korrekturen sind jedoch oft unbekannt, z.B. sind die Monatsmittelwerte teilweise aus unbestimmt vielen Terminwerten (teilweise nur 1 Terminwert pro Tag) berechnet. Auch die Gezeitenkorrekturen und die angewandten Interpolationen sind nicht genau nachvollziehbar.

Zusätzlich zum Meeresspiegelanstieg sind aber auch andere Änderungen, z.B. in der Höhe und Dauer von Sturmfluten, relevant für die Bemessung von Küstenschutzbauwerken und anderer Bauwerken an der Küste.

Von allen Stationen im östlichen Küstenbereich und von einigen ausgewählten des westlichen Küstenbereichs liegen schon digitalisierte einstündige Daten ab etwa 1955 vor. Recherchen haben ergeben, dass für weiter zurückliegende Zeiten im Landesarchiv Brandenburg historische Pegelschriebe vom Ende des 19. Jahrhunderts bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts vorliegen. Diese wurden am BSH schon teilweise eingescannt und davon wurde ein sehr kleiner Anteil auch schon digitalisiert. Die Digitalisierung ist eine sehr aufwendige, nicht vollständig automatisierbare Arbeit. Beim jetzt möglichen Personaleinsatz wird die Digitalisierung aller vorhandenen Pegelschriebe daher noch 2-4 Jahrzehnte dauern.

Ausgehend von den ersten Daten wollen wir aber schon erste Erkenntnisse zu folgenden Themen vorstellen:

- Unterschiede von Monatsmittelwerten aus neu-digitalisierten einstündigen Daten und solchen aus Terminwerten
- Verschiebungen im Gezeitensignal, insbesondere im Quotienten zwischen eintägigen und halbtägigen Tiden, und inwieweit sich ein Nichtberücksichtigen dieser Verschiebung auf die Korrekturen historischer Terminwerte auswirkt.

## Wie Hofdurchfahrten die Belüftung von Innenhöfen beeinflussen

Tobias Gronemeier and Matthias Sühling

Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, Germany  
(gronemeier@muk.uni-hannover.de)

Innenhöfe sind ein fester Bestandteil des Wohnraums für die städtische Bevölkerung. Sie bieten einen Rückzugsort in unmittelbarer Nähe zum Wohnort und dienen unter anderem der Erholung. Um eine Erholung zu gewährleisten und mögliche Gesundheitsrisiken zu minimieren, ist es daher essentiell, dass diese Bereiche eine ausreichend hohe Luftqualität aufweisen. Dies kann beispielsweise erreicht werden durch eine gute Belüftung der Innenhöfe. Die Beurteilung der Belüftung setzt voraus, dass die Strömungsverhältnisse hinreichend bekannt sind. Die Strömung innerhalb eines geschlossenen Innenhofs ist bereits mehrfach untersucht worden und ist bereits weitestgehend bekannt. Der Einfluss von seitlichen Öffnungen wie Hofdurchfahrten wurde bisher allerdings häufig ignoriert. Dabei bergen diese Öffnungen ein enormes Potential zur Verminderung der Luftqualität. Die Luftmassen innerhalb der Straßenschluchten werden durch den Straßenverkehr teilweise stark mit Schadstoffen angereichert. Diese verschmutzte Luftmasse kann anschließend durch die Hofdurchfahrten direkt in die Innenhöfe gelangen und dort die Luftqualität drastisch herabsetzen. Mit Hilfe von Turbulenz auflösenden Large-Eddy Simulationen (LES) werden in der hier vorgestellten Studie die Einflüsse von Hofdurchfahrten auf die Verteilung von Luftbeimengungen untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass Hofdurchfahrten sowohl die Windverhältnisse als auch die Schadstoffbelastung in Innenhöfen stark beeinflussen können. Werte von mehr als der doppelten Menge der Hintergrundbelastung konnten in den Simulationen registriert werden. Die Auswirkungen hängen dabei eng zusammen mit der Ausrichtung der Durchfahrten zur Windrichtung, mit der Beschaffenheit der Innenhöfe sowie mit der Beschaffenheit des Strömungsfelds in direkter Umgebung des Innenhofs.



## Witterungsabhängigkeit von Infektionskrankheiten in Deutschland

Peter Hoffmann

Potsdam Institute for Climate Impact Research, Climate Impacts & Vulnerability, Potsdam, Germany  
(peterh@pik-potsdam.de)

Eines innerhalb des Konsortiums von InfectControl2020 geförderten Forschungsvorhabens war das Projekt CLIP-ID „Climate and Pathogens“. Dieses hatte zum Ziel den Einfluss von Witterung und Klima auf Infektionsverläufe in Deutschland zu untersuchen. Dazu wurden Meldedaten von wöchentlichen von Infektionskrankheiten auf Landkreisebene von 2001-2016 in Kombination mit Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes analysiert. Erfasst werden diese durch das Robert-Koch-Institut (RKI) und folgende Erreger wie Campylobacter und Legionellen wurden als relevant eingestuft. Ersteres verursacht Durchfallerkrankungen in Verbindung mit dem Verzehr von Hühnerfleisch und letzteres Lungenentzündungen. Beide weisen über den Gesamtzeitraum von 2001-2016 eine stark ausgeprägte Saisonalität auf mit einem Maximum im Spätsommer/Frühherbst (Aug-Sep). Im Vergleich zum Temperaturverlauf ist eine Zeitverzögerung um 1-2 Monate erkennbar. D.h. das Temperaturmaximum eilt dem Infektionspeak voraus.

Der mögliche Zusammenhang wurde über ein lineares Regressionsmodell geschätzt. Als Zielgröße wurde das Maximum der Infektionen im Aug-Sep gewählt und als Kovariablen die Temperaturvorbedingungen in den Monaten Mai, Juni und Juli. Es wurde geprüft, ob sich die Jahr-zu-Jahr Schwankungen im Infektionspeak durch die Jahr-zu-Jahr Schwankungen der Temperaturvorbedingungen erklären lassen. In der Tat zeigt sich für Campylobacter ein durchweg hoher Zusammenhang der erklärten Variabilität. Auch ein Zusammenhang zur industriellen Tierhaltung ist möglich. Bei Legionellen ist ein Zusammenhang erst in der zweiten Hälfte stärker zu finden. Letztendlich ermöglicht dies perspektivisch eine Saisonvorhersage von Infektionen.

## **Fortschritte in der Messung von Wind und Turbulenzgrößen mit Ultraschallanemometern**

Hans-Jürgen Kirtzel , Gerhard Peters, and Maren Brast  
Metek Meteorologische Messtechnik GmbH, Germany

Ultraschallanemometer (Sonics) wurden vor rund 30 Jahren als zuverlässige und kostengünstige Sensoren zur Wind- und Turbulenzmessung in die operationelle meteorologische Messtechnik eingeführt. Je nach Anwendungsfall hat sich in der Zwischenzeit eine Vielzahl von unterschiedlichen Konzepten und Bauformen etabliert, von kostengünstigen Sensoren mit 2 Messstrecken zur Messung mittlerer Windgeschwindigkeiten bis hin zu hochgenauen Sensoren mit 3 Messstrecken zur Messungen aller 3 Windkomponenten und der Schalltemperatur. Letztere ermöglichen eine Bestimmung hochwertiger Turbulenzgrößen wie z.B. der turbulenten Flüsse von Impuls und sensibler Wärme und der Obhukhov-Länge zur Charakterisierung der atmosphärischen Turbulenz und deren Parametrisierung in Modellierungen.

Während den Sonics übereinstimmend eine grundsätzlich hohe operationelle Betriebs- und Datenverfügbarkeit und ein sehr geringer Wartungsaufwand bestätigt wird, werden die mögliche Strömungsbeeinflussung durch den Sensorkopf des Sonics, deren Auswirkungen auf die Genauigkeit der abgeleiteten Messgrößen und mögliche Verfahren zur Korrektur seit langem mit verschiedenen Ansätzen betrachtet und diskutiert.

Ausgehend von der Idee, die Strömungsbeeinflussung durch geschickte Anordnung und Ausnutzung der Messstrecken und so etwaige Ungenauigkeiten zu minimieren, wurde ein neuer Typ des Sensorkopfes entwickelt, der die sogenannte „Multi-Path“ Technik ermöglicht. Dabei erfolgt die Messung nicht mehr mit Hilfe von Messstrecken, die von gegenüberliegenden, paarig zugeordneten Ultraschallwandlern gebildet werden. Stattdessen wird der Schallimpuls eines jeden Schallwandlers von allen Schallwandlern des gegenüberliegenden Arrays von Schallwandlern empfangen und ausgewertet. Somit stehen drei Sätze nicht ko-planarer Messstrecken zur Verfügung, von denen jeweils eine sogar senkrecht ausgerichtet ist. Diese erlaubt also eine direkte Messung der vertikalen Windkomponente, eine Ermittlung anhand geneigter Messstrecken ist somit nicht mehr erforderlich. Durch Auswahl der jeweils luvseitig angeordneten Messstrecken können zudem Messstrecken mit möglichen Strömungsbeeinflussungen von der nachfolgenden Bestimmung von Messgrößen ausgeblendet werden.

Anhand von Messungen im Windkanal und im Feld werden konventionelle Sonics mit Multi-Path Sonics verglichen und die Verbesserungen der Multi-Path Technik insbesondere bei der Bestimmung von Turbulenzgrößen vorgestellt.



## **Klimawandel im nordeuropäischen Raum aus Sicht des deutschen Eisdienstes**

Sandra Schwegmann and Jürgen Holfort

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Rostock, Germany (sandra.schwegmann@bsh.de)

Seit über 100 Jahren werden die Winter an der deutschen Nord- und Ostseeküste entsprechend ihrer Stärke kategorisiert und im Verhältnis zueinander verglichen. Zunächst beruhte die Eiswinterstärke nur auf der Ausdehnung des Eises entlang der Küste. Seit den 1960ern wurde auch die Eisdicke beobachtet und daher in der Kategorisierung mitberücksichtigt. Durch die internationale Zusammenarbeit mit den anderen europäischen Eisdiensten stehen die Informationen zur Eiswinterstärke, Bedeckung, Verteilung und Masse des Eises auch für die anderen Küstenabschnitte der Ostsee zur Verfügung. Dadurch ist es uns möglich, Veränderungen der Meereisbedingungen in der gesamten Region für die letzten Dekaden zu bestimmen und diese mit klimabedingten Veränderungen von beispielweise Luft- und Wassertemperaturen in Relation zu setzen.

Übereinstimmend zeigen die Daten, dass sowohl an der deutschen Küste, als auch in der gesamten Ostsee die Menge an Eis, die in einem Winter produziert wird, abnimmt. Außerdem hat sich gezeigt, dass schwache Winter heutzutage wahrscheinlicher auftreten als starke Winter. Die verminderte Eisproduktion korreliert dabei gut mit einem Anstieg der mittleren Lufttemperaturen in den Wintermonaten. Nicht eindeutig ist dagegen die Veränderung in der Länge einer Eissaison, also der Zeit zwischen erstem und letztem Auftreten von Eis innerhalb einer Saison. Jeder dieser Parameter hat Auswirkungen auf den Schiffsverkehr und soll in Bezug auf diesen hier diskutiert werden.



## **Partial correlation the natural correlation skill score**

Rita Glowienka-Hense and Andreas Hense

Universität Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Bonn, Germany (rita.glowienka@uni-bonn.de)

Comparison of forecast systems using partial correlations allows for a very informative description of the performances. Partial correlations are the correlations between the observations and the residuals that remain in the forecast after regressing out the competing forecasts. The shared variance of the forecast systems on the observations can be distinguished from the added values of each of them. The latter is the additionally - with respect to the compared system - explained variance on the observations. The predictive power of the two systems together is determined by the multiple correlation. Partial correlations can be tested for significance in the same way as classical correlations if the degrees of freedom are adapted. Thus partial correlation is the natural skill score associated with the correlation score for comparing and assessing different forecast systems. Verification of correlation differences suffers from the fact that the competing verification systems are not independent and thus have too small power to detect small model improvements. The method can be expanded to the comparison of more forecast systems. Applications to synoptic forecasts from ECMWF and decadal from the MiKlip ensemble prediction system are shown. For decadal forecasts the advantage of model consistent data assimilation can be proven.

keywords: partial correlation; added value; shared variance; multivariate correlation



## **Spatial forecast verification with wavelets**

Sebastian Buschow, Petra Friederichs, and Jakiw Pidstrigach

University of Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Bonn, Germany

The quality of precipitation forecasts is difficult to evaluate because images with discrete features surrounded by empty space cannot helpfully be compared pixel by pixel: A slight displacement between observed and predicted field is punished twice, generally leading to better marks for coarser models. To answer the question whether a highly resolved model truly delivers an improved representation of precipitation processes, alternative tools are thus needed. Wavelet transformations can be used to summarize high-dimensional data in a few numbers which characterize the field's texture. A comparison of these transformed fields allows us to judge models based on their ability to predict spatial correlations. The fidelity of the forecast's overall structure is thus investigated separately from potential errors in feature location.

In this talk, we discuss new wavelet based structure-scores for the verification of deterministic as well as ensemble predictions. The properties of these scores are rigorously tested in an idealized setting: A recently developed Gaussian stochastic model for precipitation extremes allows us to generate realistic pairs of artificial observations and forecasts with prespecified spatial correlations. We demonstrate that wavelet spectra are highly sensitive to differences in structural properties and can thus be used to judge the performance of state-of-the-art forecast systems.

## Schneefallraten-Retrieval von bodengebundenen in-situ und Radar-Messungen

Sybille Y. Schoger (1), Dmitri Moisseev (2), Susanne Crewell (1), and Kerstin Ebell (1)

(1) Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Pohlstr. 3, 50969 Köln, Deutschland, (2) Institute for Atmospheric and Earth System Research / Physics, University Helsinki, P.O. Box 64, 00014 Helsinki, Finland

Schnee ist ein wichtiger Bestandteil des hydrologischen Kreislaufs. Dessen Einfluss auf das arktische Klima ist wiederum von besonderem Interesse aufgrund der beobachteten arktischen Verstärkung – die starke Erwärmung der Arktis im Vergleich zum globalen Mittel. Messungen von festem Niederschlag sind jedoch anfällig für hohe Ungenauigkeiten aufgrund der komplexen mikrophysikalischen Struktur der Partikel. Darüber hinaus unterschätzen klassische Niederschlagssammler die Schneemenge bei starkem Wind. Radarbasierte Schätzungen von Schneefallraten werden traditionell mit einem Potenzgesetz der äquivalenten Reflektivität – Schneefallrate ( $Z_e$ -S) berechnet, welches ebenfalls große Ungenauigkeiten aufweisen kann aufgrund von Änderungen in den Schneeeigenschaften wie der Dichte oder der Partikelgrößenverteilung (PSD). Daher stellt die Beobachtung und Modellierung von Schneefallraten immer noch eine Herausforderung dar.

In diesem Beitrag nutzen wir Radarbeobachtungen zweier Frequenzen bzw. Wellenlängen: das Mikro Regenradar, kurz MRR, ein K-Band (24 GHz, 12,38 mm), und das Wolkenradar MiRAC, kurz für Microwave Radar for Arctic Clouds, ein W-Band (94 GHz, 3,19 mm), kombiniert mit dem Parsivel-Distrometer. Die Instrumente werden an der Arktischen Forschungsstation AWIPEV (Alfred Wegener Institut für Polare und Marine Forschung (AWI), Polares Institut Paul Emile Victor (IPEV)) in Ny-Ålesund, Svalbard, betrieben. Das Ziel dieser Arbeit ist es, Schneefallraten abzuleiten und eine Unsicherheitsanalyse des Retrievals zu liefern.

Basierend auf Messungen der Universität Helsinki, welche an der Forschungsstation in Hyttälä, Finnland gesammelt wurden, wurde das Retrieval entwickelt und die Analyse durchgeführt. Die verwendeten Daten beinhalten zum Einen PSD, Fallgeschwindigkeiten und abgeleitete Massen der Schneeflocken, um die Schneefallrate zu berechnen. Zum Anderen wird die Reflektivität mit dem vorwärts modellierten Rückstreuquerschnitt berechnet. Letzterer wurde mit der T-Matrix Methode für K-Band und der Diskreten Dipol Approximation (DDA) Einfachstreuung-Datenbank von realistischen Schneeflocken für W-Band durchgeführt. Um verschiedene Abhängigkeiten zu prüfen, haben wir die Partikelgrößenverteilung mit einer exponentiellen Funktion parametrisiert, dessen Achsenabschnittsparameter  $N_0$  und die Steigung  $\lambda$  ist.

Wir zeigen, dass die radarbasierte Schätzung der Schneefallraten für das K-Band signifikant verbessert wird, wenn man  $N_0$  einbezieht; der RMSE wird von 0,32 mm/h für eine durchschnittliche  $Z_e$ -S-Beziehung über einen längeren Zeitraum auf 0,14 mm/h optimiert. Für das W-Band hat die durchschnittliche  $Z_e$ -S-Beziehung bereits einen RMSE von 0,14 mm/h.

Die Anwendung der resultierenden Retrieval-Methode auf gemessene Reflektivitäten von MiRAC und MRR für drei Tage in Ny-Ålesund zeigt bereits eine gute Übereinstimmung. Nur ein Fall weist größere Unterschiede in der Schneefallrate, aber auch in der Reflektivität auf, weswegen wir hier einen Fehler in der Radarmessung selber vermuten. In Zukunft wird die Analyse auf alle vorhandenen Schneemessungen in Ny-Ålesund (seit Juni 2016) ausgeweitet und die Ergebnisse werden eingehend untersucht.

## **Der Modellfehler in der Ensemble-Vorhersage: Abschätzung und A-priori Simulation mit einem stochastischen Ansatz**

Tobias Heppelmann, Martin Sprengel, and Christoph Gebhardt

Deutscher Wetterdienst, Forschung und Entwicklung, Offenbach, Deutschland (tobias.heppelmann@dwd.de)

Innerhalb des Forschungsprojektes gridcast – eine Zusammenarbeit des Deutschen Wetterdienstes (DWD) mit dem Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) und assoziierten Partnern, darunter die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber – entwickelt der DWD seine Ensemble-Vorhersagesysteme weiter. Das Ziel ist eine geeignete Abschätzung der Prognoseunsicherheiten um z.B. Folge-Unsicherheiten in Wind- und PV-Leistungsprognosen abzuschätzen oder um Risiken für die Netzsicherheit in Deutschland zu berücksichtigen.

Ein atmosphärisches Vorhersage-Ensemble soll Prognoseunsicherheiten durch die Streuung der einzelnen Ensemble-Mitglieder bestmöglich abbilden. Insbesondere bei Variablen in Bodennähe ist die Ensemble-Streuung bisweilen unzureichend. Einen Beitrag zur Prognoseunsicherheit liefert der Modellfehler, der aufgrund der Parametrisierung von nicht-aufgelösten subskaligen physikalischen Prozessen entsteht. Um den Modellfehler bereits während der Modellsimulation zu berücksichtigen, wird im Forschungsprojekt ein stochastischer Ansatz entwickelt, um den Modelltendenzen ausgewählter Variablen strömungsabhängige Störungen aufzuprägen. Die Parameter der entsprechenden stochastischen Differentialgleichung werden auf Basis historischer Modell- und Analysetendenzen abgeleitet. Dabei werden die maßgeblichen zeitlichen und räumlichen Korrelationen berücksichtigt.

Der Einfluss des stochastischen Modells wird in Ensemble-Experimenten sowohl auf der konvektions-erlaubenden Skala mit dem COSMO-D2-EPS als auch auf der größeren Skala mit dem ICON-EPS untersucht. Seit Anfang 2018 ist das globale Ensemble-Vorhersagesystem ICON-EPS beim DWD im operationellen Einsatz. Es hat 40 Ensemble-Mitglieder und eine Maschenweite von 40 km mit einem Nest über Europa mit 20 km Maschenweite. Die Vorhersagen des ICON Ensembles im Nestgebiet Europa stellen außerdem die seitlichen Randbedingungen für das COSMO-D2-EPS bereit, welches hoch-aufgelöste stündliche Vorhersagen für Deutschland und Mitteleuropa von bis zu 45 Stunden liefert. In diesem Beitrag werden die Parameterabschätzungen des stochastischen Modells für den Modellfehler im ICON-EPS sowie erste Auswertungen der Ensemble-Experimente mit dem stochastischen Modell vorgestellt.



## **Major sudden stratospheric warmings with strong polar-night jet oscillation induced enhanced stratosphere/troposphere coupling**

Dieter H.W. Peters (1), Andrea Schneidereit (1), and Alexey Y. Karpechko (2)

(1) Leibniz-Institute for Atmospheric Physics, University of Rostock, Ostseebad Kühlungsborn, Mecklenburg, Germany, (peters@iap-kborn.de), (2) Finnish Meteorological Institute, Arctic Research, Helsinki, Finland

During winter, the boreal stratosphere couples with the underlying troposphere in two pathways: bottom-up and top-down. Often it undergoes different extreme circulation states: cold events with a strong polar vortex and zonal mean westerlies (polar-night jet); and warm events with a weakening or a breakdown of the polar vortex and zonal mean easterlies. Extreme warm stratospheric events during polar winters of ERA-Interim reanalysis and CMIP5-ESM-LR runs are separated by duration and strength of the polar-night jet oscillation (PJO). We used a high statistical confidence level of three standard deviations (strong-PJO events) instead of working with two as in previous studies. With a composite analysis, we showed that strong-PJO events show a significant stronger downward propagating signal for northern annular mode and for the zonal mean zonal wind anomaly in the stratosphere as for non-PJO events in agreement with former studies. The lower stratospheric difference of EP-flux-divergence is apparently stronger for ERA-Interim data than for CMIP5-ESM-LR runs. Nevertheless, the ESM-LR runs indicate also a significant stronger downward propagating NAM signal in the stratosphere and a weaker tropospheric coupling. We found that the Arctic oscillation of strong-PJO and non-PJO events are more intense and clearly separated in ERA-Interim than in CMIP5-ESM-LR during the 15-day post phase after CD. During this post phase, for strong-PJO events of ERA-Interim, we identify a positive polar total ozone anomaly and a wave 1 structure in mid-latitudes. Furthermore, we found a significant upper tropospheric zonally asymmetric impact for different poleward RWB events, and a regional extra-tropical surface impact, indicating a different physical action over the North Atlantic for strong-PJO events and over the North Pacific for non-PJO events. For strong-PJO events, the NAO is greatly weakened and the surface jet shifts southwards that brings less warm air to the northern European region and Eastern Arctic, causing a cooling there. Finally, we conclude that the applied high statistical threshold gives a clearer separation of warm stratospheric events into strong-PJO events and non-PJO events including their different downward propagating NAM signal and tropospheric impacts.

## Potential von hochaufgelösten ICON-LEM-Simulationen für Windenergie-Anwendungen

Robert Scheele, Vera Schemann, and Roel Neggers  
Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Deutschland

Windenergie gewinnt einen immer größeren Anteil am Energiemarkt. Die Menge an Windenergie ist zeitlich hoch sensitiv gegenüber Windböen, da die Windgeschwindigkeit mit einer Potenz von drei zur Windenergieerzeugung beiträgt. Für die Windenergievorhersage reichen somit nicht nur durchschnittliche Windgeschwindigkeiten zur Prognose aus, sondern auch die klein-skalige Variabilität des Windes ist von Interesse. Gerade diese Variabilität wird von üblichen Wettervorhersage-Modellen nicht aufgelöst. In dieser Studie wollen wir unter anderem folgenden Fragen nachgehen: Wird durch höhere Gitterauflösung die Windvorhersage verbessert? Bekommen wir mehr Auskunft über die Variabilität und Varianz des Windes? Welchen Einfluss haben diese Ergebnisse auf die Menge an erzeugter Windenergie?

Für die Analyse der zeitlichen Variabilität von Windenergie nutzen wir genestete Simulationen mit ICON-LEM mit einer horizontalen Auflösung von 624m, 312m und 156m. ICON-LEM ist die Large-Eddy-Version des neuen ICON Modells, welches vom Max Planck Institut für Meteorologie (MPI-M) und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickelt wird. Dieses neue Modell erlaubt es uns hoch auflösende Simulationen mit realistischem Antrieb zu rechnen und ermöglicht insbesondere offene Randbedingungen sowie die Berücksichtigung von Topographie. Um die unterschiedlichen Einflüsse der Topographie und lokaler Besonderheiten zu untersuchen, werden Simulationen über drei verschiedene Gebiete in Deutschland mit einer äußeren Fläche von ca. 100km Durchmesser durchgeführt. Sie sollen die Oberflächen von Meer, Flachland und Mittelgebirge repräsentieren. Dies wären ein Gebiet über der Nordsee am Borkumriff (FINO1), über dem Forschungszentrum Jülich (JOYCE) und im nordhessischen Bergland (Rödeser Berg).

Verglichen werden die Ergebnisse mit den 10 Minuten Messungen der jeweiligen Windmaste (FINO1, JOYCE, Rödeser Berg) sowie mit den Vorhersagen von COSMO-DE. COSMO-DE weist eine horizontale Auflösung von 2,8km auf. Durch die höhere horizontale und zeitliche Auflösung in ICON-LEM wird untersucht, inwiefern die zeitliche Variabilität des Windes und die lokalen orographischen Gegebenheiten besser berücksichtigt werden und welche Schlüsse daraus gezogen werden können.

Mithilfe von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen werden die Datensätze weiter analysiert. Wir untersuchen, wie groß der Einfluss der Modellauflösung auf die Resultate ist und ob die Unsicherheiten auflösungsabhängig sind.

## **INIFOR – Eine mesoskalige Schnittstelle für das mikroskalige Stadtklimamodell PALM-4U**

Eckhard Kadasch (1) and Matthias Sühling (2)

(1) Stadt- und Regionalklimatologie, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland (eckhard.kadasch@dwd.de),

(2) Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover, Deutschland (suehring@muk.uni-hannover.de)

Hochauflösende Stadtklimamodelle wie PALM-4U erlauben es, stadtklimatologische Fragestellungen auf der Detailebene von Stadtteilen bis hin zu einzelnen Straßenzügen zu beantworten. Für bestimmte Anwendungen ist die Aussagekraft in diesem Detailgrad allerdings nur gegeben, wenn auch die Anfangs- und Randbedingungen dem jeweiligen Wetterszenario entsprechen. Dies ist zum Beispiel bei Untersuchungen von Extremsituationen aus der Vergangenheit der Fall oder bei der Modellevaluierung durch Vergleiche mit Messkampagnen. Insbesondere bei der Modellevaluierung müssen Simulationsfehler, die sich auf unrealistische Randbedingungen zurückführen lassen, möglichst minimiert werden um die Qualität des eigentlichen Modells bemessen zu können.

Für das neue Stadtklimamodell PALM-4U wurde deshalb die mesoskalige Schnittstelle INIFOR entwickelt. INIFOR interpoliert die zur Initialisierung und zum Antrieb notwendigen meteorologischen Felder aus Modelloutput von COSMO, dem operationellen Vorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes. Damit können zeitabhängige, realitätsnahe Anfangs- und Randbedingungen für das Stadtklimamodell bereitgestellt werden. Der Effekt des mesoskaligen Druckgradienten wird dabei über gemittelte Profile des geostrophischen Windes berücksichtigt.

Ausgehend von den Modellunterschieden zwischen COSMO und PALM-4U werden die Verfahrensschritte für die Berechnung der Anfangs- und Randbedingungen aufgezeigt und die verwendeten Methoden zur Koordinatentransformation und der Dateninterpolation beschrieben. Es werden zwei unterschiedliche Mittelungsverfahren zur Berechnung des geostrophischen Windes vorgestellt und die Sensitivität der geostrophischen Windprofile bezüglich der Verfahrenswahl analysiert. Die mesoskaligen Randbedingungen und deren Auswirkung auf die mikroskalige Strömung werden anhand von Beispielsimulationen illustriert.

## **Das Auffinden von Seebären (Meteotsunamis) an der Küste der südwestlichen Ostsee**

Jürgen Holfort (1), Ines Perlet (1), Bärbel Weidig (1), Sandra Schwegmann (1), Ida Stanisławczyk (2), and Grzegorz Pietrucha (2)

(1) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Rostock, Germany (juergen.holfort@bsh.de), (2) Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia

Was man in Deutschland unter Seebär versteht, wird allgemeiner betrachtet als Meteotsunami bezeichnet. Ein Seebär ist eine schnelle (Zeitdauer etwa 5-60 Minuten), unerwartete, meist lokale, größere Wasserstandsänderung von etwa 50 cm bis zu 1 m. Im Gegensatz zu den aus der Presse bekannten Tsunamis entstehen Seebären nicht durch Erdbeben oder Rutschungen, sondern haben meteorologische Ursachen.

Wir haben verfügbare Wasserstandsdaten an der deutschen und polnischen Küste auf Signale von Seebären untersucht. Da eine einfache Suche nach schnelleren und/oder größeren Wasserstandsänderungen zu viele, meist falsche Fälle ergab, wurde auch noch ein Kriterium bezüglich Energie in einem bestimmten Frequenzbereich mit hinzugenommen. Dies funktionierte ganz gut mit 1- bis 10-Minutenwerten des Wasserstandes, die aber nur für die letzten Jahre verfügbar sind. Die bis etwa in die 1950 zurückreichenden Stundenwerte wurden zwar auch durchsucht, aber nur sehr wenige mögliche Signale gefunden, die dann noch manuell anhand der analogen Pegelschriebe überprüft werden mussten. Weiter Probleme bei der Detektion kommen noch dazu, z.B. die Dämpfung der Pegel.

Die Bestimmung der meteorologischen Faktoren, die für das Auftreten der Seebären verantwortlich waren gestaltete sich auch schwierig. Oft sind Seebären und ihre Ursachen sehr lokal und so werden die meteorologischen Faktoren durch die weit verteilten Stationen nicht richtig erfasst. Bei einigen Ereignissen spielten beispielsweise statt Fronten die Schnelle und die Richtung der Bewegung von Konvergenzzonen eine größere Rolle. Diese Zonen sind aber in vielen der benutzten Wetterkarten, insbesondere der älteren, nicht mit eingetragen.

Von den gefundenen Seebären präsentieren wir einige ausgewählte Ereignisse, zusammen mit der Beschreibung der hydrologischen Situation und der Analyse der verbundenen meteorologischen Wetterlage.

## **Korrektur von Eddy-Kovarianz-Messungen zur Schließung der Energiebilanz basierend auf Large-Eddy-Simulationen**

Matthias Mauder, Frederik De Roo, Sha Zhang, and Sadiq Huq

Karlsruhe Institute of Technology KIT/IMK-IFU, Institute for Meteorology and Climatology - Atmospheric Environmental Research, Garmisch-Partenkirchen, Germany (matthias.mauder@kit.edu)

Das Problem der Energiebilanzschließung ist ein seit Langem bekanntes weltweites Phänomen, welches auf eine Unterschätzung der turbulenten Flüsse um 10 bis 30% durch die Eddy-Kovarianz-Methode zurückzuführen ist. Ein wichtiger Grund dafür liegt in der Vernachlässigung meso-skaliger Flussbeiträge, welche durch die typischen Punktmessungen an mikrometeorologischen Masten nicht erfasst werden können. Allerdings ist unter anderem für die Validierung von hydro-meteorologischen Modellen eine Korrektur der gemessenen fühlbaren und latenten Wärmeströme unerlässlich. Zu diesem Zweck werden in der Literatur verschiedene Methoden vorgeschlagen, wie das Energiebilanzresiduum zwischen dem fühlbaren und dem latenten Wärmestrom aufzuteilen ist. Wir vergleichen diese Ansätze an zwei Grünlandstandorten mit Evapotranspirationsdaten von nahegelegenen Lysimetern. Zudem schlagen wir eine neue Methode vor, die auf Large-Eddy-Simulationen beruht. Mit Hilfe dieser unter homogenen Bedingungen durchgeführten Simulationen untersuchen wir, wie die systematische Unterschätzung der Energieflüsse von der Schichtung der Atmosphärischen Grenzschicht, der Messhöhe und dem Bowen-Verhältnis abhängt. Aus den erhaltenen Daten für die Bodenschicht geht hervor, dass der fühlbarere Wärmestrom generell stärker unterschätzt wird als der latente Wärmestrom. Eine häufig angewendete Korrekturmethode, die das Bowen-Verhältnis beibehält, ist daher nicht zu rechtfertigen, wie auch andere Validierungsexperimente zeigen. Stattdessen leiten wir aus den Simulationsergebnissen eine nicht-lokale stabilitäts- und höhenabhängige Parametrisierung zur Bestimmung des systematischen Fehlers getrennt für den fühlbaren und den latenten Wärmestrom ab. Da deren Gültigkeit allerdings auf den Bereich simulierten Bedingungen begrenzt ist, ist diese Parametrisierung nur unter Einschränkungen hinsichtlich der Messhöhe ( $z > 10$  m), labile Schichtung und unter der Annahme einer homogenen Oberfläche anwendbar. Wir schlagen daher außerdem eine Möglichkeit vor, wie Energieflüsse in der Realität dennoch auch für geringere Messhöhen und in heterogenem Gelände korrigiert werden können. Voraussetzung dafür sind unabhängige Messungen der Energieflüsse an der Oberfläche von hoher Qualität und möglichst gute Daten für die Höhe der Atmosphärischen Grenzschicht am Messstandort.

## Biophysikalische Auswirkungen von Landnutzungsänderungen in Indonesien

Alexander Knohl (1), Ana Mejjide (1,2), Christian Stiegler (1), Dodo Gunawan (3), Dirk Hölscher (4), Tania June (5), and Alexander Röhl (4)

(1) University of Göttingen, Bioclimatology, Göttingen, Germany (aknohl@uni-goettingen.de), (2) University of Göttingen, Crop Sciences, Göttingen, Germany, (3) Climate Change and Air Quality, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Jakarta, Indonesia, (4) University of Göttingen, Tropical Silviculture and Forest Ecology, Göttingen, Germany, (5) Bogor Agricultural University (IPB), Department of Geophysics and Meteorology, Bogor, Indonesia

Indonesien hat in den vergangenen Jahrzehnten eine rapide Veränderung der Landnutzung durchlaufen. Dabei wurden Wälder in Monokulturen wie Kautschuk- und Ölpalm-Plantagen umgewandelt. Diese Umwandlung verändert biophysikalische Eigenschaften der Landoberfläche und kann somit auf die Atmosphäre wirken. Die genauen Auswirkungen sind jedoch unklar.

In dieser Studie nutzen wir mikrometeorologische Messungen, Saftflussmessungen, turbulente Flussmessungen mit Hilfe der Eddy-Kovarianz-Methode und Fernerkundung in der Provinz Jambi auf der Insel Sumatra in Indonesien, um biophysikalische Auswirkungen von Landnutzungsänderungen zu quantifizieren.

In den Monokulturen Kautschuk und Ölpalme war die Luft wärmer (ca.  $2.2^{\circ}\text{C}$ ) und trockener (ca. 12% weniger relativer Luftfeuchte) verglichen zum Wald. Außerdem war die tageszeitliche Amplitude aller gemessenen meteorologischen Variablen höher. Die Transpiration war in nicht-intensiv bewirtschafteten Monokulturen niedriger (-43% für Kautschuk und -19% für Ölpalme) als im Wald. Die Transpiration von stark gedüngten industriellen Ölpalm-Plantagen jedoch überstieg um +40% die Transpiration von Wäldern. Junge Ölpalm-Plantagen (ca. 2 Jahre alt) zeigen eine niedrigere Evapotranspiration, höhere sensible Wärmeflüsse und höhere Landoberflächentemperaturen als ausgewachsene Plantagen (ca. 12 Jahre alt). Fernerkundungsdaten von MODIS und LANDSAT zeigen starke Unterschiede in den Landoberflächentemperaturen der unterschiedlichen Landnutzungsarten. Wald und gerodete Flächen unterscheiden sich um bis zu  $10^{\circ}\text{C}$ . Über die vergangenen 16 Jahre hat sich die Landoberflächentemperatur in der Provinz um  $1.1^{\circ}\text{C}$  erhöht und übertrifft damit die Effekte des Klimawandels.

Insgesamt führen die rapiden Landnutzungsänderungen zu zahlreichen Veränderungen in biophysikalischen Variablen, die wiederum auf die Atmosphäre als auch auf Ökosystemfunktionen wirken.

## **Einfluss verbesserter Landnutzungsdaten auf die Simulation von Grenzschichtströmungen**

Johannes Wagner (1), Thomas Gerz (1), Norman Wildmann (1), and Annekatriin Metz-Marconcini (2)

(1) Institut für Physik der Atmosphäre, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen, Germany, (2) Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen, Germany

Im Rahmen der Studie werden verbesserte Landnutzungs- und Oberflächendaten und deren Einfluss auf die Simulation von Strömungen in der atmosphärischen Grenzschicht vorgestellt. Dabei wird das numerische Wettermodell WRF verwendet, um Fallstudien zu nächtlichen Low-Level Jets (LLJ) während der internationalen Messkampagne Perdigão nachzusimulieren, welche von Mai bis Juni 2017 in Portugal stattgefunden hat. Für diesen Zeitraum steht eine große Anzahl an Messdaten auf Basis von 49 meteorologischen Messtürmen, mehr als 180 Ultraschall-Anemometern, 28 Windlidarsystemen, Mikrowellenradiometern, Windprofiler und Radiosonden zur Verfügung. Dies ermöglicht es Grenzschicht-Simulationen zu validieren und verbesserte Landnutzungsdaten zu testen. Die standardmäßig in WRF verwendeten Landoberflächendaten (z.B. USGS, MODIS, CORINE) sind aufgrund ihrer groben Auflösung und ihrer veralteten Landnutzungskategorisierung nicht mehr zeitgemäß für die Anwendung in hochaufgelösten mesoskaligen und large-eddy Simulationen (LES). Der Einfluss von sich ändernder Bodenbedeckung von z.B. land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen auf die Grenzschichtströmung ist von großer Bedeutung für die korrekte Simulation von bodennahen Strömungen und ein wichtiger Faktor für Windenergieprognosen. In dieser Studie werden Sentinel2 Satellitenbeobachtungen verwendet, um aktuelle Landnutzungsdaten zu erstellen und Unterschiede in der simulierten Strömung im Vergleich zur Verwendung herkömmlicher Datensätzen festzustellen. Zusätzlich wird eine Waldparametrisierung in WRF verwendet, welche eine beträchtliche Verbesserung der simulierten LLJ-Strukturen durch Erzeugung zusätzlicher Reibungskräfte auf den untersten Modell-Levels ergibt.

## Saisonale Dürremagnitudo – Trends und Einordnung der agrarischen Dürre 2018

Andreas Marx, Stephan Thober, Matthias Kelbling, and Luis Samaniego  
Helmholtz Centre UFZ, Climate Office for Central Germany, Leipzig, Germany (klima@ufz.de)

Agrarische Dürren führten in Deutschland im Zeitraum 1991-2013 mit 274 Millionen € zu den größten Schäden aller wetterbeeinflussten Katastrophen. Darin sind die Dürrejahre 2015 mit mehr 22% Ertragsausfall beim Silomais und 2018 mit von den Bundesländern gemeldeten Schäden von über 3 Milliarden € nicht enthalten. Der Viermonatszeitraum April bis Juli 2018 geht als der wärmste in Deutschland seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen im Jahre 1881 ein. Zu den hohen Temperaturen kam ein Niederschlagsdefizit mit nur ca. 60% des langjährigen Niederschlags von Februar bis Juli und resultierend eine große Dürre in Mitteleuropa (Mühr et al. 2018), die gegenwärtig noch andauert. Agrarische Dürren zeichnen sich durch Bodentrockenheit aus. Im Deutschen Dürremonitor ([www.ufz.de/duerremonitor](http://www.ufz.de/duerremonitor)) wird täglich die aktuelle Bodenfeuchte mit dem mesoskaligen hydrologischen Modell mHM berechnet. Da für einzelne Tage keine verlässliche Statistik generiert werden kann, werden die letzten 30 Tage gegen denselben Zeitraum innerhalb des Jahres für die 65-jährige Periode 1951-2015 verglichen. Damit kann der aktuelle Zustand langjährig in einem Perzentilansatz eingeordnet und Dürre klassifiziert werden. (Zink et al. 2016)

Eine ähnlich großflächige Dürre im Oberboden (bis 25 cm Tiefe) wie 2018 fand in Deutschland seit 1976 nicht mehr statt. Die Bewertung von agrarischen Dürren wird anhand der Faktoren zeitliche Andauer, betroffene Fläche und absolute Trockenheit durchgeführt und damit eine saisonale Dürremagnitudo berechnet. Für den Sommer (meteorologisch; Monate Juni-Juli-August) 2018 wurde eine seit 1951 unerreichte Dürremagnitudo über Deutschland erreicht. Der Beitrag zeigt die flächenhafte Entwicklung der Dürre für Deutschland 2018 sowie die Entwicklung und Trends der saisonalen Dürremagnitudo seit 1951 für die Bundesrepublik und für Teilregionen (z.B. Bayern, wo die höchste Sommerdürremagnitudo abweichend von der gesamten Bundesrepublik im Hitzesommer 2003 erreicht wurde).

B. Mühr, S. Kubisch, A. Marx, J. Stötzer, C. Wisotzky, C. Latt, F. Siegmann, M. Glattfelder, S. Mohr, M. Kunz: Dürre & Hitzewelle Sommer 2018 (Deutschland). CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA), 18 August 2018, Report No.1

Zink M, Samaniego L, Kumar R, Thober S, Mai J, Schaefer D and Marx A (2016) The German drought monitor, Environmental Research Letters, Environmental Research Letters 11, doi:10.1088/1748-9326/11/7/074002.



## Ein neues FMCW Wind Lidar

Gerhard Peters (1), Piet Markmann (1), Christoph Bollig (2), and Ernst Brinkmeyer (3)

(1) METEK GmbH, Elmshorn, Germany (peters@metek.de), (2) Abacus Laser GmbH, Göttingen, Germany (chris@abacus-laser.com), (3) Hamburg University of Technology (brinkmeyer@tuhh.de)

Hier wird ein 1.5µm Doppler-Lidar mit einer Dauerstrich-Laserquelle vorgestellt, bei dem die Entfernungsaufklärung durch Fokussierung erreicht wird. Die wesentliche Neuerung dieses kürzlich entwickelten Systems besteht in der linearen optischen Frequenzmodulation des Senders. Dadurch werden gegenüber einem Sender mit konstanter Frequenz folgende Vorteile erzielt:

1. Beim üblichem, nicht-modulierten, CW Lidar besteht eine untere Grenze der Windgeschwindigkeit für gültige Messungen, da der spektrale Bereich des Empfangssignals in der Nähe der Dopplerverschiebung Null durch interne, unvermeidbare Reflexe stark gestört ist. Diese Grenze entfällt hier, weil die Signale aus dem Fokus aufgrund der Modulation und zeitlichen Verzögerung auch bei fehlender Dopplerverschiebung frequenzverschoben sind. D.h. das System liefert auch bei Schwachwind und Windstille gültige Messwerte.
2. Wegen der entfernungsbedingten Frequenzverschiebung ist das Vorzeichen der Dopplerverschiebung eindeutig und muss nicht durch Hilfsmessungen ermittelt werden.
3. Starke Targets außerhalb des nominellen Fokusbereichs (z.B. Wolkenuntergrenze) mit gegebenenfalls anderer Geschwindigkeit als im Fokusbereich werden als solche erkannt. Die Spektralanalyse gestattet auch in diesen Fällen eine unverfälschte Bestimmung der Geschwindigkeit im Fokusbereich.
4. Die Entfernung und Ausdehnung des Fokusbereichs hängen von der präzisen optischen Justierung des Teleskops und der Qualität der optischen Komponenten ab. Während diese Eigenschaften beim nicht-modulierten CW-Lidar nur aufwändig durch Labormessungen indirekt überprüft werden können, können hier beide Parameter unabhängig und robust im laufenden Messbetrieb kontinuierlich überwacht werden.

Das Prinzip wird näher beschrieben, erste Feldmessungen werden vorgestellt und Vergleiche mit Ultraschallanemometern von mittlerem Wind und Standardabweichung der Vertikalkomponente werden gezeigt.

## **Der Zusammenhang von Wind und Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste**

Jürgen Holfort, Ines Perlet, Bärbel Weidig, and Sandra Schwegmann  
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Rostock, Germany (juergen.holfort@bsh.de)

Im Jahr 1956 bestimmten Sager und Mielke empirische Windstaurosen für den Wasserstand in Warnemünde. Obwohl für die Wasserstandsvorhersage jetzt numerische Modelle eingesetzt werden, können aus empirischen Windstaurosen immer noch wichtige Erkenntnisse gezogen werden. Welches ist die effektivste Windrichtung für das Auftreten einer Sturmflut? Und welche geographischen Regionen sind dabei wichtig? Eine erste Analyse der Korrelation zwischen Wind (NCEP-Reanalyse) und Wasserstand bei Warnemünde zeigte - die schon vorher empirische bekannte Tatsache - dass der Wind über der südlichen Ostsee für das Auftreten von extremen Wasserständen (z.B. Sturmfluten) wichtiger ist als der lokale Wind bei Warnemünde. Solche Zusammenhänge können auch benutzt werden um auf einfache Weise mögliche zukünftige Änderungen der Sturmfluthöhe oder Sturmfluthäufigkeit aus Klimasimulationen zu bestimmen.

Auf europäischer Ebene existieren aber schon höher aufgelöste Reanalysen (z.B. UERRA - Uncertainties in Ensembles of Regional ReAnalysis). Den Wind aus diesen Reanalysen benutzen wir um an jeden Punkt in der westlichen und südlichen Ostsee die Windstaurosen für verschiedene Pegelstandorte an der deutschen Ostseeküste sowie für verschiedene Zeitverschiebungen zu berechnen. Aus den Ergebnissen präsentieren wir Korrelationskarten, aus denen zu erkennen ist, welche Regionen für die Änderungen des Wasserstands besonders wichtig sind. Zusätzlich zu dieser empirischen Analyse des gesamten Zeitraums zeigen wir auch Resultate für Sturmflutszenarien.



## Schmelzschichterkennung mit einem Mikro-Regenradar

Maren Brast and Piet Markmann

Metek Meteorologische Messtechnik GmbH, Germany

Die Schmelzschichthöhe ist vor allem für die Flugmeteorologie eine wichtige Größe für die Ermittlung der Niederschlagsart und dabei insbesondere der gefrierenden Niederschläge. Eine neue robuste Methode, aus den Daten des Mikro-Regenradars (MRR) die Höhe der Schmelzschicht zu bestimmen, wird vorgestellt. Das MRR ist ein kleines FMCW Radar, das vertikal die Doppler Spektren des Niederschlags misst. Aus diesen Spektren können verschiedene Größen abgeleitet werden, wie zum Beispiel die Regenrate oder die spektrale Breite. Die Detektion der Schmelzschicht aus Radarmessungen ist möglich, da in dieser Schicht eine erhöhte Reflektivität auftritt. Sie kommt dadurch zustande, dass die langsam fallenden Schneeflocken zuerst am Rand schmelzen und dadurch mit einer sehr dünnen Wasserschicht bedeckt sind, welche das Radar als sehr große Regentropfen wahrnimmt, da Wasserstropfen stärker reflektieren als Eis. Wenn die Schneeflocke komplett geschmolzen ist, sinkt die Tropfengröße und damit auch die Reflektivität. Die Schmelzschichthöhe wird bestimmt mit Hilfe eines neuronalen Netzes, das ausführlich mit Daten von zwei Standorten trainiert worden ist. Für dieses Training ist die Kenntnis der korrekten Schmelzschichthöhe notwendig, die manuell aus den Daten bestimmt wurde. Die durch das neuronale Netz bestimmte Schmelzschichthöhe wurde für Daten von zwei Standorten in allen Jahreszeiten geprüft. Das trainierte Netz ist in fast allen Fällen sehr gut in der Lage, die Höhe der Schmelzschicht zu erkennen.

## Messtechnische Charakterisierung eines miniaturisierten Eddy-Kovarianz Systems für die Messung fühlbarer und latenter Wärmeströme

Luise Wanner, Wolfgang Junkermann, and Matthias Mauder

Karlsruhe Institute of Technology KIT/IMK-IFU, Institute for Meteorology and Climatology - Atmospheric Environmental Research, Garmisch-Partenkirchen, Germany (matthias.mauder@kit.edu)

Um die Eignung eines miniaturisierten Eddy-Kovarianz (EK) Systems für die Messung von fühlbaren und latenten Wärmeflüssen in der atmosphärischen Grenzschicht zu testen, wurde es eine Woche lang neben einem herkömmlichen EK-System (CSAT3B, Campbell Scientific & LI-7500RS, Licor Biosciences) auf einem 12 Meter hohen Mast betrieben. Das miniaturisierte EK-System besteht aus dem TriSonica Mini (Anemoment) und einem neu entwickelten Taupunktspiegelhygrometer, das aufgrund seiner geringen Größe eine sehr kurze Ansprechzeit hat. Dieser Vergleich fand im Rahmen der MOSES (Modular Observation System for Earth Systems) Test-Messkampagne im Juli 2018 nahe Jülich in einem flachen, landwirtschaftlich genutzten Gebiet statt. Die Messungen beider EK-Systeme wurden mit der TK3 Software verarbeitet und anschließend verglichen. Der Vergleich zeigt, dass die Vertikalwindmessungen des TriSonica Mini deutlich geringere Varianzen aufweisen als die des CSAT3B, weshalb die resultierenden fühlbaren und latenten Wärmeflüsse vom miniaturisierten EK-System unterschätzt werden. Die Varianzen des Horizontalwinds sind hingegen sehr ähnlich. Das legt nahe, dass die Ursache für geringere Varianzen im Vertikalwind eine generelle Dämpfung durch die Bauform des TriSonica Mini ist und nicht etwa eine zu langsame Messung oder Datenverarbeitung. Die Messungen des Taupunktspiegelhygrometers weisen im Vergleich zum LI-7500RS zeitweise sehr große Varianzen der Luftfeuchtigkeit auf. Eine Betrachtung der Zeitreihen aus Feld- und zusätzlichen Labormessungen zeigte, dass das Messsignal während des Feldexperiments für etwa ein Drittel der Messperiode durch äußere Störfrequenzen überlagert wurde. Die Ursache für diese Störungen konnte nicht eruiert werden. Im Labor trat dieses Phänomen nicht auf. Für das neue Taupunktspiegelhygrometer wurde zudem eine Analyse der Turbulenzspektren zur empirischen Ermittlung der Transferfunktion durchgeführt. Sie wird zur Korrektur der spektralen Verluste im hochfrequenten Bereich benötigt. Die Betrachtung verschiedener relativer Luftfeuchtigkeitsklassen ergab außerdem, dass die Dämpfung der Spektren im hochfrequenten Bereich nicht von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängt. Durch einen zusätzlichen Versuchsaufbau wurde außerdem auch das Ansprechverhalten des Taupunktspiegelhygrometers auf eine sprunghafte Änderung im Labor untersucht.

## **Langzeitmessungen reaktiver anorganischer Spurengase an der GAW Globalstation Hohenpeißenberg**

Robert Holla, Christian Plaß-Dülmer, Stefan Gilge, Annika Kuß, and Dagmar Kubistin  
Deutscher Wetterdienst, Luftchemie - GAW, Hohenpeißenberg, Germany (robert.holla@dwd.de)

Seit 1995 werden am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg im Rahmen des Global Atmosphere Watch-Programms (GAW) der WMO routinemäßig Messungen der wichtigsten atmosphärischen anorganischen Spurengase durchgeführt. Die Messungen umfassen Ozon ( $O_3$ ), Kohlenstoffmonooxid (CO), Schwefeldioxid ( $SO_2$ ), Stickstoffmonooxid (NO), -dioxid ( $NO_2$ ) und höher oxidierte Stickstoffoxide ( $NO_y$ ). Diese Gase stehen in enger Wechselwirkung untereinander und haben entscheidenden Einfluss auf die Chemie der Hydroxyl- (OH) und Hydroperoxid-Radikale ( $HO_2$ ) und damit auf die Oxidationskapazität der Atmosphäre. Sie sind in zahlreiche weitere atmosphärenchemische Prozesse involviert, die unter anderem auch klimawirksam sind. Darüber hinaus sind die Spurengase in Abhängigkeit ihrer Konzentration direkt oder indirekt gesundheitlich relevant.

Das Meteorologische Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes bildet zusammen mit der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (Messungen dort überwiegend durch das Umweltbundesamt) die Globalstation „Zugspitze / Hohenpeißenberg“ im Global Atmosphere Watch (GAW) Programm der WMO. Die weltweit ca. 40 Global- und ca. 300 Regionalstationen des GAW-Programms liefern sogenannte Hintergrundmessungen zur chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre. Ziel des GAW-Programms ist es auch, kleine Änderungen in der Zusammensetzung möglichst frühzeitig zu erkennen, dadurch atmosphärische Prozesse besser zu verstehen und – wenn erforderlich und möglich – rechtzeitig gegenzusteuern bzw. die Wirkung von bereits in Kraft getretenen politischen Maßnahmen überprüfen zu können.

Diese Rahmenbedingungen setzen einen hohen Anspruch an Nachweisgrenze, Präzision und Genauigkeit voraus. Die Messungen am Hohenpeißenberg sind repräsentativ für mitteleuropäische Hintergrundkonzentrationen.

Wir vergleichen die Daten aktuellerer Jahre mit denen des letzten Jahrzehnts und derer seit 1995. Wir bewerten, ob signifikante Trendänderungen festzustellen sind und setzen diese in Beziehung zu außergewöhnlichen meteorologischen Ereignissen oder demographischen Entwicklungen der Region. Besonderes Interesse liegt dabei auf dem Einfluss durch das Wachstum des Großraums München auf die Stickoxidkonzentrationen und die Auswirkungen des Jahrhundertsommers 2018 auf die Ozonkonzentrationen.



## **Bewertung von GPM DPR Niederschlagsprodukten mit bodengebundenen Radarschätzungen von RADOLAN über Deutschland**

Velibor Pejčic, Kai Mühlbauer, Pablo Saavedra, Silke Trömel, and Clemens Simmer

Universität Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Meteorologie, Germany (velibor@uni-bonn.de)

Der Mission des Erdbeobachtungssatelliten Global Precipitation Measurement (GPM) ist die Messung globaler Niederschläge, sowie ein besseres Verständnis des globalen Wasserkreislaufs, der mesoskaligen Dynamik und der Niederschlagsmikrophysik.

Als Nachfolger des Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ist GPM erstmalig mit einem Dualfrequenz-Niederschlagsradar (DPR) ausgerüstet und misst bei 13.6 GHz (Ku-band) und 35.5 GHz (Ka-band). Das DPR klassifiziert Hydrometeorphasen, Niederschlagstypen und liefert detaillierte Informationen über die Lage und Dicke der Schmelzschicht sowie die Sturmhöhe.

Diese Niederschlagsinformationen werden benutzt um die Vorhersage von Wetterextremen zu verbessern, die Fähigkeiten der numerischen Wetterprognose zu verfeinern und Frühwarnsysteme für verschiedene Naturgefahren zu steuern. Darum ist es notwendig weltraumgestützte Messungen, wie die des GPMs, zu bewerten und ihre Unsicherheiten zu quantifizieren.

In den vorgestellten Analysen werden sowohl das YW- als auch das RY-RADOLAN Komposit des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet um DPR Niederschlagsschätzungen zu evaluieren.

Die Ergebnisse zeigen eine eindeutige Unterschätzung flüssigen und festen stratiformen Niederschlags durch den DPR. Analoges gilt für konvektive Niederschläge größer 2 mm/h. Geringere konvektive Niederschlagsintensitäten werden durch den DPR überschätzt. Die besten Korrelationen ergeben sich beim Vergleich von stratiformen Regenereignissen in flüssiger Form ( $r=0.65$ ). Die niedrigsten Korrelationen ( $r=0.38$ ) werden für flüssige konvektive Niederschläge beobachtet. In weiteren Vergleichen der DPR Regenraten werden zusätzlich die genauen Messhöhen der Produkte betrachtet um sehr hohe vertikale Messabweichung und unterschiedliche Lagen zur Schmelzschicht als Fehlerquelle zu eliminieren.

## Langzeitmessungen der OH-Reaktivität an der GAW Station Hohenpeißenberg

Jennifer Muller, Christian Plaß-Dülmer, Thomas Elste, Anja Claude, Robert Holla, Matthias Lindauer, Stefan Gilge, and Dagmar Kubistin

Deutscher Wetterdienst, Hohenpeißenberg, Germany (Jennifer.Mueller-Williams@dwd.de)

Die OH-Reaktivität ist eng an die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre gekoppelt und ist von besonderem Interesse, weil sie die Lebenszeit vieler Spurengase in der Atmosphäre mitbestimmt. Der daraus folgende Einfluss auf den Klimawandel und die Luftqualität bestimmt somit auch unsere Lebensqualität.

Als wichtigstes Oxidationsmittel in der Troposphäre spielt das Hydroxyl-Radikal (OH) eine zentrale Rolle und trägt maßgeblich zur Selbstreinigungskraft der Atmosphäre durch den Abbau von zum Teil schädlichen Spurengasen bei. Aufgrund seiner extrem hohen Reaktionsfreudigkeit hat das OH-Radikal generell atmosphärische Verweilzeiten von weniger als einer Sekunde. Der Kehrwert der OH-Verweilzeit, d.h. die OH-Gesamtverlustrate ( $k_{OH}$ ), entspricht der OH-Reaktivität ( $s^{-1}$ ).

Langzeitmessungen der OH-Reaktivität werden am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg (MOHp) als ein Teil des WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Programms seit 2009 durchgeführt. Das Messsystem CIMS (Chemische Ionisation Massenspektrometrie) ist seit 1999 am MOHp für OH und Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) Konzentrationsmessungen im Einsatz und eine neue Methode für OH-Reaktivitätsmessungen wurde später entwickelt und hinzugefügt.

Das Observatorium liegt im Bayerischen Alpenvorland, umgeben von Wiesen und Wäldern und ist repräsentativ für zentraleuropäische ländliche Regionen, wo sich die OH-Reaktivität typischerweise unter  $15 s^{-1}$  befindet. Die OH-Reaktivitätsmessungen werden mit berechneten Werten von OH-Reaktivität verglichen, die aus den gleichzeitig laufenden Spurengasmessungen ermittelt werden. Zu den reaktiven Spurengasen gehören anorganische Verbindungen wie CO, NO,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$  und organische Verbindungen wie  $CH_4$  und ca. 80 flüchtige Kohlenwasserstoffe wie z.B. Ethen, Isopren und oxidierte Kohlenwasserstoffe wie Acetaldehyd. Veränderungen der OH-Reaktivität, "fehlende Reaktivität" in Form von ungemessenen bzw. unbekanntem Spezies und deren treibende Faktoren, wie z.B. atmosphärische Dynamik, regionale Quellen von OH-Reaktanten usw. werden unter dem Aspekt der täglichen, jahreszeitlichen und jährlichen Zyklen untersucht. Um die Potenziale dieser Langzeitmessungen aufzuzeigen, wird die OH-Reaktivität am MOHp auch im Hinblick einer chemischen Klimatologie betrachtet.

## **Atmosphärische Bedingungen und konvektionserlaubende Hindcast-Simulationen des Winterderechos am 3. Januar 2014 über Westeuropa**

Luca Mathias (1), Patrick Ludwig (2), and Joaquim G. Pinto (2)

(1) Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, (2) Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Department Troposphäre, Karlsruhe, Deutschland (joaquim.pinto@kit.edu)

Ein linear organisiertes mesoskaliges konvektives System (klassifiziert als Winterderecho) sorgte am 3. Januar 2014 für schwere Sturmböen in Teilen von Westeuropa. Winterderechos entwickeln sich meist entlang der Kaltfronten extratropischer Zyklonen. In dem hier betrachteten Fall bildet sich das Derecho innerhalb einer postfrontalen Luftmasse, begünstigt durch die Existenz eines baroklinen Bodentrogs und großskaliger Hebungsprozesse. Zusätzlich herrschte in der unteren Troposphäre latente Instabilität sowie starke vertikale Windscherung; beides entscheidende Faktoren für die Ausbildung organisierter konvektiver Strukturen. Im Rahmen dieser Studie soll untersucht werden, warum das Derecho mit seinen schweren Sturmböen von den operativen Wettermodellen nur unzureichend vorhergesagt wurde und inwieweit Anfangs- und Randbedingungen hierauf einen Einfluss haben. Hierzu wurden mit Hilfe unterschiedlicher Datensätze hochaufgelöste konvektionserlaubende Simulationen (7 km bzw. 2,8 km Gitterweite) mit dem COSMO-CLM durchgeführt. Es zeigt sich, dass das die Zugbahn und Stärke des Derechos unter Verwendung von ERA5-Reanalysen gut wiedergegeben werden kann; für Anfangs- und Randbedingungen basierend auf ERA-Interim Reanalysen und ECMWF-Analysen ist dies nicht der Fall. Zusätzlich zeigt sich, dass die Intensität des Derechos in Simulationen mit noch höherer Auflösung (1,1 km Gitterweite) im Vergleich mit Beobachtungen besser wiedergegeben wird. Diese Fallstudie zeigt, dass für derartige Ereignisse in Zukunft hochaufgelösten Ensemble-Simulationen eine wichtige Rolle spielen werden, um Fehler bzw. Ungenauigkeiten in den initialen atmosphärischen Feldern zu berücksichtigen.

## SQuAD – eine liniengemittelte Messmethode für die Advektion von Treibhausgasen

Astrid Ziemann (1), Claudia Schütze (2), and Manuela Starke (1)

(1) TU Dresden, Professur Meteorologie, Tharandt, Germany (astrid.ziemann@tu-dresden.de), (2) Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Abteilung Hydrosystemmodellierung, Leipzig, Germany (claudia.schuetze@ufz.de)

Eine Schließungslücke der Energiebilanz wird an allen Stationen in globalen Messnetzwerken beobachtet, trotz der Anwendung notwendiger Korrekturen und Umrechnungen von Messdaten. Mit dieser ungeschlossenen Energiebilanz sind auch signifikante Konsequenzen für die Unsicherheit von Stoffbilanzmessungen wichtiger Treibhausgase (THG's), z.B. von CO<sub>2</sub>, verbunden. In diesem Zusammenhang wird die Advektion mit ihren Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>-Bilanzmessungen als bedeutsamer Prozess insbesondere für den nächtlichen Austausch diskutiert. Die Entwicklung geeigneter und validierter Messmethoden zur Bestimmung der Advektion ist nach wie vor ein aktuelles Untersuchungsthema in der Grenzschichtforschung.

Bodengebundene Fernmessverfahren eignen sich besonders für räumlich repräsentative Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Windkomponenten innerhalb ein- und desselben Luftvolumens. Zu diesem Zweck wurde das Messkonzept SQuAd (Spatially resolved Quantification of the Advection influence on the balance closure of greenhouse gases) als eine integrierte Kombination akustischer und optischer Messungen entwickelt. Diese innovative Verknüpfung bodengebundener Fernmessverfahren der akustischen Tomografie (A-TOM) und Open-Path-Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie (OP-FTIR) ermöglicht eine Erweiterung von Eddy-Kovarianz Messungen. Das SQuAd-Konzept wurde mit einem ca. 100x100 m<sup>2</sup> großen Messaufbau im Sommer 2016 auf einer ausgedehnten Wiesenfläche des FLUXNET-Messgeländes Grillenburg getestet.

Ergebnisse dieser Messkampagne zeigen besonders hohe Advektionswerte während stark stabiler Schichtung sowie eine mittlere nächtliche CO<sub>2</sub>-Horizontaladvektion von ca. 10 μmol/(m<sup>2</sup> s). Dieser Wert bezieht sich auf die liniengemittelten Messungen der Windgeschwindigkeit bzw. CO<sub>2</sub>-Konzentration mit den Verfahren A-TOM bzw. OP-FTIR. Unsicherheiten dieser Messungen wurden systematisch untersucht und quantifiziert. Die maximale Unsicherheit für die CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde in Abhängigkeit von den Umgebungsparametern, Geräte- und Sensoreigenschaften sowie des Analysealgorithmus zu 30% des Einzelmesswertes bestimmt. Für die momentanen Messwerte der Windkomponenten wurde eine maximale Unsicherheit von 0,3 m/s berechnet. Dieser Wert wird maßgeblich durch das Sampling der akustischen Signale, die Signalanalyse sowie verschiedene Umgebungseinflüsse bei der Schallausbreitung beeinflusst. Infolge Mittelung der Einzelmessungen über den standardmäßig angewendeten Zeitraum für turbulente Flussmessungen von 30 min verringert sich der Standardfehler für den Mittelwert um einen Faktor von mindestens 0,5 für die OP-FTIR- bzw. 0,1 für die A-TOM-Messungen. Diese Validierung der unabhängigen, räumlich mittlenden Messverfahren unterstreicht die Eignung des SQuAd-Messkonzeptes für die Quantifizierung advektiver Flüsse von THG's.

## **Entwicklung eines integrierten Messsystems für Segelflugzeuge zur Charakterisierung von Wind und Turbulenz in der freien Atmosphäre**

Norman Wildmann (1), Klaus Ohlmann (2), Andreas Dörnbrack (1), and Markus Rapp (1)

(1) German Aerospace Center (DLR e.V.), Institute of Atmospheric Physics, Oberpfaffenhofen, Germany (norman.wildmann@dlr.de), (2) Aérodrôme de Serres, La Bâtie Montsaléon, France

In-situ-Messungen von Wind und Turbulenz in der freien Atmosphäre haben eine lange Tradition in der Meteorologie. Plattformen, die für meteorologische Messungen genutzt werden, erstrecken sich von Ballons über unbemannte Flugzeuge bis hin zu Forschungsflugzeugen mit umfassender Instrumentierung. Auch Segelflugzeuge wurden bereits eingesetzt, um Messungen von Wind, Temperatur und Luftfeuchte durchzuführen. Ein großer Vorteil ist ihre Flexibilität, Messungen sowohl in niedrigen wie auch in größeren Höhen mit relativ geringen Kosten durchführen zu können. Unter Bedingungen von starken Schwerewellen, die z.B. bei der Überströmung von Gebirgen ausgelöst werden, können leicht mehrere Kilometer Höhe mit Segelflugzeugen erreicht und lange Distanzen zurückgelegt werden.

Um die atmosphärischen Bedingungen während solcher Flüge genau zu quantifizieren und hochaufgelöste Turbulenzmessungen durchzuführen, wurde ein meteorologisches Sensorpaket entwickelt. Das System besteht aus einer Strömungssonde, einer inertialen Messeinheit sowie aus Druck-, Temperatur- und Luftfeuchtesensoren. Die Kombination dieser Sensoren erlaubt die Berechnung des dreidimensionalen Windvektors und dessen turbulente Fluktuationen in Skalen von wenigen Metern. Das Flugverhalten und die Flugstrategie bei Wellenflügen mit einem Segelflugzeug stellt einige Herausforderungen an die Messtechnik, die in dieser Arbeit berücksichtigt werden. So kann nicht von Messflügen mit konstanter Fluggeschwindigkeit, konstanter Flughöhe und geringen Rollwinkeln ausgegangen werden. Um die für die Windmessung entscheidenden Größen der Lagewinkel auch in dynamischen Flügen genau zu bestimmen, wurde ein System mit zwei GPS-Antennen auf dem Flügel des Seglers installiert. Der weite Machzahlbereich von 0.025 bis 0.2, der mit einem Segelflugzeug erreicht werden kann, erforderte die Kalibrierung der Strömungssonde für verschiedene, vorgegebene Geschwindigkeiten im Windkanal und die Validierung mit speziellen Manövern im Flug. Mithilfe von Spektren und Strukturfunktionen der thermodynamischen Größen kann die räumliche Auflösung der Sensoren analysiert werden und die Eddy Dissipation Rate (EDR) berechnet werden.

Für ausgewählte Flüge mit dem Messsystem werden Vertikalprofile von Wind, Temperatur und Feuchte präsentiert und mit meteorologischen Analysen verglichen.



## **Near Real Time services for supporting Maritime Situation Awareness with Sentinel-1 satellite: observation of surface wind, sea state and coastal processes**

Andrey Pleskachevsky (1), Sven Jacobsen (1), and Egbert Schwarz (2)

(1) German Aerospace Center (DLR), Maritime Safety and Security Lab Bremen, Germany, (2) German Aerospace Center (DLR), National Ground Segment, Neustrelitz, Germany

Innovative algorithms for Sentinel-1 (S1) satellite allow daily observations of meteo-marine parameters, tracking of storm propagation, study of local sea state variability and coastal processes. Several minutes after acquisition, the produced data with geo-coded information on wind speed and wave height can be transferred to the weather services for validation of the forecasting models worldwide. The different kind of data like coastline, wave height, surface wind speed, ice coverage, oil spills etc. can be processed in parallel for the same satellite image and combined with other information (e.g. model results, ship traffic) for supporting Maritime Situation Awareness (MSA). The algorithms currently developed for this purpose are integrated into a prototype processor for Sentinel-1 imagery. The DLR Ground Station Neustrelitz applies this prototype as part of a near real-time demonstrator MSA service. The presented scientific service involves daily provision of surface wind and sea state fields estimated fully automatically from S1 Wide Swath Mode (IW) Synthetic Aperture Radar (SAR) images of North and Baltic Sea. S1 IW covers area-strips of thousand kilometres of earth and ocean surface with a resolution of 10m by sequences of multiple individual IW images with an approximate size of 200km×250km. The NRT processing has been also applied by supporting a research ship cruise in the Antarctic Sea.

## Repräsentativität von Luftschadstoffkonzentrationen in Hamburg

Vivien Voss, K. Heinke Schlünzen, and David Grawe

Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, CEN, Germany (vivien.voss@studium.uni-hamburg.de)

Die Luftqualität ist für die Lebensqualität in Städten von großer Bedeutung. Die Einhaltung von Grenzwerten dient im Interesse der Menschen und diese zu überwachen ist die Aufgabe der zuständigen Umweltbehörden. Das Messnetz zur Erfassung der Luftqualität ist aufgrund hoher Betriebskosten sehr dünn. Die Verwendung von Low-Cost-Sensoren zur flächendeckenden Messung der Luftqualität wird durch Citizen-Science-Initiativen gefördert und kann das bestehende Netz ergänzen.

In dieser Arbeit wurden die Messungen zu Feinstaubkonzentrationen der Komponenten PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> über einen einjährigen Zeitraum untersucht. Verwendet werden dazu die Messungen von den Stationen der Citizen-Science-Initiative luftdaten.info. Ausgewählt wurden mehrere Stationen in der Nachbarschaft der Hamburger Luftmessstationen Habichtstraße und Max-Brauer-Allee. Ziel dieser Arbeit ist es, die Abweichungen in den Ergebnissen der Messungen zu quantifizieren und die Qualität der Messungen der Low-Cost-Sensoren zu beurteilen. Die Vergleiche werden mit Regressionsanalysen für das ganze Jahr und die Jahreszeiten, sowie die mittleren Tages- und Wochengänge durchgeführt, um ggf. systematische Unterschiede zu erkennen.

Die meteorologischen Bedingungen während des Betrachtungszeitraum wurden ebenfalls berücksichtigt, um den Einfluss der Meteorologie auf die Ähnlichkeiten und Unterschiede in den verschiedenen Messungen beurteilen zu können. Mit dem mikroskaligen, nicht-hydrostatischen Modell MITRAS wird für zwei idealisierte Modellgebiete die Ausbreitung von Stoffen aus Verkehrsemissionen simuliert, um die Ergebnisse der simulierten Konzentrationsverteilungen und insbesondere die lokalen Repräsentativität an einzelnen Gitterpunkten mit den Unterschieden in den Messdaten flächendeckend vergleichen zu können.

Literatur:

Voss V., 2018. Repräsentativität von Luftschadstoffkonzentrationen in Hamburg., Masterarbeit in Vorbereitung

## Das WindForS-Forschungstestfeld in bergig-komplexem Gelände

Andreas Rettenmeier, Florian Haizmann, Jan Anger, Frank Musiol, and Maike Schmidt

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), Systems Analysis / Team Wind Energy, Germany  
(andreas.retteneier@zsw-bw.de)

Das süddeutsche Windenergieforschungscluster WindForS errichtet derzeit eine weltweit einmalige Windenergie-Forschungsplattform im Rahmen des Landesvorhabens WINSSENT-BW (FKZ L75 16012) und des Bundesvorhabens WINSSENT (FKZ 0324129A-F) an einem Standort in bergig-komplexem Gelände. Beide Projekte sowie der spätere Betrieb des Forschungstestfeldes wird vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) aus koordiniert und geleitet. Parallel zu den technischen Forschungsvorhaben wird auch ein umfangreiches begleitendes Naturschutzvorhaben, gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN), am Testfeld durchgeführt.

Der Standort des Forschungstestfelds, welcher im Rahmen des vom BMWi geförderten Vorhabens KonTest (Förderkennzeichen 0325656 A-D) nahe der Ortschaft Stötten (Geislingen an der Steige) identifiziert wurde, zeichnet sich vor allem aufgrund der Lage auf einer unbewaldeten, exponierten Hochfläche stromab einer Geländesteilstufe aus. Durch die Steilstufe herrschen entsprechend höhere Windgeschwindigkeiten, Turbulenz und Schräganströmung. Die jahreszeitliche Änderung der Vegetation am Albrauf beeinflusst die Strömungseigenschaften zusätzlich.

Zwei Forschungs-Windenergieanlagen (FWEA) mit einer Nennleistung von jeweils 750 Kilowatt und einer Nabenhöhe von 73 Metern sollen im Zuge von WINSSENT errichtet und in Betrieb genommen werden. Ihr Rotordurchmesser beträgt 54 Meter, die Gesamthöhe damit 100 Meter. Zu den Alleinstellungsmerkmalen der FWEA zählt, dass die Wissenschaftler uneingeschränkter Zugriff auf die komplette Regelungs- und Steuerungstechnik sowie die Konstruktionsdaten der Anlagen haben, um deren Verhalten genauestens analysieren zu können.

Neben technologischen Erprobungen und Untersuchungen an den FWEA wird besonderer Wert auf die permanente Erfassung meteorologischer Größen am Testfeld und in der nahen Umgebung gelegt. Im Besonderen sind hier die mikroklimatischen Einflüsse und der Einfluss der Topographie auf den Wind - und damit letztlich auf die Windenergieanlagen - ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt. Vor und hinter jeder Anlage ist jeweils ein 100 Meter hoher Messmast geplant, an denen meteorologische Parameter zeitlich hoch aufgelöst gemessen werden. So werden in unterschiedlichen Höhen über Grund Windgeschwindigkeit und -richtung mithilfe von Schalenkreuzanemometern und Windfahnen sowie mit Multi-Path Ultraschallsensoren erfasst. Weitere Messgrößen am Mast sind Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Luftdruck, Sichtweite und Strahlung. Zwei der vier Messmasten sind bereits errichtet und instrumentiert.

Drei Lidar-Systeme welche im Umfeld des Teststandorts installiert werden erfassen zusätzlich die Windströmung vor und hinter den FWEA. Als synchronisiertes Ensemble können die Lidar-Geräte als virtueller Messmast ausgeführt werden und auch weit vor der Geländesteilstufe oder direkt hinter den FWEA die Strömung messen. Ergänzt werden die verschiedenen Messungen zudem durch unbemannte Messflugzeuge des WindForS Partners der Universität Tübingen und durch drei Eddy-Kovarianz-Stationen, welche Energie- und Massenflüsse am Testfeldstandort erfassen.

Als Forschungs- und Entwicklungsplattform soll das Testfeld im Zuge zukünftiger Vorhaben sowohl Natur- als auch Ingenieurwissenschaftlern zur Verfügung stehen.

## Skalenunterschiede von meteorologischen Größen für die Hitzebelastung in Städten

Astrid Ziemann (1), Valeri Goldberg (1), Michael Haller (2), and Christian Bernhofer (1)

(1) TU Dresden, Professur Meteorologie, Tharandt, Germany (astrid.ziemann@tu-dresden.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Zentrales Klimabüro, Offenbach, Germany (michael.haller@dwd.de)

Steigende Hitzebelastung ist eine markante Wirkung des Klimawandels v. a. in thermisch kritischen Gebäudetypen, aber auch in Freiräumen stark verdichteter Stadtquartiere. In diesem Zusammenhang ergeben sich neue und miteinander gekoppelte Fragen nach der Klimaresilienz von Städten einschließlich der Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität und Attraktivität von Quartieren aus Bewohnerperspektive.

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „HeatResilientCity (HRC)“ werden die aktuellen und zukünftigen klimatischen Eingangsgrößen für ausgewählte Beispielquartiere in den Städten Dresden und Erfurt für verschiedene Impaktmodelle (thermische Belastung von Bewohner, Klimawirkungen auf Gebäude, Anforderungen an haustechnische Systeme, Leistungsfähigkeit städtischer Ökosysteme) aufbereitet. Aus der Analyse dieser Modellergebnisse sollen innovative Anpassungsoptionen entwickelt und insbesondere beim Gebäudeumbau und der Gestaltung von Freiräumen umgesetzt werden.

Ziel des Teilprojektes der TU Dresden ist es, ein quartiersbezogenes Downscaling regionaler Klimadaten für Dresden und Erfurt auf Basis von Beziehungen zwischen Stadtstrukturparametern und Klimagrößen durchzuführen. Dazu wird der lokale Effekt der Stadtstrukturen (Gebäude, Straßenzüge, Stadtgrün) auf das Mikroklima ausgewählter Stadtquartiere bestimmt.

Für die Bewertung des regionalen Wärmeinsel- und Stadtklimaeffektes stehen Daten des Klimamodells COSMO-CLM (CCLM) aus Klimasimulationen des DWD mit der Gitterweite von 2,8 km zur Verfügung. Diese Daten umfassen alle Größen, die auch für die Bestimmung der thermischen Belastung von Stadtbewohnern betrachtet werden müssen: kurz- und langwellige Strahlungsflüsse, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit. Darüber hinaus werden aus diesen Datensätzen für 30-Jahres-Zeiträume der nahen Vergangenheit (1981-2010) bzw. Zukunft (2021-2050) mittlere bzw. extreme Referenzperioden bezüglich des Wärmeinseleffektes und damit einer zusätzlichen Hitzebelastung für die Stadtbewohner abgeleitet. Diese mesoskaligen Datensätze werden als Eingangsdaten für mikroskalige Simulationen mit dem Stadtklimamodell ENVI-met in einem Stadtviertel von Dresden verwendet, um die lokale Ausprägung der Hitzebelastung im Stadtquartier Gorbitz in Abhängigkeit von den Stadtstrukturen abzubilden.

Ein Vergleich mit bisher vorliegenden empirischen Ansätzen zur Bestimmung des Wärmeinseleffektes führt zukünftig neben der Einbeziehung von Messdaten zur Ableitung eines statistischen Modells, um die lokale Modifikation des Wärmeinseleffektes aus Klimamodelldaten in Abhängigkeit von mikroskaligen Strukturparametern zu bestimmen. Anhand der gewählten Methoden sollen Skalenabhängigkeiten bei der Quantifizierung der Hitzebelastung in Städten aufgezeigt werden.

## **Berechnung von Karten der Vitamin D gewichteten Exposition eines Menschen in Berlin mit PALM-4U**

Michael Schrempf (1), Nadine Thuns (1), Kezia Lange (2), Farah Kanani-Sühring (1), Tobias Gronemeier (1), and Gunther Seckmeyer (1)

(1) Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland, (2) Institut für Umweltphysik, Universität Bremen, Bremen, Deutschland

Um die Auswirkungen von Orientierung und Hindernissen auf die Exposition eines Menschen zu untersuchen, wurde die Vitamin-D3-gewichtete UV-Exposition eines Menschen mit aufrechter Haltung für verschiedene städtische Standorte berechnet.

Während schon seit längerer Zeit die negativen Aspekte des UV-Anteils der Sonnenexposition erforscht wurden, rücken seit einigen Jahren auch die positiven Aspekte der UV-Exposition durch solare Strahlung für die menschliche Gesundheit in den Fokus aktueller Forschung. Hier spielt vor allem die Vitamin-D3-Synthese durch UV-Exposition des Menschen eine wichtige Rolle. Dabei hat sich gezeigt dass zur Zeit um die Wintersonnenwende nicht möglich ist, durch Sonneneinstrahlung in mittleren Breiten eine ausreichende Versorgung mit Vitamin D3 zu erreichen, während dies im Sommer in wenigen Minuten zur Mittagszeit erreicht werden kann. Niedrige UV-Expositionswerte können jedoch nicht nur im Winter auftreten, sondern auch im Sommer durch menschliches Verhalten wie z.B. dem vorwiegenden Aufenthalt in Innenräumen sowie durch Bekleidung. Weitere Reduktionen der UV-Exposition treten aufgrund von in der Umgebung vorkommenden Hindernissen, z. B. durch Vegetation oder Gebäuden auf. Die Berechnung der Vitamin-D3-gewichtete UV-Exposition eines Menschen in urbanen Umgebungen ist notwendig, um die Frage zu beantworten, ob in Alltagssituationen ein ausreichender Vitamin D3 Status erreicht werden könnte.

Die Exposition des Menschen wurde berechnet, indem die 3D-Geometrie eines Menschen sowie die Strahldichte, also die Strahlungsleistung von direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung aus verschiedenen Einfallswinkel- und Azimutwinkeln, berücksichtigt wurden. Den Himmel verdeckende Hindernisse, wie z.B. Gebäude oder Vegetation, wurden in hoher räumlicher Auflösung aus hemisphärischen Bildern einer Digitalkamera mit Fischaugenobjektiv und aus gitteraufgelösten Gebäude- und Vegetationsdaten abgeleitet. Die meisten bisherigen Expositionsmodelle basieren auf der Bestrahlungsstärke auf einer horizontalen Fläche. Diese Größe sollte jedoch nicht für Expositionsrechnungen verwendet werden, da das Strahlungsfeld des Himmels nur durch eine einzige Zahl beschrieben werden müsste, was die komplexe Realität insbesondere in einer städtischen Umgebung nicht widerspiegelt. Im Gegensatz dazu ermöglicht die multidirektionale Strahldichte die Vernachlässigung einzelner, durch Hindernisse verdeckte, Himmelsrichtungen, was die Bestimmung der Exposition eines Menschen in urbanen Umgebungen ermöglicht.

In dieser Präsentation werden die Ergebnisse der Expositionsrechnungen für verschiedene städtische Umgebungen gezeigt. So ergab z.B. die Berechnung der akkumulierten Vitamin-D3-gewichteten Exposition eines sich in der Mittagspause bewegendes Menschen, dass dessen UV-Exposition durch Gebäude und Vegetation typischerweise um 40% (21. März) und im Sommer um mehr als 50% (21. Juni) reduziert wird. Darüber hinaus werden Vitamin-D3-gewichtete Expositions-karten von Berlin gezeigt, die mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell PALM-4U (Palm 6.0) mit einer gebäudeauflösender Gitterweite von 1m berechnet wurden und eine starke zeitliche Variation aufweisen.

## **Langzeit-Datenreihe (2007 bis 2017) von Eddy-Kovarianz CO<sub>2</sub>- und Energieflüssen der arktischen Bayelva-Station, Spitzbergen**

Katharina Jentzsch (1), Schultz Alexander (2), Lüers Johannes (3), Boike Julia (2,4)

(1) Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, DE-50969 Köln, (2) Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, DE-14401 Potsdam, (3) Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie, DE-95440 Bayreuth, (4) Humboldt-Universität zu Berlin, DE-10099 Berlin

Die Messung von ganzjährigen CO<sub>2</sub>-, Wasser- und Energieflüssen zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre in arktischen Regionen wird bisher nur an wenigen Standorten durchgeführt.

Derartige Messungen sind aber insbesondere insofern relevant, als dass arktische Tundren bedeutende CO<sub>2</sub>-Senken darstellen, unter einem sich erwärmenden Klima möglicherweise aber zukünftig im Permafrost gespeicherten Kohlenstoff freisetzen.

Durch den Einsatz bodengebundener in situ Messungen können Kohlenstoff- und Energiedynamik bilanziert werden. Des Weiteren sind die gemessenen Gas- und Energieflüsse wertvoll für die Kalibration und Validierung globaler Klimamodelle.

Eine Messstation in der europäischen Arktis ist die Bayelva-Messstation (78° 55' N, 11° 50' O) nahe Ny Ålesund auf Spitzbergen. Der starke Einfluss des Nordatlantikstroms führt dort zu einem maritimen Klima mit kühlen Sommertemperaturen von durchschnittlich 5 °C im Juli und relativ milden Wintertemperaturen von -13 °C im Januar. Es handelt sich somit um eine vergleichsweise warme Permafrostregion mit Jahresmitteltemperaturen von etwa -2.5 °C. Der Jahresniederschlag liegt bei etwa 400 mm und die schneefreie Zeit beträgt typischerweise drei Monate.

An der Bayelva-Station fanden von 2007 bis 2017 Messungen von Wasserdampf- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (mittels open-path LiCor LI-7500 CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O Gasanalysierer) sowie dreidimensionale Messungen der Windgeschwindigkeit (mittels Campbell CSAT 3D sonic anemometer) mit einer Messfrequenz von 20 Hz statt. Mithilfe der Eddy-Kovarianz-Software TK3 ermitteln wir hieraus halbstündliche Gas- und Energieflüsse und führen Qualitätsprüfungen durch.

Erste Ergebnisse für das Jahr 2008/2009 zeigen, dass die jährliche CO<sub>2</sub>-Bilanz des Standortes nahezu bei null liegt, was durch die lange, winterliche Freisetzung von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zu erklären ist. Allerdings sind die Prozesse, welche diese winterliche CO<sub>2</sub>-Emission bedingen bisher nicht untersucht.

Unser Ziel besteht daher nun darin, die Analyse der Gas- und Energieflüsse auf den gesamten Messzeitraum von 2007 bis 2017 auszuweiten. Insbesondere für die Zeiträume Oktober 2012 bis August 2014 sowie Januar 2015 bis September 2016 sind die Messreihen nahezu komplett mit Datenlücken von nur wenigen Tagen pro Zeitraum. Auf der Grundlage der entstehenden Langzeit-Datenreihe können wir durch den Klimawandel bedingte Änderungen der CO<sub>2</sub>-Flüsse von zwischenjährlicher Variabilität unterscheiden sowie saisonale und jahreszeitliche Schwankungen bilanzieren. Außerdem ermöglicht es uns der mehrjährige Datensatz die Umstände der ablaufenden Prozesse genauer zu beschreiben und dadurch möglicherweise Rückschlüsse auf deren Auslöser zu ziehen. Im weiteren Verlauf ist es zudem vorstellbar Wechselwirkungen zwischen den beobachteten Gas- und Energieflüssen und weiteren Eigenschaften verschiedener Komponenten des Klimasystems wie zum Beispiel Wolkeneigenschaften zu untersuchen.



## Welchen Einfluss hatte die Stratosphäre auf die Kältewelle im März 2018?

Lisa-Ann Quandt (1), Inna Polichtchouk (2), Hella Garny (3), Joaquim Pinto (1), and Thomas Birner (4)

(1) Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Department Troposphere Research, Germany (lisa-ann.quandt@kit.edu), (2) European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, United Kingdom, (3) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institute of Atmospheric Physics, Oberpfaffenhofen, Germany, (4) Meteorological Institute Munich, University of Munich, Munich, Germany

Mitte Februar 2018 wurde in der Stratosphäre die Aufspaltung des polaren Vortex in zwei Teile beobachtet. Da eine solche Aufspaltung mit einem starken Temperaturanstieg von bis zu 30 K in der mittleren und oberen Stratosphäre einhergeht, ist dieses Phänomen als plötzliche Stratosphärenenerwärmung (engl. sudden stratospheric warming, SSW) bekannt. Im darauf folgenden Monat kam es insbesondere im Norden Europas zu Kälteeinbrüchen. Da bekannt ist, dass SSWs einen Einfluss auf die troposphärische Strömung haben können, haben wir untersucht, inwieweit die Kältewelle in Europa durch die stratosphärischen Bedingungen beeinflusst wurde. Dazu werteten wir subsaisonale Ensemblevorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Vorhersage (EZMW) aus. Wir untersuchten zum einen Ensemblevorhersagen, in denen die Struktur des polaren Vortex unterschiedlich dargestellt wurde, und zum anderen solche, in denen das SSW in allen Ensemblemitgliedern beobachtet werden konnte. Für diese Ensemblevorhersagen untersuchten wir die Variabilität in der troposphärischen Zirkulation sowie die Temperaturentwicklung am Boden mit Fokus auf Nordeuropa.

In der Troposphäre wechselte die Nordatlantische Oszillation (NAO) Ende Februar/Anfang März in die negative Phase. Diese Änderung konnte auch in Vorhersagen, die das SSW-Ereignis zeigten, beobachtet werden, wobei jedoch die Amplitude der Anomalie unterschätzt wurde. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass es Unsicherheiten in der Vorhersage in der Kopplung zwischen Stratosphäre und Troposphäre gegeben haben könnte. Diese Unsicherheiten wirkten sich wiederum auf die Vorhersagbarkeit der Kältewelle in Nordeuropa aus. Die Temperaturen am Boden in Vorhersagen mit SSW wurden bis zu 3 K niedriger vorhergesagt als in Vorhersagen ohne SSW, was auf einen Einfluss der Stratosphäre auf die Temperaturentwicklung am Boden schließen lässt.

## **Bewertung der Niederschläge in den Reanalysen CERA-20C und ERA-20C mit Hilfe von Niederschlagsmesserbeobachtungen**

Elke Rustemeier, Markus Ziese, Anja Meyer-Christoffer, Udo Schneider, Peter Finger, and Andreas Becker  
Deutscher Wetterdienst, Hydrometeorology, Offenbach, Germany (elke.rustemeier@dwd.de)

Die Niederschlagsmenge ist ein schwieriger Parameter für Reanalysemodelle, hat aber auch einen starken Einfluss auf unser tägliches Leben. Da die Niederschläge jedoch nicht in die Reanalyseläufe assimiliert wurden, ist es möglich den vorhergesagten Niederschlag mit unabhängigen Beobachtung zu validieren.

Die Reanalysen ERA-20C Deterministic und CERA-20C (ein Ensemble mit 10 Members) wurden in den Projekten ERA-Clim und ERA-Clim2 erstellt, decken mit ihrem Beginn in 1900 und Ende in 2010 mehr als ein Jahrhundert ab und haben eine räumliche Auflösung von etwa 125 km. Die Reanalysen werden mit dem IFS-Vorhersagemodell des ECMWF erstellt, aber für die CERA-20C Reanalyse wurde das IFS-Atmosphärenmodell zusätzlich mit dem NEMO-Modell für den Ozean und dem LIM2-Modell für Meereis gekoppelt.

Für die Auswertung wurden folgende in-situ-Produkte des Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN) mit globalen Landoberflächenniederschlägen als Referenz verwendet:

Zum Einen die Daten des Full Data Monthly Version 7 (FDM) Produktes von 1901 bis 2013 mit monatlicher Auflösung, zum Anderen das Full Data Daily (FDD) Produkt mit täglicher Auflösung. ERA-20C und CERA-20C wurden in täglicher Auflösung für einen Zeitraum von 23 Jahren (1988-2010) gegen FDD und für Monatssummen für einen Zeitraum von 110 Jahren (1901-2010) gegen FDM mit 1° räumlicher Auflösung verglichen.

Durch jährliche und saisonale Summen kann mittels Korrelations- und Kontingenztabellenwerten ein guter globaler Überblick über die Konsistenz und die Qualität der modellierten Niederschläge gewonnen werden. Climate Change Indizes (ETCCDI) für Niederschläge werden berechnet, um Extremwerte und deren zeitliche Veränderung zu bestimmen. Für detailliertere Untersuchungen wird der tägliche Niederschlag zu Ereignissen zusammengefasst, die auf Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag basieren. Hier wurden nur Gitterpunkte mit mehr als 250 Ereignissen als statistisch ausreichend angesehen, was sehr trockene Gebiete wie die Sahara oder sehr feuchte Gebiete wie Indonesien ausschließt.

Es zeigt sich, dass die Regionen mit den stärksten Unterschieden auch diejenigen mit der geringsten Datenbelegung, Bergregionen mit ihren Luv- und Lee-Effekten oder Monsungebiete sind. Sie alle zeigen eine starke systematische Differenz und Brüche innerhalb der Zeitreihen. Insbesondere in Regionen mit großen Niederschlagsmengen, z.B. in Afrika im ITCZ-Gebiet oder in Indonesien, wurden auf ETCCDI-Diagnosen basierende Unterschiede festgestellt.

Der Gesamtvergleich zeigt räumlich heterogene Ergebnisse mit Gebieten mit guter Übereinstimmung der Datensätze, aber auch Regionen, die noch große Unterschiede zwischen den Datensätzen aufweisen. Zusätzlich zeigen Bereiche mit übereinstimmenden Niederschlagssummen nicht notwendigerweise übereinstimmende Extremwertindizes, auch die Indizes zeigen je nach Region inkonsistente Ergebnisse.

## Numerische Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf die Eigenschaften des Windfeldes in Höhen über 100 m

Manuela Starke (1), Astrid Ziemann (1), and Tina Leiding (2)

(1) Technische Universität Dresden, Germany (manuela.starke@tu-dresden.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Germany

Die Nabenhöhe neu errichteter Windenergieanlagen an Land in Deutschland ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen und erreichte 2017 Höhen von durchschnittlich 128 m. Ein wichtiges Phänomen, das bereits in diesen Höhen unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen zu beobachten ist, sind niedertroposphärische Windmaxima, sog. Grenzschichtstrahlströme (Low Level Jets, LLJ). Zur Quantifizierung des Windfeldes in Höhen über 100 m sind daher einfache Extrapolationstechniken, wie das logarithmische oder das exponentielle Windprofil, nicht mehr anwendbar. Darüber hinaus rücken mit einem Anstieg der Nabenhöhe bisher nur wenig genutzte Areale mit komplexer Vegetation für die Windenergienutzung in den Fokus, wie zum Beispiel Waldgebiete.

Um den Einfluss dieser komplexen Vegetation, sowohl hinsichtlich der Auswirkungen ihrer vertikalen Struktur (Bestandsdichte) als auch ihrer horizontalen Verteilung (Wechsel von Wald und Wiese), auf das Strömungsfeld in Höhen über 100 m über Grund systematisch zu untersuchen und zu quantifizieren, ist der Einsatz geeigneter Modelle erforderlich. Diese müssen in der Lage sein, sowohl die Interaktion zwischen Atmosphäre und Vegetation in geeigneter Weise zu beschreiben als auch nichtstationäre Prozesse (z.B. LLJs) abzubilden.

Ein solches Modell ist das atmosphärische Grenzschichtmodell HIRVAC (High Resolution Vegetation Atmosphere Coupler) in seiner zweidimensionalen Version. In diesem nichthydrostatischen, nichtstationären RANS-Modell wird die Vegetation u.a. in Form vertikaler Profile der Pflanzenflächendichte (Plant Area Density, PAD) parametrisiert. Aufgrund der vergleichsweise geringen Rechenzeit ist es mit diesem Modell möglich, Sensitivitätsstudien zum Einfluss unterschiedlicher Vegetationselemente sowie horizontal inhomogen verteilter Vegetation auf das Strömungsfeld durchzuführen.

Im Beitrag werden Ergebnisse dieser Sensitivitätsstudien vorgestellt. Hierbei wird einerseits gezeigt, wie die atmosphärischen Bedingungen (insbesondere der geostrophische Wind) und die Landnutzung das Auftreten und die Eigenschaften (Intensität, Höhe) von LLJs beeinflussen. Andererseits wird dargestellt, dass sowohl die Eigenschaften der Vegetation (Vertikalstruktur), die Gesamtausdehnung einzelner Landnutzungsarten, aber auch die räumliche Verteilung der einzelnen Vegetationsarten einen maßgeblichen Einfluss auf die Windgeschwindigkeit in Höhen haben, die relevant für Windenergieanwendungen sind. Auf Basis der Untersuchungen ist festzustellen, dass die explizite Berücksichtigung der Vegetationseigenschaften im Umfeld eines Anlagenstandortes (räumlich sowohl horizontal als auch vertikal hoch aufgelöst) eine Verbesserung bei der Prognose von Windgeschwindigkeiten und daraus abgeleiteten Erträgen erlaubt.

## **Einflüsse von Offshore-Windparks in numerischen Modellen auf Wetter und Klima**

Sonja Deckwart, Marita Boettcher, David Grawe, and K. Heinke Schlünzen

Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, CEN, Germany (sonja.deckwart@studium.uni-hamburg.de)

Um den hohen Energiebedarf möglichst umweltfreundlich abzudecken, gewinnen erneuerbare Energien an Bedeutung. Aus diesem Grund ist es wichtig, mögliche Folgen ihres Einsatzes auf Wetter und Klima zu ermitteln. Zur Gewinnung von erneuerbaren Energien werden u.a. Onshore- und Offshore-Windparks installiert. Ihre Auswirkungen können mit numerischen Modellen untersucht werden.

Bei der Windenergie wird kinetische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Der Atmosphäre wird dabei Energie entzogen und kinetische Energie im Nachlauf der Windkraftanlagen erzeugt. Das hat einen erheblichen Einfluss auf das Wetter und das lokale Klima. Um diese Einflüsse zu untersuchen wurde eine Parametrisierung für Windkraftanlagen getestet (Linde, 2011) und als Parametrisierung für subskalige Windkraftanlagen in METRAS integriert (Boettcher et al., 2015). Mit dieser wurden bereits verschiedene Effekte von offshore Windkraftanlagen untersucht (Boettcher et al., 2015; Wiese, 2017).

In diesem Beitrag wird die Genauigkeit der Parametrisierung untersucht und gegebenenfalls angepasst. Dazu wird die Parametrisierung von METRAS mit Hilfe vorhandener Messungen evaluiert. Dafür werden Simulationen mit Windparks für den aktuellen Ausbau (März 2018) in der Deutschen Bucht mit Messungen verglichen. Zudem wird untersucht, welche Effekte Offshore-Windparks in der Deutschen Bucht auf das norddeutsche Wetter und Klima haben (Deckwart, 2019).

### Literatur:

Boettcher, M., Hoffmann, P., Lehnart, H.-J., Schlünzen, K.H., Schoetter, R., 2015. Influence of large offshore wind farms on North German climate. *Meteorologische Zeitschrift*, 24(5):465 – 480.

Deckwart, S., 2019. Impact of Wind Farms on Weather and Climate in Hamburg. Masterarbeit, Universität Hamburg in Vorbereitung.

Linde, M., 2011. Modellierung des Einflusses von Windkraftanlagen auf das umgebende Windfeld. Diplomarbeit, Universität Hamburg.

Wiese, A. J., 2017. Influence of Offshore Wind Farms on Meteorological Conditions in the Marine Atmospheric Boundary Layer. Masterarbeit, Universität Hamburg.



## **SINFONY – Entwicklung eines integrierten Vorhersagesystems im DWD**

Martin Rempel, Ulrich Blahak, Kathrin Wapler, Marcus Paulat, Roland Potthast, Axel Seifert, Liselotte Bach, Robert Feger, Kathrin Feige, Michael Hoff, Markus Junk, Alberto de Lozar, Lisa Neef, Rafael Posada, Markus Schultze, Christian Welzbacher, and Manuel Werner

Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany (martin.rempel@dwd.de)

Im Pilotprojekt SINFONY (Seamless INtegrated FOrecastiNg sYstem) des Deutschen Wetterdienstes wird ein integriertes Ensemblesystem auf konvektiver Skala im Bereich der Kurzfristvorhersage entwickelt. Hierfür werden Nowcasting-Verfahren mit Simulationen der numerischen Wettervorhersage (NWV) derart verknüpft werden, dass eine nahtlose Darstellung von Wetterphänomenen innerhalb des Vorhersagezeitraums möglich ist. Dazu wird eine voneinander unabhängige Weiterentwicklung von Nowcasting und NWV sowie ein Austausch von Informationen und deren Kombination vorgenommen. Der Fokus liegt hierbei auf sommerlicher hochreichender Konvektion und den damit verbundenen Begleiterscheinungen wie Starkniederschlag, Hagel und Sturmböen.

Bisher ruhen Vorhersage und Warnung vor konvektiven Zellen für die ersten zwei Stunden überwiegend auf beobachtungs-basierten Nowcasting-Produkten, die typischerweise alle fünf Minuten neu berechnet werden und nach wenigen Minuten verfügbar sind. Dementgegen werden Simulationen des konvektionserlaubenden Ensemblevorhersagesystems COSMO-DE-EPS lediglich alle drei Stunden initialisiert und übertreffen die Prognosequalität der Nowcasting-Produkte erst zu späteren Vorhersageschritten. Darüber hinaus werden derzeit Nowcasting und NWV als separate und unabhängige Systeme behandelt, wodurch nur wenige kombinierte Produkte für die Vorhersagemeteorologen zur Verfügung stehen.

Das bisher rein deterministische Nowcasting-System, welches einem klassischen Advektionsansatz unterliegt, wird zu einem Nowcast-Ensemble erweitert und soll zusätzlich statistische Lebenszyklus-Informationen berücksichtigen. Für die NWV ist ein Rapid-Update-Cycle (RUC) mit stündlichen Ensemblevorhersagen und einer räumlichen Auflösung von 1 km geplant. Weiterhin soll die Modellphysik durch Verwendung eines Zwei-Momenten-Mikrophysikschemas verbessert werden. Durch die Assimilation von zusätzlichen hochaufgelösten Fernerkundungsdaten wie 3D-Radardaten und Meteosat-SEVIRI-Daten sowie Blitzdichten und Nowcast-Objekten im LETKF-basierten Assimilationssystem soll eine verbesserte Darstellung der Atmosphärenbedingungen im Anfangszustand des Modells erreicht werden. Eine umfassende vergleichende Verifikation von Nowcasting- und NWV-Ensemble ist darüber hinaus eine unerlässliche Voraussetzung für die optimale Kombination dieser Verfahren.

## Ein LES-basiertes System zur Kurzfrist-Vorhersage von Böen und Nebel im Umfeld von Flughäfen

Helge Knoop and Björn Maronga

Leibniz Universität Hannover, Institute of Meteorology and Climatology, Faculty of Mathematics and Physics, Hannover, Germany (knoop@muk.uni-hannover.de)

Die Qualität von Warnprodukten in der Wettervorhersage hängt stark von der Qualität der Parametrisierung all der Prozesse ab, die mit operationellen numerischen Wettervorhersage-Modellen, aufgrund ihrer zu groben räumlichen Gitter, nicht aufgelöst werden können. Dies trifft besonders auf turbulente Prozesse in der atmosphärischen Grenzschicht zu. Turbulente Prozesse spielen jedoch eine Schlüsselrolle bei vielen potenziell für die Luftfahrt gefährlichen Wetterlagen. Die meisten Flugunfälle, die auf Wetterphänomene zurückzuführen sind, ereignen sich dabei in der unmittelbaren Umgebung von Flughäfen während des Starts oder der Landung. Die beiden Wetterphänomene Nebel und Windböen sind dabei besonders einschränkend für den Flughafenbetrieb. Gleichzeitig sind heutige operationelle Vorhersagen von Nebel und Windböen sehr unzuverlässig und ungenau.

Die Bildung von Nebel findet zum Beispiel oft in der nächtlichen, stabil geschichteten atmosphärischen Grenzschicht statt und hat einen enormen Einfluss auf die Sicherheit und Kapazität eines Flughafens. Die Mikrostruktur und die Einflüsse auf den Lebenszyklus des Nebels, von seiner Bildung nach Sonnenuntergang bis hin zu seiner Auflösung in den Morgenstunden, sind nicht gut erforscht und die operationelle Nebel-Vorhersage ist ein besonderer Schwachpunkt in der numerischen Wettervorhersage. Neue Forschungsergebnisse haben aufgezeigt, dass lokale Oberflächenheterogenitäten und Gebäude einen signifikanten Einfluss auf die Nebelbildung haben. Dies zeigt, wie wichtig die genaue Darstellung lokaler Oberflächeneigenschaften für eine genaue Vorhersage solcher gefährlicher Wetterphänomene ist.

Windböen treten besonders während Starkwind-Wetterlagen wie zum Beispiel Winterstürmen auf. Besonders gefährlich für die Luftfahrt sind diese bodennah, innerhalb der dann neutral geschichteten atmosphärischen Grenzschicht. Sie sind das gefährlichste und teuerste Unwetter-Phänomen in Deutschland. Die kleinen räumlichen und zeitlichen Skalen von Windböen erschwert ihre genaue Untersuchung und behindert dadurch die Weiterentwicklung existierender Böen-Parametrisierungen. Ein besseres Verständnis der Form und der Entwicklung einzelner Windböen ist notwendig um Böen-Parametrisierungen weiterzuentwickeln. Die Entstehung von Windböen ist stark beeinflusst durch die lokale Topographie. Im meist flachen Umfeld von Flughäfen sind Gebäude und Wälder daher oft primäre Auslöser von Windböen, die auf die Landebahnen advehiert werden.

Wir entwickeln derzeit ein auf Large-Eddy Simulationen (LES) basierendes Model für die hoch aufgelöste Kurzfrist-Vorhersage von Nebel und Windböen im Umfeld von Flughäfen. Im Gegensatz zu aktuellen operationellen numerischen Wettervorhersage-Modellen, kann dieses Model, als Lupe eingebettet in bestehende operationelle Systeme, explizit den Einfluss von Gebäuden, Oberflächen- und Bodeneigenschaften auf die turbulente Grenzschicht auflösen. Es ist dadurch in der Lage die Entstehung und Entwicklung von Nebel und Windböen im Umfeld von Flughäfen explizit aufzulösen und verbesserte Warnprodukte für die Luftfahrt zu liefern.

In diesem Vortrag präsentieren wir die Fähigkeiten des neuen Systems anhand erster hoch aufgelöster Simulationsergebnisse. Nebelbildung wird exemplarisch im Umfeld des Flughafens München simuliert, die Entstehung von Windböen hingegen im Umfeld des Flughafens Frankfurt. Anhand der Simulationsergebnisse wird gezeigt wie Oberflächenheterogenitäten im Umfeld des Flughafens sowie die Flughafengebäude die Entstehung von Nebel und Windböen beeinflussen.



## **Deutschlandweite Niederschlagsmessung mit kommerziellen Richtfunkstrecken: Herausforderungen der Echtzeitprozessierung und zukünftige Kombination mit Radarmessungen**

Christian Chwala (1), Tanja Winterrath (2), Maximilian Graf (1), Gerhard Smiatek (1), Harald Kunstmann (1,3)

(1) Karlsruhe Institute of Technology (IMK-IFU), Institute of Meteorology and Climate Research, Garmisch-Partenkirchen, Germany (christian.chwala@kit.edu), (2) Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main, (3) Institute for Geography, Regional Climate and Hydrology, University of Augsburg, Augsburg, Germany

Die meisten Handy-Basisstationen sind durch ein Netzwerk von kommerziellen Richtfunkstrecken (CML von engl. commercial microwave link) verbunden. Bei den dabei typischen genutzten Frequenzen zwischen 15 GHz und 40 GHz führt Niederschlag entlang der Strecke eines CMLs zu deutlicher Dämpfung des Signals. Aus der Messung der Dämpfung kann daher die linienintegrierte Regenrate entlang des Pfads abgeleitet werden. Retrospektive Analysen von CML-Daten haben bereits gezeigt, dass diese Methode verlässliche Niederschlagsinformation liefern kann. Für die wichtige Anwendung in der Kurz- und Kurzzeitvorhersage von Pegelständen wird die Information jedoch in Echtzeit benötigt.

In Kooperation mit Ericsson zeichnen wir mit einer eigenen open-source Software deutschlandweit Dämpfungsdaten von 4000 CMLs auf. Die Daten werden minütlich erfasst und stehen uns in Echtzeit zur Verfügung. Basierend auf diesem Echtzeit-CML-Datensatz produzieren wir alle fünf Minuten ein deutschlandweites Test-Niederschlagsprodukt. Die Herausforderung dabei ist die Detektion von Niederschlagsereignissen in den unterschiedlich stark verrauschten Rohdaten. Außerdem müssen Artefakte in den Zeitreihen erkannt und als solche markiert werden.

Hier stellen wir das gesamte kontinuierlich laufende System vor, von der Datenerfassung über die Prozessierung bis zum resultierenden Niederschlagsprodukt. Dazu zeigen wir eine Validierung der erzeugten CML-Niederschlagsinformation mittels angeeichter radarbasierter Niederschlagsdaten aus der Echtzeitproduktion (RADOLAN) und der Reprozessierung (RADKLIM) des Deutschen Wetterdienstes. Des Weiteren geben wir einen Ausblick auf zukünftige Arbeiten zur Integration von Echtzeit-CML-Daten in die Radardatenprozessierung.

## 20 years of measurements of volatile organic compounds at the Hohenpeissenberg Meteorological Observatory

Anja Claude (1), Katja Michl (1), Erasmus Tensing (1), Jennifer Englert (1,2), Dagmar Kubistin (1), and Christian Plass-Duelmer (1)

(1) Deutscher Wetterdienst, Meteorological Observatory Hohenpeissenberg, Hohenpeissenberg, Germany (anja.claude@dwd.de), (2) now at ACCON GmbH, Greifenberg, Germany

Flüchtige organische Substanzen (Volatile Organic Compounds, VOC) spielen eine wesentliche Rolle bei der Bildung von troposphärischem Ozon und organischem Aerosol, beeinflussen die Oxidationskapazität der Atmosphäre und wirken somit auf Klima und Gesundheit von Mensch und Umwelt. Zu den flüchtigen organischen Substanzen (Volatile Organic Compounds, VOC) gehören mehrere Gruppen kohlenstoffhaltiger Verbindungen: z.B. Alkane (ohne Methan), Alkene, Alkine und Aromaten (sogenannte non-methane hydrocarbons, NMHC), oxidierte Kohlenwasserstoffe (oxigenated VOC, oVOC) wie Alkohole, Ketone und Aldehyde und halogenierte Kohlenwasserstoffe. Sie haben sowohl anthropogene (Fossilen Brennstoffe, Biomassenverbrennung, Verdunstung von Lösungsmitteln) als auch biogene Quellen (Pflanzenstoffwechsel). Durch anschließende Oxidation hauptsächlich durch das OH-Radikal entstehen weitere oxidierte VOC beziehungsweise werden sie wieder aus der Atmosphäre entfernt. Seit 1999 werden Emissionen von VOC durch das Göteborg Protokoll im Rahmen der UNECE-Konvention CLRTAP (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) geregelt.

Etwa 80 anthropogene und biogene VOC werden am Meteorologischen Observatorium Hohenpeissenberg mittels Gaschromatographie im Rahmen des Global Atmosphere Watch Programme (GAW) der WMO gemessen. Die ersten Messungen von NMHCs, darunter u.a. Ethan, Propan oder Benzol, starteten im Jahr 1998 und wurden in den darauffolgenden Jahren um biogene VOC wie z.B. Isoprene, Monoterpene und oVOCs erweitert. Ziel dieser Messungen ist es Langzeittrends im atmosphärischen Hintergrund zu bestimmen. Darüber hinaus können in Verbindung mit dem umfangreichen reaktive Gase und Aerosol in-situ Messprogramm am Hohenpeissenberg auch Prozessstudien durchgeführt werden.

Anhand der 20-jährigen Zeitreihen werden für ausgesuchte anthropogene und biogene VOC atmosphärische Trends abgeleitet und typische Tagesgänge präsentiert und diskutiert.

## **Möglichkeiten und Grenzen der Ermittlung turbulenter Energie-Flüsse in der Bodenschicht aus Scintillometer-Messungen – Erfahrungen aus 20 Jahren Messbetrieb in Lindenberg**

Frank Beyrich and Eileen Päschke

Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg, Tauche - OT Lindenberg, Germany  
(frank.beyrich@dwd.de)

Die turbulenten Flüsse von fühlbarer und latenter Wärme stellen ein wesentliches Element der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Unterlage dar und spielen damit eine wichtige Rolle bei der Quantifizierung des Energie- und Wasserkreislaufes von der lokalen bis hin zur globalen Skala. Scintillometer-Messungen gelten als die einzige gegenwärtig verfügbare Technik zur operationellen Bestimmung dieser Flüsse auf einer horizontalen Skala von einigen Kilometern, wie sie benötigt werden zur Validierung der Ergebnisse numerischer Modell-simulationen mit Wettervorhersage-, Klima- oder Erdsystemmodellen bzw. von aus Satellitendaten abgeleiteten Flusswerten. Sie sind damit, vor allem in Bezug auf die Verdunstung (den latenten Wärmefluss), zugleich von Interesse für Anwendungen in der Hydrologie (Wasserbilanz kleiner Einzugsgebiete) oder in der Landwirtschaft (Bewässerungsberatung).

Für einen operationellen Einsatz sind derzeit verschiedene Scintillometer-Typen kommerziell verfügbar. Laser-Scintillometer werden üblicherweise über Messstrecken von 100 m bis 200 m Länge (d.h. auf der „Feldskala“) eingesetzt. Sogenannte optische Large-Aperture-Scintillometer (LAS) und Mikrowellen-Scintillometer (MWS) ermöglichen Messungen über Pfadlängen von 2-10 km und liefern damit räumlich repräsentative Werte der turbulenten Flüsse auf der Skala einer Gitterzelle in einem regionalen NWV- oder Klimamodell. Am Meteorologischen Observatorium Lindenberg – Richard-Aßmann-Observatorium (MOL-RAO) sind in den vergangenen 20 Jahren verschiedene Scintillometer-Systeme in der Regel über Jahre hinweg betrieben worden.

Der Vortrag gibt zunächst einen kurzen Überblick über die am MOL-RAO eingesetzten Systeme und beschreibt die Erfahrungen aus dem operationellen Betrieb (Messsystem- und Datenverfügbarkeit, Datenqualität, Wartungsaufwand). Darauf basierend werden die Vor- und Nachteile von Scintillometer-Messungen im Vergleich zur Bestimmung der turbulenten Flüsse nach der Eddy-Kovarianz-Methode aus in-situ Messungen mittels Ultraschall-Anemometer und Infrarot-Gasanalytoren diskutiert. Abschließend werden Beispiele für die Nutzung der Ergebnisse von Scintillometer-Messungen gezeigt. Spezielles Augenmerk wird auf die in den letzten drei Jahren begonnene operationelle Erprobung der Kombination eines LAS mit einem MWS System gelegt.

## **Potenzial von Aufnahmen im thermal und im sichtbaren Bereich für Pflanzenstudien: Vergleich von unterschiedlichen Indizes**

Philipp Weihs (1), Sandro Oswald (2), Putnik-Delic Marina (3), Danicic Milena (3), and Maksimovic Ivana (3)

(1) Universität für Bodenkultur, Inst. fuer Meteorologie, Wien, Austria (weihs@mail.boku.ac.at), (2) Zentralanstalt für Meteorologie, Wien, Austria, (3) Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Novom Sadu, PFNS, Novi Sad Serbia

Die Digitalisierung von Bildern wird u.a. zur Bestimmung des Strahlungsklimas in Beständen und zur Bestimmung der Dichte des Bestandes verwendet. Außerdem wird diese Technologie auch für phänologische Studien verwendet.

Im thermalen IR Bereich werden Informationen über die Oberflächentemperatur und die Blatttemperatur eines Bestands gewonnen. Ein bekannter Index ist der Crop water stress index (CWSI), welche den Trockenstress einer Pflanze als Funktion des Unterschieds zwischen Blattoberflächentemperatur und Lufttemperatur bestimmt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden auf Basis eines Trockenstress Experiments auf Tomatenpflanzen sowie auch anhand von Webcam Aufnahmen von Vegetation unterschiedliche Indizes getestet.

Trockenstressexperimente wurden anhand von unterschiedlichen Bewässerungsregimes bei Tomatenpflanzen durchgeführt. 27 Tomatenpflanzen wurden in 51 Behältern gepflanzt. Die Behälter waren in einem Abstand von 40 cm voneinander und bedeckten eine Fläche von ca. 7m<sup>2</sup>. Bewässerungsregime 1 entsprach einer Bewässerungsmenge von 900 ml pro Tag, Regime 2 entsprach 600 ml/ Tag was einem medium Trockenstress entspricht.

Andere Tomatenpflanzen wurden einem starken Trockenstress mit nur 300 ml/Tag unterworfen. 3 Pflanzen wurden außerdem einen Tag lang nicht bewässert.

Thermalaufnahmen und Photos wurden 4 mal pro Tag aufgenommen.

Diese Thermalaufnahmen zeigten eine eindeutige Zunahme der Blatttemperatur von bis zu 3 °C der unter Trockenstress stehenden Pflanzen. Ein großer Temperaturunterschied ist auch zwischen sonnenbeschienen und sich im Schatten befindenden Blättern ersichtlich.

Photoaufnahmen konnten zur Bestimmung von Welkeerscheinungen verwendet werden.

Bilder im sichtbaren Bereich können u.a. für Phänologische Studien verwendet werden wobei sich auch der greenness index sehr gut bewährt hat. Bei der automatischen Auswertung von Web Cam Aufnahmen von Marillenbäumen lassen sich Knospen und grüne Blätter sehr gut identifizieren. Problematischer kann unter gewissen Bedingungen die Bestimmung von weißen Blüten sein.

## **Langfristige Änderung der planetaren Wellenaktivität in den mittleren Breiten: Gibt es einen Zusammenhang zu extremen Temperaturereignissen?**

Lisa Küchelbacher, Sabine Wüst, and Michael Bittner  
DLR, Atmosphere, Weßling, Germany (lisa.kuechelbacher@dlr.de)

Planetare Wellen beeinflussen nachhaltig das Wettergeschehen der mittleren Breiten. Es wird davon ausgegangen, dass diese Wellen aufgrund der Abnahme des meridionalen Temperaturgradienten zwischen Äquator und Pol durch den Klimawandel verändert werden. In der Folge könnten sich die Großwetterlagen der Mittleren Breiten ändern und so zu einer Änderung von Extremwetterereignissen führen.

Um zu analysieren, ob sich die planetare Wellenaktivität bereits geändert hat, wurde aus der Temperatur des ERA-Interim Reanalysedatensatzes ein Index zur Charakterisierung der dynamischen Wellenaktivität (DAI) abgeleitet. So entsteht eine Zeitreihe, die eine fast 40 jährige globale Analyse der Wellen von Bodenniveau bis in etwa 65 km Höhe erlaubt. Darüber hinaus wurde ein Algorithmus zur Identifikation extremer Temperaturereignisse entwickelt.

Unsere Analysen ergeben, dass sich die planetare Wellenaktivität insbesondere in der Stratosphäre bereits geändert hat. Es zeigt sich dabei eine Systematik in dieser Änderung mit der zonalen Wellenzahl planetarer Wellen; die Aktivität derjenigen planetaren Wellen, die häufig in Verbindung mit Extremereignissen gebracht werden, hat hier offenbar besonders zugenommen.

Betrachtungen der planetaren Wellenaktivität in der Troposphäre weisen zudem darauf hin, dass planetare Wellen besonders häufig über dem Atlantik vor dem europäischen Festland brechen. Damit verbunden ist die irreversible Einmischung von Luftmassen, die u.a. zu extremen Temperaturereignissen führen können. Erste Ergebnisse zeigen eine Abnahme der Kälteereignisse und eine Zunahme der Hitzeperioden seit 1979. Diese Änderung geht einher mit dem globalen Temperaturanstieg an der Oberfläche.

## Beobachtung phänologischer Phasen mit MODIS und Sentinel-2

Hans Ressler (1), Christoph Matulla (2), and Helfried Scheifinger (2)

(1) Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien, Wien, Österreich, (2) Climate Impact Team (CIT), Abteilung Klimaforschung, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Wien, Österreich

Diese Studie zielt darauf ab, einen Zusammenhang zwischen der satellitengestützten Landoberflächenphänologie (LSP) und den phänologischen Bodenbeobachtungen (GP) herzustellen, die es schließlich erlauben sollte, phänologische Eintrittsdaten aus dem All zu bestimmen. Dazu betrachten wir in einem Jahr die Eintrittstermine einer (bzw. zwei) phänologischer Phase(n) an verschiedenen Orten sowie die dort bis dahin beobachteten Verläufe des aus Sentinel-2-Daten abgeleiteten Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, der die photosynthetische Aktivität der Vegetation beschreibt) und versuchen mit verschiedenen Ansätzen charakteristische NDVI Werte abzuleiten. Die Eignung verschiedener Ansätze bzw. charakteristischer NDVI Werte wurden durch Vergleich von geschätzten mit beobachteten phänologischer Eintrittsterminen bewertet. Als diese Arbeit durchgeführt wurde, waren Sentinel-2 Daten nur für 2 Jahre verfügbar. Damit war es möglich, das jeweils andere Jahr zu Validierung heranzuziehen.

Hier betrachten wir den Laubaustrieb von Birke und Buche, da die europäische phänologische Datenbank PEP725 eine große Anzahl von Beobachtungen dieser Phase bereithält. In den mitteleuropäischen Laubwäldern ist die Buche eine dominante Baumart, während reine Birkenwälder auf skandinavische Länder konzentriert sind. In Österreich beginnen Birken etwa gegen Ende März erste Blätter sprießen zu lassen, während in Schweden diese Phase etwa zwei Monate später eintritt. Im Laufe der vergangenen fünf Dekaden zeigen die Beobachtungen dieser Blatt-Phasen über Mitteleuropa – unabhängig von der geographischen Breite - Verschiebungen zu rund 10 Tage früheren Eintrittsterminen.

Die gezeigten Resultate basieren auf den Frühjahrsphasen 2016 und 2017 für Tirol und Süddeutschland und auf den Frühjahrsphasen 2017 für Ober- und Niederösterreich. Neben Sentinel-2 verwenden wir auch Satellitendaten von MODIS, die eine räumliche Auflösung von 250m aufweisen. Die Ergebnisse zeigen, wie gut Sentinel-2-Daten, die eine räumliche Auflösung von 10 m aufweisen, die Bestimmung der Eintrittstermine der Birken- und Buchenlaub-Entfaltung ermöglichen. Darüber hinaus soll die Erhöhung der Brauchbarkeit der LSP durch die hohe Auflösung der Sentinel 2 Daten im Vergleich mit den MODIS Daten demonstriert werden.

Da sich der Start von Sentinel-2B verschoben hat, stehen für die ersten Halbjahre nur Daten von Sentinel-2A zur Verfügung, wodurch sich die zeitliche Auflösung vermindert. Die Ergebnisse zeigen, dass für die untersuchten Jahre keine Untersuchung der Korrelation zwischen Satellitendaten und phänologischen Bodenbeobachtungen möglich ist. Die geringe zeitliche Auflösung wird durch das Fehlen von Satellitenbildern an Zeitpunkten mit vollständiger Bewölkung und den Lücken, die durch Schnee- und Wolkenfilterung entstehen, verursacht. Analysen der vorhandenen Daten zeigen allerdings, dass eine Verbesserung durch die Verringerung des Mischpixeleffekts mit Sentinel-2 Daten durchaus möglich sein wird, sobald eine höher zeitliche Auflösung vorliegt und Lücken geschlossen werden können.

## **Evaluierung und Analyse von Fehlerquellen für die deutschlandweite Niederschlagsmessung mit kommerziellen Richtfunkstrecken**

Maximilian Graf (1), Chwala Christian (1), Smiatek Gerhard (1), Kunstmann Harald (1,2)

(1) Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe Institute of Technology, Garmisch-Partenkirchen, Germany (maximilian.graf@kit.edu), (2) Institute of Geography, University of Augsburg, Augsburg, Germany

Die hohe räumliche und zeitliche Variabilität von Niederschlag macht die exakte Erfassung schwierig. Pluviometer stellen nur eine Punktmessung mit geringer räumlicher Repräsentativität dar. Sie Über- oder Unterschätzen bei hoher räumlicher Variabilität leicht die Niederschlagsmenge in der Fläche. Wetterradarmessungen bieten in Deutschland flächendeckend Information. Die Qualität wird jedoch durch die starke Abhängigkeit der Z-R Beziehung von der Tröpfchengrößenverteilung, Kontamination durch Bodenechos, Fehler durch Abschattung und die zum Teil großen Messhöhen über Grund gemindert. Eine Möglichkeit für zusätzliche Niederschlagsinformation ist die Nutzung von Dämpfungsdaten kommerzieller Richtfunkstrecken (CML vom Englischen “commercial microwave links”). Niederschlag führt zu deutlicher Dämpfung des Signals entlang eines CMLs. Aus dieser gemessenen Dämpfung kann umgekehrt dann die linienintegrierte Regenrate abgeleitet werden.

In Deutschland erfassen wir seit mehreren Jahren in Kooperation mit Ericsson automatisiert CML-Daten. Seit August 2017 läuft diese Erfassung landesweit für 4000 CMLs. Bei der Prozessierung von Rohdaten zur Niederschlagsereignissen muss beispielsweise Rauschen gefiltert und Artefakte klassifiziert werden. Hierzu stehen verschiedene Methoden und Parametersätze zur Auswahl, die erstmals mit einer so großen Zeitreihe optimiert werden können. Hier zeigen wir eine Validierung über eineinhalb Jahre CML-Niederschlag seit August 2017. Als Referenz verwenden wir RADOLAN-RW und RADKLIM. Erste Ergebnisse zeigen, dass die CML-Niederschläge abhängig von der Tages- und Jahreszeit eine Abweichung von den Referenzen aufweisen. Außerdem testen wir den Einfluss spezifischer Eigenschaften der Richtfunkstrecken (Länge, Frequenz, ...) auf die Güte der Niederschlagsdaten.

## **Kombination von NWV- und beobachtungsbasierten Nowcasting-Ensembles zur Verbesserung von konvektiven Niederschlagsvorhersagen im DWD**

Martin Rempel and Rafael Posada

Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany (martin.rempel@dwd.de)

Unwetterscheinungen sommerlicher hochreichender Konvektion stellen eine erhebliche Gefahr dar und beeinträchtigen viele Bereiche des täglichen Lebens. Zur Verbesserung der Vorhersage solcher Ereignisse entwickelt das Pilotprojekt SINFONY (Seamless INtegrated FOrecastiNg sYstem) des Deutschen Wetterdienstes ein integriertes Ensemblevorhersagesystem für nahtlose Prognosen auf konvektiver Skala im Bereich der Kurzfristvorhersage. Hierfür werden Nowcasting-Verfahren und numerische Wettervorhersage (NWV) unabhängig voneinander verbessert sowie durch einen Austausch von Informationen kombiniert.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird das operationelle deterministische radarbasierte Nowcasting-Verfahren mit einem Ensemble-Ansatz erweitert. Des Weiteren sollen statistische Lebenszyklus-Informationen eine Abschätzung über die weitere konvektive Entwicklung ermöglichen. Die derzeitige NWV-Modellkette wird durch ein Rapid-Update-Cycle-Ensemble (RUC-Ensemble) mit stündlichen Initialisierungen erweitert.

Als Datengrundlage für kombinierte Produkte werden zum einen die Beobachtungen des Radarverbundes genutzt und zum anderen NWV-Ergebnisse, die mittels Vorwärtsoperator in den Beobachtungsraum transformiert werden. Auf die so erzeugten simulierten Radarreflektivitäten sowie auf die Beobachtungen werden analoge Verfahren zur Identifikation und zum Tracking von Objekten sowie zur Kompositionierung angewandt.

Die Herangehensweise für ein kombiniertes Produkt wird auf ein spezifisches Vorhersageproblem zugeschnitten. Hierfür ist eine vergleichende Verifikation von Nowcasting und NWV unerlässlich. Innerhalb des SINFONY-Projektes werden mit einem flächen- und einem objektbasierten Ansatz zwei Methoden verfolgt, die die Entscheidungsfindung im Rahmen von Niederschlagsereignissen verbessern. Das flächenbasierte Produkt nutzt 2D-Komposita von Reflektivitäten aus dem geländefolgenden Niederschlagsscan. Es liefert flächendeckende Niederschlagsfelder und entsprechende Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Das objektbasierte Produkt nutzt zur Identifikation und Tracking von Objekten 3D-Volumenscans mit dem Fokus auf konvektiven Ereignissen und ihren Charakteristiken, wie Intensität, Zughichtung und Entwicklungstendenz.

Zur Untersuchung wurde ein Zeitraum von Mai bis Juni 2016 ausgewählt, der mehrere Starkniederschlagsereignisse enthält. Für diesen Zeitraum wurden statistische Untersuchungen von identifizierten Objekten in Beobachtung, Nowcasting und NWV-Simulationen durchgeführt und die Vorhersagegüte mit verschiedenen flächenbasierten Kombinationsmethoden untersucht.

## **In-situ Aerosol- und Windmessungen in der arktischen atmosphärischen Grenzschicht mit unbemannten Flugzeugen**

Martin Schoen (1), Barbara Altstädter (2), Lutz Bretschneider (2), Konrad Bärfuss (2), Ralf Käthner (3), Jens Bange (1), Andreas Platis (1), Claudio Crazzolaro (1), Alexander Peuker (2), Falk Pätzold (2), Astrid Lampert (2), and Birgit Wehner (3)

(1) Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen, Tuebingen (martin.schoen@uni-tuebingen.de), (2) Institut für Flugführung, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, (3) Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig

Aerosolpartikel spielen eine wichtige Rolle in der Atmosphäre durch ihren Einfluss auf den Strahlungshaushalt sowie durch ihren Einfluss auf die Bildung von Kondensationskeimen. Die Verteilung und der Transport von Aerosolpartikeln ist dabei aber zeitlich und räumlich variabel und abhängig von kleinskaligen Prozessen in der atmosphärischen Grenzschicht (AGS).

Die Aerosolbildung, Vermischung und das Wachstum sind von der thermodynamischen Struktur der AGS abhängig. Um die vertikale und horizontale Verteilung sowie die Bildung von Aerosolpartikeln in der polaren AGS zu untersuchen, wurde von der Technischen Universität Braunschweig, dem Leibniz Institut für Troposphärenforschung und der Universität Tübingen eine Messkampagne auf Spitzbergen, in der Nähe des Global Atmosphere Watch Observatoriums in Ny-Ålesund durchgeführt. Die Messkampagne fand im April-Mai 2018 statt. Damit wurde der Zeitraum der Schneeschmelze auf Spitzbergen abgedeckt.

Als Messsysteme kamen zwei unbemannte Flugsysteme zum Einsatz.

Das Flugsystem ALADINA der Technischen Universität Braunschweig ist mit zwei Kondensationspartikelzählern zur Identifizierung von kleinen, neu gebildeten Partikeln ausgestattet. Das Flugsystem MASC3 der Universität Tübingen ist mit einer Fünflochsonde, einem Trägheitsnavigationssystem sowie Sensoren zur Temperatur- und Feuchtemessung ausgestattet und wurde zur Messung von Wind und Turbulenz eingesetzt. Erste Messergebnisse sind inzwischen ausgewertet und werden vorgestellt. Die Messungen von ALADINA zeigen den zeitlichen Verlauf der Partikelkonzentrationen in der AGS, die Windmessungen von MASC3 helfen dabei, Transport- und Neubildungsprozesse zu verstehen.



## **Gebäudeauflösende Simulationen von Berlin mit dem neuen Stadtklimamodell PALM-4U**

Björn Maronga and the MOSAIK Konsortium

Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, Germany  
(maronga@muk.uni-hannover.de)

Mit der wachsenden Zahl von Menschen, die in verdichteten städtischen Umgebungen leben/arbeiten, wird die Stadtplanung im Sinne menschlicher Gesundheit und Wohlbefinden immer wichtiger, mit Berücksichtigung von Faktoren wie thermischer Komfort, Luftqualität, Belüftung und UV Exposition. Zur Unterstützung von Bauentscheidungen kommen Stadtklimamodelle (SKM) zum Einsatz, um den Effekt bestehender und geplanter Gebäude, Fassaden- und Stadtbegrünung, etc. auf diese Faktoren abzuschätzen. Es wurde ein hocheffizientes mikroskaliges SKM namens PALM-4U entwickelt, mit dem gebäudeauflösende Simulationen ganzer Städte mit Vegetation unter Abbildung der wichtigen physikalischen Prozesse in urbaner Umgebung möglich sind. PALM-4U ist Teil des Modellsystems PALM (<http://palm-model.org>). Zwar existieren zahlreiche in Wissenschaftskreisen fest etablierte SKM, diese sind jedoch schwierig an modernste parallele Rechnersysteme anzupassen und daher meist nicht so umfangreich einsetzbar. Mit PALM-4U ist es möglich ganze Stadtgebiete wie Berlin (~ 1700 km<sup>2</sup>) mit gebäudeauflösender Gitterweite (hier 15 m) auf Höchstleistungsrechnern zu simulieren, sofern die zur Verfügung stehenden Rechnerressourcen ausreichen. PALM-4U bildet verschiedenste relevante Prozesse ab, wie z.B. den Wärme- und Strahlungstransfer zwischen urbanen/natürlichen Oberflächen und der Atmosphäre, chemische Reaktionen, und es beinhaltet Funktionalitäten wie biometeorologische Analyseprodukte, sowie Gitternesting um Fokusgebiete räumlich feiner aufzulösen. Im Unterschied zu existierenden Stadtklimamodellen arbeitet PALM-4U turbulenzauflösend und kann damit nicht nur den mittleren Zustand der städtischen Grenzschicht simulieren, sondern auch kleinskalige Fluktuationen (in Raum und Zeit) explizit auflösen.

In diesem Vortrag präsentieren wir Ergebnisse von turbulenz- und gebäudeauflösenden Simulationen für das Gesamtstadtgebiet von Berlin (inkl. Umland) mit einer Gitterweite von 15 m. Wir betrachten die Entwicklung der städtischen Grenzschicht für jeweils einen vollen Tagesgang (Winter und Sommer) und analysieren typische Effekte wie die städtische Wärmeinsel und die Schadstoffkonzentration im räumlich-zeitlichen Verlauf.

## **Entwicklung eines nichtlokalen dreidimensionalen Turbulenz- (NLT3D)-Schemas für numerische Wettervorhersagemodelle**

Volker Küll and Andreas Bott

Universität Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Bonn, Deutschland (vkuell@uni-bonn.de)

Bei der numerischen Wettervorhersage (NWV) ist Turbulenz von entscheidender Bedeutung für den Austausch von Wärme, Impuls, Feuchte und anderen Spurenstoffen zwischen dem Boden und der Atmosphäre. Turbulenz bestimmt den Aufbau der planetaren Grenzschicht (PGS) aber auch Prozesse in der freien Troposphäre (Wolken, Dissipation von Instabilitäten und Wellen).

Die operationellen NWV-Modelle dringen zunehmend in Gittergrößenbereiche um die Ein-Kilometer-Skala vor, so dass die Aufspaltung der Modelldynamik in gitterskaligen Anteil und zu parametrisierenden Subgitterskalenanteil angepasst werden muss. Klassische Turbulenzschemata stoßen hier an ihre Grenzen. Die korrekte Darstellung der Turbulenz ist jedoch entscheidend für die Vorhersagequalität sowohl in der PGS als auch in der freien Atmosphäre.

Wegen der hohen räumlichen Auflösung heutiger NWV-Modelle in vertikaler Richtung (Schichtdicken in der Größenordnung 10 m) ist die Modellierung der größerskaligen turbulenten Strukturen (Eddies) mit räumlicher Ausdehnung bis zur Grenzschichthöhe (ca. 1...2 km) mit dem klassischen lokalen K-Ansatz bereits problematisch. Dies kann durch nichtlokale Ansätze überwunden werden. Eine solche nichtlokale Behandlung wird allerdings bei den stetig schrumpfenden Gittergrößen auch für die horizontale Richtung nötig. Wir greifen daher den nichtlokalen transilienten Ansatz nach Stull wieder auf, der von einer in drei Dimensionen erweitert werden soll. Als umgebendes NWV-Modell dient für unsere Studien das WRF-Modell (UCAR/NCAR, USA); das NLT3D-Schema wird allerdings so formuliert, dass es auch in anderen NWV-Modellen eingesetzt werden kann. Erste Ergebnisse von Simulationen idealisierter Fälle und Vergleiche mit anderen Turbulenzschemata werden vorgestellt und diskutiert.

## Modellierung von Umwelteinflüssen aus Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Christina Asmus, David Grawe, and K. Heinke Schlünzen

Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, CEN, Germany (christina.asmus@studium.uni-hamburg.de)

Erneuerbare Energien zählen zu den wichtigsten Alternativen zu fossilen Energieträgern. Insbesondere Solarenergie besitzt ein großes Energiepotential. Da Solaranlagen weltweit einen starken Anstieg in ihren Installationen verzeichnen, ist es wichtig, mögliche Auswirkungen dieser großen Solarinstallationen auf atmosphärische Prozesse zu untersuchen. 2017 waren in Deutschland Photovoltaikanlagen mit einer gesamten Nennleistung von 43 GW installiert. Diese belegen eine Fläche von 300 km<sup>2</sup> und decken 7,2 % des Netto-Stromverbrauchs in Deutschland ab (Fraunhofer ISE, 2018). Photovoltaikanlagen verändern die Eigenschaften der Oberfläche und damit die Oberflächenenergiebilanz. Da diese im direkten Energieaustausch mit der Atmosphäre steht, können Änderungen das Klima beeinflussen. Insbesondere großflächige Photovoltaik-Freiflächenanlagen verändern die Oberflächeneigenschaften ausgedehnter Gebiete (z.B. 2,4 km<sup>2</sup> in Neuhardenberg / Brandenburg). Daher sind vor allem für große Freiflächenanlagen Auswirkungen auf die Umwelt zu vermuten. Diese werden in diesem Beitrag untersucht und die Ergebnisse vorgestellt.

Um mögliche Umwelteinflüsse zu modellieren, wird das numerische Modell METRAS in der 1D- als auch in der 3D-Version, mit einer neuen Solar-Parametrisierung erweitert. Dazu wird eine neue Oberflächenklasse für Photovoltaik-Panels eingeführt, in welche relevante Eigenschaften der verschiedenen Materialien des Panels, sowie des Luftvolumens und der Erdschicht unter dem Panel eingehen. Die Parametrisierung wird im Vergleich zum gemischt analytisch-numerischen Ansatz von Masson et al. (2014) geprüft und am Beispiel des Solarparks Neuhardenberg getestet. Zudem werden die Modellergebnisse mit Messdaten verglichen.

Erste Modellergebnisse zeigen, dass die Oberflächentemperatur der Photovoltaik-Panels sehr schnell auf die Sonneneinstrahlung reagiert. Weiterhin ist tagsüber eine starke langwellige Abstrahlung zu beobachten, die die umgebende Luft erwärmt. Weitere Untersuchungen für andere meteorologische Situationen sollen Einflüsse der Freiflächenanlagen auf die meteorologischen Bedingungen quantifizieren (Asmus, 2019).

### Literatur:

Asmus, C., 2019. Parameterization for utility-scale solar parks in the mesoscale climate model METRAS. Masterarbeit in Vorbereitung, Universität Hamburg.

Fraunhofer ISE, 2018. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Download von [www.pv-fakten.de](http://www.pv-fakten.de), Fassung vom 25.10.2018. Zuletzt aufgerufen am 03.11.18.

Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J.-L., Briottet, X. and Lemonsu, A., 2014. Solar panels reduce both global warming and urban heat island, *Frontiers in Environmental Science* 2, 14.



## **Air quality and aerosols in the Rhine-Main region using MECO(2)**

Marc Barra, Joachim Fallmann, and Holger Tost

Mainz, Institute for atmospheric physics, FB08, Germany (mabarra@uni-mainz.de)

The problem of poor air quality in cities and metropolitan areas is rising in the perception of society. A thorough understanding of the influence of emissions and different processes on air quality is necessary, as poor air quality not only implies lower living qualities but also negatively influences human health.

In October 2018 the administrative court in Mainz ruled in favour of possible driving bans for older Diesel vehicles in order to reduce traffic  $\text{NO}_x$  emissions and improve air quality. To assess the question whether such measures are suited, we set up a simulation using the MECO(n) system based on MESSy, an earth system model with its roots in ECHAM, with two COSMO nests. In the end we obtain a grid resolution of about 7 km over the Rhine-Main region. As the issue of air quality can not be reduced to a gas phase problem, a comprehensive, seven modular, aerosol module (GMXe) is used to include aerosol processes and investigate the influence of heterogeneous reactions on the simulation result. To evaluate the simulation set-up, the model results are compared to local, ground based measurements of  $\text{NO}_x$  and particulate matter  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$ .

This work focuses on a better understanding of the representation of aerosol processes within the model and its influence on a regional scale. In this context we investigate the influence of the spatial and temporal resolution of (anthropogenic) emissions on the model results. In the end we aim for a model set-up with which we are able to conduct simulations with different emission scenarios, so that we can evaluate the impact of different policies on air quality in Mainz and the Rhine-Main region.

## Urban boundary-layer structure in complex terrain: a case study

Matthias Zeeman (1), Christopher Holst (1), Christoph Münkel (2), and Stefan Emeis (1)

(1) Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Germany (matthias.zeeman@kit.edu), (2) Vaisala GmbH, Hamburg, Germany

The awareness of the impacts of air quality on human health have led to regulatory measures that aim to reduce particulate matter concentrations in Europe's major metropolitan areas. In Stuttgart, Germany, the air quality thresholds prescribed by law are often exceeded at street level, as the town's situation in a bowl-shaped basin furthers the accumulation of pollutants during weak-wind conditions. The current measures include a public alarm system ('Feinstaubalarm') that is intended to stimulate motor vehicle drivers into using public transport. However, if the voluntary actions to reduce emissions show ineffective, then traffic limitations may need to be enforced in the most affected areas. The alarm is set based on weather forecast and an air quality monitoring network at street level. The required forecasting skill to assess street level air quality in separate city areas would require precisely operating model chains in order to resolve the processes and surface-atmosphere interactions involved, which in turn depend on detailed knowledge of the (vertical) structure and the evolution of the urban atmospheric boundary layer (ABL) in such complex conditions.

We aim to elucidate patterns of vertical structure development of the ABL in complex, urban, non-idealized conditions. Three-dimensional observations of the ABL were collected in the City Centre of Stuttgart between February and August of 2017, as part of a Federal Ministry of Education and Research (BMBF) initiative on Urban Climate Under Change ([UC]<sup>2</sup>). A laser ceilometer and a network of three Doppler wind-lidars were deployed on roof tops in the city centre, providing continuous observations of the cloud base, the mixing-layer height and vertical/horizontal profiles of the wind field in a 1 km<sup>2</sup> domain. We show first results of the contrasting evolution of vertical structure patterns between typical winter and summer days. The findings highlight the influence of topography and spatial variability in the urban built-up form on the flow field in the ABL and the development of local circulations in a real-life urban setting.

## Den Dreh mit der Drehung raus haben – Effiziente Wahl der Betriebsrichtung

Sven Eiermann (1), Isabel Metzinger (1), Dirk Zinkhan (1), Sabine Haase-Straub (1), Thomas Wetter (1), Björn-Rüdiger Bekmann (1), Jürgen Klüver (2), and Christina Klüver (2)

(1) Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany (isabel.metzinger@dwd.de) , (2) Universität Duisburg-Essen, COBASC-Research Group

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Luftfahrtforschungsprogramm wird im Projekt Weather Visualisation for ATC (WxVis4ATC) untersucht, in welcher Form Wetterinformationen optimal für die Endnutzer bei der Deutschen Flugsicherung aufbereitet werden können. Ziel soll sein, flugrelevante, meteorologische Daten möglichst anwenderfreundlich zu visualisieren und so interpretationsfrei und prozessorientiert zur Verfügung zu stellen.

Eine Entwicklungsaufgabe des DWD in diesem Projekt betrifft Windrichtung und -geschwindigkeit. Windinformationen werden z.B. von den Fluglotsen benötigt zur Wahl der Betriebsrichtung. So kann ein Wechsel der Windrichtung und -stärke einen Wechsel der genutzten Landebahn zu einem ungünstigen Zeitpunkt erforderlich machen und sogar zur Sperrung einer Bahn führen.

Im Rahmen eines früheren Projektes (iPort) des Luftfahrtforschungsprogramms wurde ein ensemble-basiertes probabilistisches Vorhersageverfahren für Windrichtung und -stärke prototypisch für den Flughafen Frankfurt entwickelt. Das Verfahren basiert auf dem COSMO-D2-EPS. Dies ist das beim Deutschen Wetterdienst entwickelte Ensemblevorhersagesystem (EPS) auf der konvektionserlaubenden Skala. Durch den Einsatz des COSMO-D2-EPS können die Unsicherheiten der rein deterministischen Vorhersage quantifiziert und so im Entscheidungsprozess zur Wahl der Landebahnrichtung berücksichtigt werden. In diesem Verfahren werden Rücken- und Seitenwinde sowie Überschreitungswahrscheinlichkeiten für entsprechende Grenzwerte und Quantile für ausgewählte Gitterpunkte entlang des Gleitpfades berechnet, visualisiert und webbasiert den Nutzern zur Verfügung gestellt.

Um die Auswertung der Ergebnisse insbesondere für den nicht meteorologisch geschulten Nutzer zu vereinfachen, wurde ein Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt, das die Interpretation mit Hilfe von KI Methoden vornimmt und für jeden Zeitpunkt im Vorhersagezeitraum eine optimale Betriebsrichtung vorschlägt. Hierfür werden die vorliegenden Quantile für jeden Zeitschritt und jeden Vorhersagepunkt entlang des Gleitpfades durch ein Self-Enforcing Network (SEN), ein spezielles neuronales Netz, interpretiert und in Bezug auf die optimale Betriebsrichtung zu diesem Zeitpunkt klassifiziert. Die Referenz wurde auf der Basis von faktischen Betriebsrichtungswechseln eines Jahres ermittelt. Das Ergebnis wird in einer einfach verständlichen Grafik zur Unterstützung des Entscheidungsprozesses der Lotsen auf einer Webseite visualisiert.

Der Vortrag stellt diesen Entwicklungsteil des Projekts LuFo-WxVis4ATC vor und beschreibt den geplanten Aufbau des Entscheidungsunterstützungssystems zur Wahl der Betriebsrichtung beispielhaft für den Flughafen Frankfurt.

## **Exemplarische Analyse des turbulenten Windfelds in einem Stadtbereich von Münster – Vergleich von Ergebnissen turbulenzauflösender Beobachtungen und Simulationen mit dem LES Modell PALM**

Bastian Paas, Timo Zimmermann, and Otto Klemm

University of Münster, Institute of Landscape Ecology, Climatology, Münster, Germany (bastian.paas@uni-muenster.de)

In Europa leben mehr als 70% aller Menschen in Städten. Die städtische Atmosphäre ist durch dreidimensionale Strukturen, hohe Versiegelung und verschiedene anthropogene Emissionen gegenüber der Atmosphäre des ruralen Umlands erheblich modifiziert. Das urbane Windfeld ist stark heterogen und beeinflusst durch zahlreiche Hindernisse. Kenntnis über einen zeitlich und räumlich bis in Turbulenzskalen aufgelösten Windvektor ist insbesondere im städtischen Raum von großer Bedeutung, da das Strömungsfeld maßgeblich bestimmt, wie Luft lokal ausgetauscht wird. Luftaustauschprozesse steuern unter anderem die für Städte wichtige Transmission von Luftschadstoffen sowie die Kaltluftzufuhr bei Hitzewetterlagen. Der Transport von Frischluft wird aus stadtplanerischer Sicht auch im Zuge von nötigen Anpassungsstrategien an die prognostizierte Erwärmung des globalen Klimas in Zukunft immer wichtiger.

Im Bereich der Stadtplanung und Begutachtung werden seit Jahrzehnten Modelle mit Reynolds-gemittelten Gleichungssystemen (engl. Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, RANS) zur Bewertung von Strömungsverhältnissen oder der Luftqualität in städtischen Gebieten eingesetzt. Es ist jedoch bekannt, dass RANS-Modelle im Nahbereich von Hindernissen, wie Gebäuden oder großen Vegetationselementen, die mittlere Strömung nicht hinreichend genau erfassen können. Grobstruktursimulationen (engl. Large-Eddy Simulation, LES) liefern gegenüber RANS-Modellen neben einer präziseren Berechnung der mittleren Windfelder in komplexem Gelände in Hindernisnähe darüber hinaus Informationen über statistische Eigenschaften des Windes wie z.B. Böen. So können mit LES bei der Schadstoffausbreitungssimulation auch Spitzenkonzentrationen berechnet werden.

Im Stadtgebiet von Münster wurden zur Erfassung des turbulenten lokalen Windfelds hochfrequente mobile Messungen mit einem Ultraschallanemometer auf einem Lastenfahrrad durchgeführt. Während der Fahrt mit dem Lastenfahrrad wurden weiterhin GPS Koordinaten sowie die Ausrichtung des Anemometers miterfasst und der Windvektor im Nachhinein richtungs- und geschwindigkeits-korrigiert. Des Weiteren kam ein zusätzliches Anemometer als Referenz in einer Straßenschlucht zum Einsatz. Dasselbe Teilgebiet der Stadt Münster, welches in der Feldkampagne Berücksichtigung fand, wurde nachmodelliert und eine Strömungssimulation mit 1-m-Gitterauflösung des Rechengebiets durchgeführt. Hierfür kam das LES-Modell PALM zum Einsatz.

Die Analyse beleuchtet die Unterschiede zwischen Beobachtungen und LES-Simulationen des komplexen Windfelds in einem kleinen Ausschnitt einer realen Stadt. Der Simulation sind zusätzlich Informationen über die turbulenten Eigenschaften der Strömung entnommen worden, welche in Hinsicht auf turbulente Schwankungen der Windrichtung und -Geschwindigkeit untersucht wurden. Die Ergebnisse beider Methoden konnten räumliche Strömungsmuster eindeutig identifizieren. Bereiche, in denen Böen bevorzugt auftreten, konnten spezifiziert werden. Turbulente Schwankungen des Geschwindigkeitsbetrags und der Windrichtung wurden quantitativ bestimmt.

## Der Dynamische Zustandsindex als Diagnosetool von skalenabhängigen atmosphärischen Prozessen

Annette Mueller, Peter Névir, and Henning Rust

Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin, Germany (annette.mueller@met.fu-berlin.de)

Der Dynamische Zustandsindex (DSI) ist eine skalare Größe, die lokale Abweichungen von einem stationären, adiabatischen und reibungsfreien Grundzustand wiedergibt. Daher können mit dem Konzept des dynamischen Zustandsindex instationäre, diabatische und reibungsbehaftete atmosphärische Prozesse diagnostiziert werden, welche eng mit Niederschlagsprozessen und frontalen Strukturen verbunden sind. Der Dynamischen Zustands Index wurde 2004 als Anwendung der Energy-Wirbel Theorie aus den nicht-hydrostatischen, ursprünglichen Gleichungen abgeleitet.

Das Konzept des DSI kann auch auf reduzierte atmosphärische Modelle wie dem quasi-geostrophische (QG)-Modell und dem barotropen Rossby-Modell übertragen werden. Da diese Modelle für die Beschreibung der atmosphärischen Dynamik auf unterschiedliche Skalen anwendbar sind, ermöglichen die verschiedenen DSI-Varianten eine Diagnose der instationären, diabatischen und reibungsbehafteten atmosphärischen Prozesse auch auf verschiedenen Skalen. Auf Basis von COSMO-DE Reanalyse Daten des Deutschen Wetterdienstes und den ERA-INTERIM Reanalyse Daten des europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage wird bestätigt, dass die DSI-Varianten skalenabhängige atmosphärische Prozesse diagnostizieren können. So korreliert beispielsweise der DSI basierend auf den primitiven Gleichungen stark mit zellulären Niederschlagsstrukturen und ist daher sinnvoll auf der konvektiven Skala anwendbar. Der DSI für das quasi-geostrophische Modell gibt hingegen größer-skalige Niederschlags-Cluster wieder und ist daher geeignet, um atmosphärische Prozesse auf der Mesoskala zu diagnostizieren. Der Dynamische Zustandsindex für das Rossby-Modell kann hingegen für die Identifizierung großskaliger Wellen- und Wirbelstrukturen auf der synoptischen Skala eingesetzt werden, wie am Beispiel einer Omega-Blockierung gezeigt wird.

## **Einfluß der Erweiterung der Stadt Wien auf den thermischen Komfort der Einwohner**

Philipp Weihs (1), Heidelinde Trimmel (1), Herbert Formayer (1), Christian Gützer (1), Imran Nadeem (1), Sandro Oswald (1), Stephanie Faroux (2), Robert Schoetter (2), Valery Masson (2), Michael Revesz (1), and Kristofer Hasel (1)

(1) Universität für Bodenkultur, Inst. fuer Meteorologie, Wien, Austria (weihs@mail.boku.ac.at), (2) CNRM, CNRS-Météo France, Toulouse, France

Eine Zunahme von 10% der Bevölkerung im Großraum Wien wird bis zum Jahr 2030 erwartet. Dies wird eine Verdichtung und Erweiterung des Ballungsraumes nach sich ziehen, wobei Stadtbewohner bereits jetzt unter Hitzestress während der Sommermonate leiden.

Im Rahmen des Projekts URBANIA wird der Einfluß einer Stadterweiterung auf den Wärmeinseleffekt der Stadt Wien untersucht. Die Untersuchungsmethode beinhaltet einerseits eine Modellierung über mehrere Maßstabbereiche. Das Mikroskalige Modell (Town Energy Balance Modell (TEB)) wird in das Mesoskalige Modell WRF eingebettet. Die Modelle wurden zuerst anhand von Messungen, welche in ausgesuchten Vierteln von Wien durchgeführt wurden, validiert. In weiterer Folge wurden mit dem gekoppelten multiskaligen Modell verschiedene Stadterweiterungsszenarien im Kontext eines sich wandelnden Klimas simuliert. Der thermische Komfort der Bevölkerung wurde mit Hilfe des universal thermal climate index (UTCI) berechnet. Die meteorologischen Verhältnisse in Wien zeigen bereits jetzt sehr inhomogene Verhältnisse, die z.B. zu Unterschieden von bis zu 6°C auf der UTCI Skala zwischen einzelnen Bezirken führen. Erste Simulationen zeigen, dass während bei einer Verdichtung des Wohnraums nur geringe Änderungen kleiner als 0.1 °C der mittleren Lufttemperatur des Stadtgebietes zu erwarten sind, die Stadterweiterung aber lokal zu einer Erhöhung der Lufttemperatur größer als 1 °C führen könnte.

In der Mikroskala zeigen ausserdem die Simulationen, dass Vegetation einen abkühlenden Effekt auf das Klima hat.

Eine starke Erhöhung der Albedo im Straßencanyon führt einerseits zu einer Reduktion der Lufttemperatur andererseits zu einer leichten Erhöhung des thermischen Stress beim Menschen. Fassadenintegrierte Photovoltaik hat erstaunlicherweise einen positiven Effekt auf den thermischen Komfort in einem urbanen Canyon.

## 5 Jahre automatische Hagelmessung in der Schweiz – Aufbau eines nationalen Messnetzes

Martin Löffler-Mang (1) and Urs Germann (2)

(1) htw saar, University of Applied Sciences, Saarbrücken, Germany (loeffler-mang@htwsaar.de), (2) MeteoSvizzera, Locarno, Switzerland

Wenn Hagel heute messtechnisch erfasst wird, geschieht dies fast immer noch mit sogenannten Hailpads. Das sind Platten mit einer Fläche von ungefähr einem Quadratmeter aus einem relativ weichen Material. In diesen Platten hinterlässt jedes aufgetroffene Hagelkorn einen charakteristischen Eindruck. Nach dem Hagelereignis müssen die Platten eingesammelt und die Einschlagsdellen ausgewertet werden. Danach ist das Hailpad nicht mehr zu gebrauchen. Eine automatische, operationelle und zeitlich aufgelöste Hagelcharakterisierung ist mit dieser Methode praktisch nicht möglich.

Ziel war deshalb vor fast zwei Jahrzehnten an der htw saar die Entwicklung eines einfachen und zuverlässigen Hagelsensors auf der Basis einer Signalerfassung mit Mikrofonen und einer schnellen Signalanalyse. Voruntersuchungen lieferten erste erfolversprechende Ergebnisse bei Verwendung einer PVC-Platte und einfachsten Piezo-Mikrofonen. Darauf aufbauend wurden systematische Untersuchungen mit verschiedenen Sensorköpfen, Mikrofonen und "Kunsthagel" durchgeführt.

Als Ergebnis ist daraus ein automatischer, netzwerkfähiger Hagelsensor (HaSe) entstanden, der die Schwingungen einer runden Makrolonplatte (ca. 50 cm Durchmesser) mit einem Piezo-Mikrofon analysiert und daraus in Echtzeit die Größe und kinetische Energie von Hagelkörnern ableitet.

In einem Vorprojekt hatte MeteoSwiss ab 2014 die Firma inNET Monitoring AG aus Altdorf (CH) beauftragt, in der hagelintensiven Region um Luzern ein kleines Hagelmessnetz aus sieben Sensoren aufzubauen. Bereits in den ersten drei Betriebsjahren konnten einige eindruckliche Hagelunwetter aufgezeichnet werden und es ergab sich eine gute Übereinstimmung der Bodenmessungen mit entsprechenden Radardaten, sowohl zeitlich als auch von den erwarteten Hagelkorngrößen.

Deshalb wurde von MeteoSwiss ein grösseres Projekt mit 80 Hagelsensoren aufgesetzt und mit der Mobiliar Versicherung konnte der Finanzierungspartner für den Bau und Betrieb der Hagelsensoren gefunden werden. Der von der saarländischen Hochschule entwickelte Prototyp, der noch im Vorprojekt zum Einsatz gekommen war, war in der Zwischenzeit von den deutschen Firmen dimeto GmbH und Kisters AG zu einem serienreifen Produkt weiterentwickelt worden. Mit diesem HaSe wurde das Vorprojekt-Netzwerk in 2018 um 25 neue Sensoren erweitert.

In 2019 und 2020 soll nun auch das Tessin als weiterer Hagel-Hotspot, sowie die Region entlang des Schweizer Juras mit HaSen ausgestattet werden, so dass insgesamt ein Messnetz von 80 Sensoren entstehen wird. Das Projekt hat eine Laufzeit von insgesamt 8 Jahren. Die Messungen der Hagelsensoren sind die Basis für die Verifikation und Verbesserung der Radarhagelprodukte und damit auch für alle abgeleiteten Hagelprodukte von der Messung und Warnung zur Vorhersage und Klimatologie. In einem separaten Projekt arbeitet MeteoSwiss zusammen mit Partnern aus der Versicherungsbranche an einer neuen nationalen Hagelklimatologie.



## **Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate**

Lukas Brunner (1), Christian Unterberger (3), Stefan Nabernegg (2,4), Karl Steininger (2,4), Andrea Steiner (2,4), Edith Stabentheiner (2), Stephan Monschein (2), and Heimo Truhetz (2)

(1) ETH Zürich, Zürich, Switzerland (lukas.brunner@env.ethz.ch), (2) Wegener Center, University of Graz, Austria, (3) Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, Switzerland, (4) FWF-DK Climate Change, University of Graz, Graz, Austria

Spring frosts, as experienced in Europe in April 2016 and 2017, pose a considerable risk to agricultural production, with the potential to cause significant damages to agricultural yields. Meteorological blocking events (stable high-pressure systems) have been shown to be one of the factors that trigger cold spells in spring. While current knowledge does not allow for drawing conclusions as to any change in future frequency and duration of blocking episodes due to climate change, the combination of their stable occurrence with the biological system under a warming trend can lead to economic damage increases. To evaluate future frost risk for apple producers in southeastern Styria, we combine a phenological sequential model with highly resolved climate projections for Austria. Our model projects a mean advance of blooming of  $-1.6 \pm 0.9$  days per decade, shifting the bloom onset towards early April by the end of the 21st century. Our findings indicate that overall frost risk for apple cultures will remain in a warmer climate and potentially even increase due to a stronger connection between blocking and cold spells in early spring that can be identified from observational data. To prospectively deal with frost risk, measures are needed that either stabilize crop yields or ensure farmers' income by other means. We identify appropriate adaptation measures and relate their costs to the potential frost risk increase. Even if applied successfully, the costs of these measures in combination with future residual damages represent additional climate change related costs.

## Über die weltweite Detektion von kohärentem Infraskall in Regionen orografischer Schwerewellen

Patrick Hupe (1), Lars Ceranna (1), Christoph Pilger (1), Alexis Le Pichon (2), Markus Rapp (3,4)

(1) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland (Patrick.Hupe@bgr.de), (2) Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Arpajon, Frankreich, (3) Institut für Physik der Atmosphäre, DLR, Oberpfaffenhofen, Deutschland, (4) Meteorologisches Institut, Ludwig-Maximilians-Universität, München, Deutschland

In den 1970er Jahren wurden Infraskall-Beobachtungen von sogenannten Mountain-Associated Waves (MAWs) berichtet – niederfrequente Schallwellen, deren Anregung mit Gebirgen in Verbindung gebracht wurde. Beobachtungen der kohärenten Signale mit Perioden von 10 s bis 100 s beschränkten sich auf wenige, mit Mikrobarometern ausgestattete Standorte. Verschiedene Theorien zum Mechanismus der Quellenerzeugung standen im Raum. Die atmosphärische Variabilität schien jedoch die Beurteilung des genauen Mechanismus zu erschweren, zumal sich Infraskall allgemein über große Entfernungen in der Atmosphäre ausbreiten kann. Heutzutage ermöglicht das Infraskall-Netzwerk des Internationalen Monitoring Systems (IMS), das zur Überwachung der Einhaltung des umfassenden Verbots von Nuklearversuchen konzipiert wurde, die weltweite Erkennung von niederfrequentem Schall, einschließlich der MAW-Ereignisse.

In dieser Studie wird das Infraskall-Netzwerk des IMS verwendet, um globale Quellregionen von MAWs zu identifizieren. Zu diesem Zweck wird auf Basis des 15-jährigen Datensatzes eine Kreuzpeilungsmethode auf monatliche Detektionen von MAWs angewendet. Dominante MAW-Quellregionen finden sich insbesondere in mittleren Breiten beider Hemisphären. Das Hochland von Tibet in Asien und die Anden in Südamerika dominieren die Detektionen an Infraskallstationen. MAWs werden nahezu ganzjährig beobachtet, vermehrt jedoch im Winter. Die saisonale Variabilität der detektierten Amplituden wird auf die atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen zurückgeführt.

Die globalen Quellregionen und die saisonale Variabilität von MAWs ähneln denen orografischer Schwerewellen. Beide Phänomene sind offensichtlich durch die Topografie verknüpft. Es wird darüber hinaus gezeigt, dass die jährliche Variabilität der MAW-Aktivität qualitativ mit der Schwerewellenaktivität übereinstimmt. Monatliche Vergleiche von MAW-Quellregionen mit stratosphärischen Schwerewellenparametern, die aus Satellitenbeobachtungen abgeleitet wurden, zeigen, dass MAWs auch in Regionen beobachtet werden, in denen die Ausbreitung von Schwerewellen in die obere Stratosphäre unterdrückt ist. Somit sind MAWs – trotz der unterschiedlichen Skalen beider Phänomene – sehr wahrscheinlich mit orografischen Schwerewellen in der Troposphäre verknüpft. Das IMS-Infraskall-Netzwerk bietet somit die einzigartige Möglichkeit, das Auftreten orografischer Schwerewellen in der Troposphäre global abzuschätzen.



## **PALM-4U: Ein neues Stadtklimamodell zur Anwendung auf Hochleistungsrechnern: Modellüberblick und Leistungsfähigkeit**

Björn Maronga and the MOSAIK Konsortium

Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, Germany  
(maronga@muk.uni-hannover.de)

Mit der wachsenden Zahl von Menschen, die in verdichteten städtischen Umgebungen leben/arbeiten, wird die Stadtplanung im Sinne menschlicher Gesundheit und Wohlbefinden immer wichtiger, mit Berücksichtigung von Faktoren wie thermischer Komfort, Luftqualität, Belüftung und UV Exposition. Zur Unterstützung von Bauentscheidungen kommen Stadtklimamodelle (SKM) zum Einsatz, um den Effekt bestehender und geplanter Gebäude, Fassaden- und Stadtbegrünung, etc. auf diese Faktoren abzuschätzen. Es wurde ein hocheffizientes mikroskaliges SKM namens PALM-4U entwickelt, mit dem gebäudeauflösende Simulationen ganzer Städte mit Vegetation unter Abbildung der wichtigen physikalischen Prozesse in urbaner Umgebung möglich sind. PALM-4U ist Teil des Modellsystems PALM (<http://palm-model.org>). Zwar existieren zahlreiche in Wissenschaftskreisen fest etablierte SKM, diese sind jedoch schwierig an modernste parallele Rechnersysteme anzupassen und daher meist nicht so umfangreich einsetzbar. Mit PALM-4U ist es möglich ganze Stadtgebiete wie Berlin (~ 1700 km<sup>2</sup>) mit gebäudeauflösender Gitterweite (hier 15 m) auf Höchstleistungsrechnern zu simulieren. PALM-4U bildet verschiedenste relevante Prozesse ab, wie z.B. den Wärme- und Strahlungstransfer zwischen urbanen/natürlichen Oberflächen und der Atmosphäre, chemische Reaktionen, und es beinhaltet Funktionalitäten wie biometeorologische Analyseprodukte, sowie Gitternesting um Fokusgebiete räumlich feiner aufzulösen. Im Unterschied zu existierenden Stadtklimamodellen arbeitet PALM-4U turbulenzauflösend und kann damit nicht nur den mittleren Zustand der städtischen Grenzschicht simulieren, sondern auch kleinskalige Fluktuationen (in Raum und Zeit) explizit auflösen.

In diesem Beitrag geben wir ein Überblick über die Fähigkeiten des PALM(-4U) Modellsystems mit speziellem Fokus auf die Anwendung auf Hochleistungsrechnern. Wir werden diskutieren, welche Komponenten des Modellsystems maßgeblich für den Rechenaufwand verantwortlich sind, das Optimierungspotenzial sowie die daraus resultierenden Implikationen für die Anwendung des Modells in Wissenschaft und Praxis. Weiterhin werden wir die Performanz anhand einer Beispielsimulation für Gesamtberlin bei Verwendung einer Gitterweite von 15 m demonstrieren.

## **Mehrjährige NDMC-Messungen im Alpenraum: Ableitung intrinsischer Wellenparameter und vertikaler Wellenlängen von Schwerewellen sowie ihrer Energie**

Sabine Wüst (1), Michael Bittner (1,2), Patrick Hannawald (2), Christoph Jacobi (3), Thomas Offenwanger (1), Martin G. Mlynczak (4), James M. Russell III (5), Carsten Schmidt (1), René Sedlak (2), Gunter Stober (6), and Jeng-Hwa Yee (7)

(1) DLR, DFD-ATM, Wessling, Germany (sabine.wuest@dlr.de), (2) Universität Augsburg, Institut für Physik, Augsburg, Germany, (3) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Leipzig, Germany, (4) NASA Langley Research Center, Hampton, USA, (5) Center for Atmospheric Sciences, Hampton, USA, (6) Institut für Atmosphärenphysik, Kühlungsborn, Germany, (7) Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University, Laurel, USA

Beobachtungen des Airglows stellen eine exzellente Möglichkeit dar, dynamische Prozesse in dem sonst messtechnisch eher schwer zugänglichen Höhenbereich der oberen Mesosphäre und unteren Thermosphäre zu untersuchen. OH- und O<sub>2</sub>-Airglowmessungen bilden den Schwerpunkt des weltweiten Netzwerks NDMC (Network for the Detection of Mesospheric Change, <https://ndmc.dlr.de/>).

Im Alpen- bzw. Alpenvorraum befindet sich das dichteste NDMC-Subnetzwerk baugleicher Geräte mit dem Fokus auf OH-Airglow. An fünf Standorten werden insgesamt sechs GRIPS-Spektrometer (Ground based Infrared P-branch Spectrometer) der neuen Generation und drei FAIM-Kamerasysteme (Fast Airglow IMager) betrieben. Dies ermöglicht die Ableitung einer Vielzahl von räumlichen und zeitlichen Schwerewellenparametern.

Vorgestellt werden Auswertungen mehrjähriger FAIM-Messreihen hinsichtlich Periodendauern, horizontaler Wellenlängen und Phasengeschwindigkeiten von Schwerewellen im Alpen- bzw. Alpenvorraum. In Fallstudien wird auf turbulente Phänomene in FAIM-Messungen eingegangen.

Die Hinzunahme von zusätzlichen Messungen, wie des Horizontalwindes in Höhe der OH-Airglowschicht z.B. durch ein Meteorwindradar oder des vertikalen Temperaturprofils z.B. durch das Satelliteninstrument TIMED-SABER (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics Dynamics, Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry), erlaubt die Ableitung vertikaler Wellenlänge von Schwerewellen und ihrer potentiellen Energie aus GRIPS-Messungen. Analysen der Dichte der potentiellen Energie basierend auf mehrjährigen Datenreihen der verschiedenen Standorte werden vorgestellt und verglichen.

Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund vertikaler Temperatur- und Windfelder diskutiert und Rückschlüsse auf die vertikale Kopplung gezogen.



## **Abschätzung dynamischer und thermodynamischer Anteile des beobachteten Klimawandels vor Ort, in Deutschland und Europa.**

Peter Hoffmann

Potsdam Institute for Climate Impact Research, Climate Impacts & Vulnerability, Potsdam, Germany  
(peterh@pik-potsdam.de)

Eine der grundlegenden Fragen der Klimaforschung ist es, zu welchen Anteilen die beobachteten lokalen und regionalen Veränderungen auf dynamische bzw. thermodynamische Faktoren zurückzuführen sind. Bislang gibt es darauf keine zufriedenstellende Antwort. Um sich einer Antwort auf die Problemstellung zu nähern, wurde folgendes Konzept gewählt:

- (1) nimm eine lange Temperatur- oder Niederschlagszeitreihe (1961-2017) und berechne kumulative Anomalien der Jahres- bzw. Jahreszeitenwerte zur Klimareferenz (1961-1990)
- (2) nimm tägliche Wetterlagenklassifikationen (z.B. nach Hess/Brezowsky) für den gleichen Zeitraum und berechne für jede Klasse und Monat einen Langzeitmittelwert der Temperatur bzw. des Niederschlags.
- (3) baue aus den Wetterlagenabfolgen und den Monatswerten eine neue Temperatur- oder Niederschlagszeitreihe zusammen und berechne die kumulativen Anomalien der Jahres- bzw. Jahreszeitenwerte zur Klimareferenz (1961-1990)

Die Ergebnisse dieser Methode zeigen vor Ort in Potsdam, dass nur etwa 0.2 Grad von insgesamt 1.0 Grad der Erwärmung seit den 90er Jahren auf dynamische Faktoren, d.h. veränderte Abfolgen von Wetterlagen, zurückgeführt werden kann. Die Niederschlagsentwicklungen bei den kumulativen Anomalien zeigen erstaunlicherweise eine hohe Synchronität der multi-dekadischen Schwankungen. In der Gegenwart liegen die Werte am höchsten. Folglich lassen sich die langfristigen Niederschlagsentwicklungen fast ausschließlich durch dynamische Veränderungen abbilden. Unter Verwendung eines europäischen Rasterdatensatzes (E-OBS) wurde die Methode auf Deutschland und Europa skaliert und getestet. Die Ergebnisse geben neue Einsichten darüber, in welchen Regionen welche Anteile stärker dominieren.

## **Analyse des Nebellebenszyklus in der Namib-Wüste mit dem COSMO-Modell**

Maike Hacker (1), Bianca Adler (2), Hendrik Andersen (2), Jan Cermak (2), Norbert Kalthoff (2), Robert Spirig (3), Roland Vogt (3), and Andreas Bott (1)

(1) Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Deutschland (mhacker@uni-bonn.de), (2) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, (3) Universität Basel, Basel, Schweiz

In trockenen Regionen stellen Nebelereignisse eine bedeutende Wasserquelle für die Pflanzen- und Tierwelt dar. In der Trockenwüste Namib an der Südwestküste Afrikas könnten diese aufgrund der seltenen und unregelmäßigen Niederschläge ohne Nebeldeposition nicht existieren. Genaue Kenntnisse der räumlichen und zeitlichen Entwicklung von Nebelereignissen und das Verständnis der beteiligten Prozesse sind deswegen unerlässlich.

Das Ziel dieser Studie ist es, mithilfe von numerischen Simulationen zu verstehen, welche Prozesse die räumliche und zeitliche Ausbreitung von Nebel in der Namib-Wüste beeinflussen. Über dem kalten Benguelastrom vor der Westküste Afrikas bildet sich stratiforme Bewölkung, die u. a. durch mesoskalige Zirkulationen landeinwärts transportiert wird. Deren Beschreibung erfordert ein dreidimensionales numerisches Modell. In dieser Studie im Rahmen des DFG-Projektes NaFoLiCA (Namib Fog Life Cycle Analysis) werden fünf verschiedene Nebelereignisse mit dem numerischen Wettervorhersagemodell COSMO (Consortium for Small-Scale Modeling) untersucht und die Modellsimulationen mit Satelliten- und Bodenbeobachtungen verglichen. COSMO zeigt, insbesondere tagsüber, eine Unterschätzung der räumlichen Ausdehnung des Stratus über dem Atlantik. Abweichend von lokalen Beobachtungen wird Stratusbewölkung vorwiegend entlang der Atlantikküste erzeugt. Die Analyse der Tendenzen der relativen Feuchte zeigt, dass Abkühlung der entscheidende Prozess ist, der dort zur Wolkenbildung führt. Tuning der Modellparameter führt zu einer besseren Übereinstimmung des Bedeckungsgrades mit Satellitenbeobachtungen bei Nacht, dennoch bleibt die starke Unterschätzung der Nebelausdehnung über dem Atlantik tagsüber bestehen.

## **Die Partnach-Sturzflut 2018: Erste Ergebnisse zur hydrologischen Modellierung mit WRF-Hydro und Radardaten**

Christian Chwala (1), Benjamin Fersch (1), Joachim Bialas (1), Johannes Werhahn (1), Gerhard Smiatek (1), Harald Kunstmann (1,2)

(1) Karlsruhe Institute of Technology (IMK-IFU), Institute of Meteorology and Climate Research, Garmisch-Partenkirchen, Germany (christian.chwala@kit.edu), (2) Institute for Geography, Regional Climate and Hydrology, University of Augsburg, Augsburg, Germany

Am 12. Juni 2018 verzeichnete der Partnachpegel in Garmisch-Partenkirchen (Deutschland) einen extrem schnellen Anstieg des Wasserstands. Innerhalb von 30 Minuten vervielfachte sich der Durchfluss von MQ (mittlerer Abfluss) zu annähernd HQ10 (10 jähriges Hochwasser). Der schnelle Anstieg des Wasserstands ging einher mit erheblicher Sedimentfracht und führte zu starker Erosion im Bereich der Partnachklamm und forderte außerdem ein Todesopfer im Überschwemmungsbereich. Grund für den Pegelanstieg war ein starkes, lokal-konvektives Ereignis über dem Teileinzugsgebiet Ferchenbach. In diesem schlecht zugänglichen, steilen und bewaldeten Teileinzugsgebiet könnte aber zusätzlich auch eine Verklausung und deren Bersten den extrem schnellen Pegelanstieg mitverursacht haben.

Im relevanten Gebiet befanden sich keine Messtationen zur Erfassung des Niederschlags. Daher kommen einzig Wetterradardaten für den Antrieb einer hydrologischen Simulation zur Analyse des Ereignisses in Frage. Durch die gebirgige Topographie des Einzugsgebiets und die hohen Gipfel zwischen Radarstandort und Einzugsgebiet stellt die Niederschlagsschätzung mittels Radar jedoch eine Herausforderung dar.

Wir modellieren das Einzugsgebiet mit dem verteilten physikalischen Modellsystem WRF-Hydro, mit 100 Meter räumlicher und bis zu 5 Minuten zeitlicher Auflösung. Als Niederschlagsantrieb verwenden wir das offizielle Pluviometer-angeeichte Radarprodukt des Deutschen Wetterdienstes (DWD) RADOLAN-RW, eine eigene Prozessierung der polarimetrischen Radarrohdaten von zwei DWD Standorten in Südbayern, sowie Daten unseres eigenen X-Band Radars. Wir zeigen erste Ergebnisse der Modellierung des Hochwasserereignisses am 12. Juni und diskutieren ob der schnelle Pegelanstieg ohne Verklausung möglich war. Dabei betrachten wir sowohl die Unsicherheiten des Modells als auch jene des verwendeten Niederschlagantriebs.



## **Simulation of present and expected future runoff in a complex terrain Alpine catchment with EURO-CORDEX data**

Gerhard Smiatek and Harald Kunstmann

Karlsruhe Institute of Technology (KIT), IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen, Germany (gerhard.smiatek@kit.edu)

Data from seven regional climate models, run within the Coordinated Regional Climate Downscaling Experiments (EURO-CORDEX) experiments are applied to evaluate the reproduction of observed runoff and access its expected future changes of a mesoscale Alpine river by applying the distributed hydrological simulation model WaSiM. The modeling domain covers the complex terrain of the Ammer catchment located in the German Alps. Its size is round 600 km<sup>2</sup> and the elevation ranges from 500 to 2000 m. The hydrology model is operated with a spatial resolution of 100 m and with a daily time step with temperature, precipitation, wind, relative humidity and shortwave radiation input. The investigated periods are 1981-2008 for the data from CORDEX evaluation runs, 1975 - 2005 for the historical runs and 2050 - 2100 for RCP4.5 scenario runs.

The contribution investigates the bias present in the CORDEX precipitation data and discusses the necessity and approaches of a bias correction for all variables. We finally analyze present and future river discharge based on simulated flow duration curves (FDCs). Obtained results show an increase in high flows in the future. Flow return periods obtained from a larger sample of highest flows over 50 years reveal for 2050 - 2100 lower return periods for high runoff values compared to 1955 - 2005.



## **Local diagnostics of Rossby wave packet properties – Seasonal variability, forecast biases and relation to temperature extremes**

Georgios Fragkoulidis (1), Volkmar Wirth (1), Philipp Zschenderlein (2), and Andreas H. Fink (2)

(1) Johannes Gutenberg University, Mainz, Institute for Atmospheric Physics, Physics, Germany , (2) Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Institute of Meteorology and Climate Research, Germany

Investigating the dynamics of the large-scale atmospheric flow constitutes an important quest toward a better understanding of weather and climate. Since the upper-tropospheric circulation tends to organize in eastward propagating Rossby wave packets (RWPs), it is important to work on diagnostics of their local characteristics. Here, we employ a numerical implementation of the Hilbert transform on the 300hPa meridional wind field in order to diagnose their amplitude, phase and group velocity locally. Using reanalysis data, the seasonal variability and spatial distribution of the derived fields are presented. In addition, their role for the occurrence and duration of temperature extremes is investigated. Strong RWP amplitudes are found to be associated with increased probability of temperature extreme occurrence in many areas of the Northern Hemisphere, while phase velocity is an important factor for their duration. Finally, we report on systematic biases in ERA-Interim medium-range forecasts of the aforementioned RWP properties and suggest that they contribute to the observed underestimation of temperature extreme duration in many parts of the Northern Hemisphere. Overall, this work demonstrates applications of novel diagnostics on local RWP properties and suggests that a correct representation of their evolution is crucial in predicting the magnitude and persistence of Northern Hemisphere temperature extremes.

## **Projekt LandCover4Wind: Verbesserung der Windfeldprognose durch Satellitendaten der Landoberfläche**

Frank Baier, Annekatrin Metz-Marconcini, Thomas Esch, and Marion Schroedter-Homscheidt  
German Aerospace Center, German Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany (frank.baier@dlr.de)

Die Copernicus Sentinel Satelliten ermöglichen die Ableitung von Landbedeckungskarten und digitalen Geländemodellen mit sehr hohen räumlichen Auflösungen im Meterbereich. Höhere Abtastraten erlauben im Vergleich zu früheren Missionen feinere und zeitlich variable Typ-Klassifikationen. Beispielsweise ermöglicht Sentinel-2 eine Landkartierung mit einer räumlichen Auflösung von 10 m, während das Radarinstrument auf Sentinel-1 eine Geländeauflösung von 4 m erreicht. Das Projekt LandCover4Wind untersucht den Einfluss satellitenbasierter Oberflächenparameter auf die Kurzfristprognose mesoskaliger Windfelder. Ziel ist die Verbesserung von Dreitageprognosen im Höhenbereich heutiger Windenergieanlagen. Dazu wurde das Prognosemodell WRF (Weather-Research-Forecast-Model) mit unterschiedlichen Konfigurationen bzgl. Landnutzung, Oberflächenprofilaten und aerodynamischen Rauigkeitslängen für verschiedene Regionen im Bundesgebiet getestet. Im Vergleich zur Standardkonfiguration wurden hierzu CORINE Landnutzungsdaten und SRTM Geländeprofile eingesetzt. Im Rahmen der Präsentation wird der Einfluss der Bodenparameter auf die Windprognose anhand typischer synoptischer und stagnierender Wettersituationen des Jahres 2015 gezeigt. Wir diskutieren unter anderem, wie stark die Ergebnisse von der Modellauflösung und den verwendeten Boden- bzw. Grenzschicht-Parametrisierungen abhängen. Die Ergebnisse werden zusätzlich mit Turmmessungen der DWD Stationen Falkenberg und dem Wettermast der Universität Hamburg sowie mit SYNOP-Stationen verglichen. Wir zeigen, dass die Prognosegüte im Allgemeinen erheblich vom Standort und der Wettersituation abhängt. Obwohl der Einfluss der Oberflächendaten stark mit der Höhe abnimmt, kann der mittlere Windstärkefehler in 100 m Höhe bei Starkwindepisoden um bis zu 20% verringert werden.

## **Simulation von Sturmschäden in den Wäldern Deutschlands vom Einzelbaum bis zur Landschaftsskala**

Dirk Schindler

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Umweltmeteorologie, Freiburg, Germany  
(dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de)

Von allen meteorologischen Extremereignissen wiesen Stürme in den vergangenen Jahrzehnten das mit Abstand höchste abiotische Gefahrenpotenzial für die Wälder Europas auf. Als die größte Naturgefahr für die europäischen Wälder sind Winterstürme auch ein wichtiger Bestandteil der natürlichen Störungsdynamik deutscher Waldökosysteme. Sie verursachten aufgrund ihrer großräumigen Ausdehnung und der extremen Ausprägung ihrer bodennahen Windfelder die größten Schadholzmengen. Da katastrophale Sturmereignisse neben drastischen Auswirkungen auf den Betriebsablauf, einschneidende betriebswirtschaftliche, waldbaulich-ertragskundliche, forstschutzes-technische und ökologische Auswirkungen in den betroffenen Regionen zur Folge haben, und zu einem deutlichen Rückgang der Nettobiomproduktion führen können, wird seitens der Forstverwaltungen versucht, durch eine angepasste Steuerung der Struktur und Zusammensetzung von Wäldern das zukünftige, klimawandel-beeinflusste Sturmschadensrisiko in den Wäldern Deutschlands zu minimieren. Die Einschätzung des Sturmschadensrisikos für einen Waldbestand hängt dabei von einem vielschichtigen Faktorenkomplex ab, der von der lokalen Skala bis zur Landschaftsskala einen Einfluss auf das Sturmschadensrisiko hat. Zu den Faktoren, die zur Entstehung von Sturmschäden beitragen, zählen u. a. Bodeneigenschaften, Baumeigenschaften, Relief-eigenschaften und die Ausprägung von Sturmereignissen.

Um ein skalenübergreifendes forstliches Entscheidungsunterstützungssystem für die Einschätzung des Sturmschadensrisikos für Wälder entwickeln zu können, müssen zuallererst die Prozesse, die auf der Einzelbaumebene zu Sturmschäden führen, verstanden werden. Neueste Ergebnisse zu Wind-Baum-Interaktionen deuten an, dass mit zunehmender Windlast die Bedeutung dynamischer Komponenten der windinduzierten Baumreaktion für die Sturmschadensentstehung zurückgeht. Dadurch können Resonanzeffekte als regelmäßige Ursache für die Entstehung von Sturmschäden an Bäumen ausgeschlossen werden. Stattdessen steigt die Bedeutung der quasi-statischen Windlast für die Entstehung von Sturmschäden an. Das impliziert, dass räumlich hochaufgelöste, simulierte Felder der Böengeschwindigkeit bzw. der mittleren Windgeschwindigkeit während Sturmereignissen als Prädiktoren für die Entstehung von Sturmschäden an Bedeutung gewinnen.

Die Bedeutung von Resonanzeffekten für die Entstehung von Sturmschäden an Bäumen wird in diesem Beitrag kritisch diskutiert, und es wird erläutert, warum Kenntnisse über quasi-statische Wind-Baum-Interaktionen vielversprechende Optionen eröffnen, um Sturmschäden von der Einzelbaumebene bis zur Landschaftsebene simulieren zu können.

## **Mikrometeorologische Auswirkungen von offshore Windparks auf die marine Grenzschicht**

Simon K. Siedersleben (1), Julie K. Lundquist (2,3), Andreas Platis (4), Jens Bange (4), Konrad Bärfuss (5), Astrid Lampert (5), Beatriz Canadillas (6), Tom Neumann (6), and Stefan Emeis (1)

(1) Karlsruher Institut für Technologie KIT, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, (2) University of Colorado, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Boulder, Colorado, USA, (3) National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA, (4) Angewandte Geowissenschaften, University of Tübingen, Tübingen, Deutschland, (5) Institut für Flugführung, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland, (6) UL International GmbH, Oldenburg, Deutschland

In Europa haben offshore Windparks eine Kapazität von 16 GW, davon befinden sich 71 % in der Nordsee. Diese offshore Windparks erzeugen zusätzliche Turbulenz und können deswegen die marine Grenzschicht (z.B. Feuchte, Temperatur) beeinflussen.

Im Rahmen des Projekts WIPAFF wurden Flugzeugmessungen windabwärts von großen offshore Windparks durchgeführt. Während acht Flügen konnte eine Änderung der Temperatur und der Feuchte im Nachlauf der Windparks festgestellt werden. Dabei erstreckte sich der Nachlauf bis zu 70 km windabwärts unter stabilen Bedingungen. In dieser Studie präsentieren wir Flugzeugmessungen, die zeigen, dass große offshore Windparks die Temperatur um 0.5 K und die Feuchte um  $0.5 \text{ g kg}^{-1}$  auf Nabenhöhe verändern können, verglichen mit den Luftmassen außerhalb des Nachlaufs.

Mit Hilfe des Weather Research and Forecasting (WRF) Model wurde der potenzielle Einfluss aller existierender und geplanter Windparks auf die marine Grenzschicht untersucht. Dazu wurde das WRF-Model im Vorfeld mit den Flugzeugmessungen verglichen um eine solide Basis für das Zukunftsszenario zu schaffen. In den Simulationen sehen wir, dass durch die Interaktion von mehreren Nachläufen, Nachläufe mit einer Länge von über 100 km entstehen. Die Temperatur- und Feuchteänderungen bleiben aber in derselben Größenordnung wie sie in den Beobachtungen gemessen wurden.

Die Temperatur- und die Feuchteänderungen können das regionale Klima nur dann ändern, wenn der latente und sensible Wärmefluss zwischen Ozean und Atmosphäre verändert wird. Deswegen untersuchen wir mit dem WRF Model den Einfluss der Windparks auf den latenten und sensiblen Wärmefluss.

## **Statistische Simulation des bodennahen Windfeldes über Deutschland mit dem Modell WSWS für Anwendungen im Bereich der Windenergienutzung**

Dirk Schindler and Christopher Jung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Umweltmeteorologie, Freiburg, Germany  
(dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de)

Die Nutzung von Windenergie ist eine der tragenden Säulen der Energiewende in Deutschland. Bis in das Jahr 2030 soll die in Deutschland verfügbare Windressource zusammen mit Solarenergie, Wasserkraft und Biomasse 65 Prozent des deutschen Strombedarfs decken. Um die Entwicklung der Windenergienutzung in Deutschland konsistent gestalten und optimieren zu können, wurde auf der Grundlage von in den Messnetzen des Deutschen Wetterdienstes im Zeitraum 1979-2017 erhobenen Windgeschwindigkeitsdaten und ERA-Interim Daten das statistische, bivariate Wind Speed – Wind Shear (WSWS) Modell entwickelt. Im Kernmodul von WSWS werden Randverteilungen der Windgeschwindigkeit im 1000 m Höhe über Grund mit der 4-parametrischen Johnson SB-Verteilung und des Höhenexponenten mit der 4-parametrischen Dagum-Verteilung beschreiben. Der funktionale Zusammenhang zwischen den Randverteilungen der Windgeschwindigkeit und des Höhenexponenten wird dann mithilfe von Gauß-Copulas angegeben. Das Modell ist in seiner derzeitigen Form für Deutschland auf einem  $200\text{ m} \times 200\text{ m}$  Raster bis in 200 m Höhe über Grund kontinuierlich parametrisiert. Nach der Bereitstellung von Leistungskurven gängiger Windenergieanlagentypen ermöglicht WSWS auf verschiedenen Raumskalen kohärente dreidimensionale Windenergieertragsabschätzungen für in Deutschland vorkommende Nabenhöhen. Der Aufbau von WSWS ermöglicht es, Windenergieertragssteigerungen durch Änderungen am deutschen Windenergieanlagenbestand, z.B. durch Repowering, zu quantifizieren. Dadurch können auf einfache Art verschiedene Szenarien entwickelt werden, mit denen mögliche Ausprägungen der zukünftigen Windenergienutzung in Deutschland verglichen werden können.

## **Untersuchung von Low-Level Jets während der Perdigão 2017 Messkampagne hinsichtlich der Relevanz für Windenergie**

Kira Gramitzky (1), Johannes Wagner (2), Norman Wildmann (2), and Thomas Gerz (2)

(1) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Germany (kira.gramitzky@fu-berlin.de), (2) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen

Low-Level Jets (LLJ) sind Starkwindbänder in der unteren Troposphäre, die weltweit auftreten können. Sie treten üblicherweise in Höhen von 100 bis 300 m über Grund auf und sind damit hinsichtlich ihres Potentials für die Energiegewinnung von großem Interesse für die Windenergiebranche.

Von Mai bis Juni 2017 wurde im portugiesischen Perdigão eine Messkampagne durchgeführt um die Strömung über zwei parallele Bergrücken, die sich von Nordwest nach Südost erstrecken, zu untersuchen. Hierzu wurden eine Vielzahl von Doppler-Windlidaren, sowie mehr als 40 Messmasten mit Ultraschallanemometern in dem Gelände installiert. Auf dem südwestlichen Bergrücken befindet sich eine einzelne Windenergieanlage. Während der Kampagne wurden in 38 von insgesamt 49 Nächten LLJs gemessen. Diese kamen vorwiegend aus nord-östlicher Richtung und trafen somit häufig nahezu senkrecht auf die Bergrücken und die sich im Lee des nordöstlichen Bergrücken befindliche Windenergieanlage.

In dieser Arbeit soll die Ursache der Entstehung der auftretenden LLJs aus nord-östlicher Richtung erörtert werden. Zusätzlich zu den Messdaten konnten dazu mesoskalische WRF-Simulationen, die für den gesamten Kampagnenzeitraum zur Verfügung stehen hinzugezogen werden. Es gibt eine Vielzahl an Entstehungsmechanismen, die zur Ausprägung eines LLJ führen können. Ein bekannte Theorie zur Entstehung stellte Blackadar im Jahr 1957 auf. Aufgrund des Wegfalls der thermischen Reibungskomponente durch die Entstehung einer stabilen nächtlichen Grenzschicht kann es zur Entstehung einer Trägheitsoszillation und infolge dessen zur Ausprägung von supergeostrophischen Winden in der unteren Troposphäre kommen. In exemplarisch ausgesuchten Fällen konnten wichtige Merkmale dieser Theorie nicht nachgewiesen werden. Die Trägheitsoszillation reicht für eine vollständige Erklärung für die Ursache der LLJs in Perdigão somit nicht aus. Untersuchungen von Mess- und Modelldaten legen nahe, dass thermodynamische Effekte aufgrund der umliegenden Topographie einen dominanten Faktor bei der Entwicklung der nächtlichen LLJ darstellen.

Für eine Potentialabschätzung eines Standortes für Windenergie kann das Auftreten von nächtlichen LLJ ein entscheidender Vorteil sein, da sie stark zur nutzbaren Leistung beitragen. Gerade in komplexem Gelände führen die lokalen Windmaxima allerdings auch zu untypischen Lasten mit starker Windscherung, Winddrehung und Schräganströmung der Rotoren. Anhand von Lidardaten wurden diese Effekte für die auftretenden LLJ untersucht.

## Urban Ventilation for typical summer and heatwave events in Hong Kong

Ge Cheng (1), David Grawe (1), K. Heinke Schlünzen (1), Chao Ren (2), and Isabelle Derrien (3)

(1) Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, CEN, Germany, (2) Faculty of Architecture, The University of Hong Kong, China, (3) Faculty of Architecture, The Chinese University of Hong Kong, China

Air ventilation plays a crucial role in thermal stress mitigation in high-density cities, especially under extreme hot weather conditions. The aim of this study is to have a better understanding of urban ventilation in Hong Kong for typical summer and heat wave events. Hong Kong is selected as the study area, since it is one of the most densely populated cities in the world, and on the other hand, with global warming, the numbers of Very Hot Days ( $T_{max} \geq 33^\circ\text{C}$ ) and Very Hot Nights ( $T_{min} \geq 28^\circ\text{C}$ ) in Hong Kong have increased in recent decades.

While some knowledge on local influence of buildings on ventilation already exists, little is known about orographic influences. Hong Kong is surrounded by water and has a hilly and mountainous terrain. This heterogeneous topography makes the wind patterns particularly complex. Therefore, we specifically focus on the influence of the orographic features on local mesoscale meteorology, in terms of land-sea breezes and katabatic winds.

For the studies we use the non-hydrostatic mesoscale model METRAS with a horizontal spatial resolution of 350 m. The model situations are based on the weather classification study for heat waves from The Chinese University of Hong Kong (Ren and Derrien, 2018). The results will help local stakeholders and decision makers to improve urban planning and to develop appropriate adaptation measures and mitigation strategies to face the future heat wave events (Cheng, 2019).

### Literatur:

Cheng G., 2019. Urban ventilation for typical summer and heatwave events in Hong Kong, master thesis in preparation.

Ren C. and Derrien I., 2018. Synoptic weather typing and its application to heatwaves in Hong Kong, unpublished.

## **Das Projekt Hagelklima Schweiz – Übersicht und erste Ergebnisse**

Katharina Schroeer, Simona Trefalt, Cornelia Schwierz, Alessandro Hering, Urs Germann, and Luca Nisi  
Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Switzerland (katharina.schroeer@meteoswiss.ch)

Im Projekt „Hagelklima Schweiz“ wird eine einheitliche, räumlich differenzierte Hagelklimatologie für die Schweiz erarbeitet. Eine neue Generation von Radar- und Referenzdaten sowie deren Auswertung mit modernen statistischen Methoden versprechen eine erhebliche Verbesserung der bisherigen Grundlagen zur Risikobewertung. Hagel steht nach Stürmen und Überflutungen an dritter Stelle der verheerendsten Naturgefahren in der Schweiz. Jährlich verursachen Hagelereignisse Schäden von mehreren Millionen Schweizer Franken. Besonders Gebäude, Fahrzeuge und landwirtschaftliche Kulturen sind gefährdet. Informationen zu Hagel sind für die Prävention, Vorhersage und Warnung essentiell, aber auch Versicherer und Bauherren sind auf verlässliche Informationen zum momentanen und langfristigen Hagelrisiko angewiesen.

Das Ziel des Projekts Hagelklima Schweiz ist es, qualitativ hochwertige und operationell aufdatierbare Klimatologien zur Häufigkeit und Intensität von Hagelereignissen in der Schweiz zu erstellen. Dafür werden modernste Radardaten neu aufbereitet und innovative statistische Verfahren entwickelt und angewendet. Neue Referenzdaten, wie z.B. Hagelmeldungen aus der MeteoSchweiz App und Messungen von Hagelsensoren fliessen in die Datenaufbereitung ein. Informationen zu Einzelereignissen ergänzen die klimatologischen Karten und Datensätze. Ein intensiver projektbegleitender Austausch mit den Interessensvertretern aller Projektpartner stellt sicher, dass Lieferobjekte zielgerichtet und anwenderorientiert entwickelt werden, und direkt in die Praxis einfließen können. Mit Wetterradaren und spezifisch entwickelten Algorithmen werden Hagelwahrscheinlichkeit (probability of hail, POH) und Hagelkorngrosse (maximum expected severe hail size, MESHS) flächendeckend über die Schweiz auf einem feinen Raster von 1km<sup>2</sup> indirekt geschätzt. Die Radardaten bieten die Möglichkeit, eine Hagelklimatologie für die Schweiz in bisher nicht dagewesener räumlicher Genauigkeit neu zu berechnen. Zudem werden Auftretenswahrscheinlichkeiten und Intensität von Hagelereignissen räumlich differenziert und zeitlich hoch aufgelöst analysiert.

In diesem Beitrag wird das Projekt Hagelklimaschweiz und seine Datengrundlagen vorgestellt. Zudem werden erste Ergebnisse zur Häufigkeit und Verteilung von Hagelereignissen über der Schweiz präsentiert.



## **Towards LES model validation comparing remote sensing data to simulations in Stuttgart**

Christopher Claus Holst (1), Matthias Zeeman (1), Daniel Leukauf (1), Christoph Muenkel (2), and Stefan Emeis (1)

(1) Institute of Meteorology and Climate Research (IMK-IFU), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Garmisch-Partenkirchen, Germany (christopher.holst@kit.edu), (2) Vaisala GmbH, Hamburg, Germany (christoph.muenkel@vaisala.com)

Due to raised awareness of urban health concerns, be it air quality or thermal comfort, the demand for improved micro meteorological modeling capabilities has increased over time. In the context of the Urban Climate under Change “[UC]<sup>2</sup>” Project funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF), an effort is made to develop a flexible Large Eddy Simulation (LES) model, which can provide said capabilities. An important part as to evaluate this new model and its capabilities is to characterize its ability to correctly produce local flow features and capture the temporal development of turbulence. Between February and September 2018, one laser ceilometer and two (and from July onwards three) doppler wind Lidars were used to collect data in the urban valley of Stuttgart (Germany) and at the end of the Neckar valley outflow in S-Mühlhausen. The third instrument was deployed in S-Bad Cannstatt in summer, near the location where the urban and Neckar valleys merge. The regional and local differences in the measured and simulated windfields provide insight into the model’s capability to accurately produce local secondary circulations, as well as produce reasonable response to large scale forcing. The temporal evolution of turbulence and convection further demonstrates the representativeness of simulated dynamics and thermodynamics. As an initial step, we simulated a clear spring day using the Weather Research and Forecast model (WRF-LES) with the aim to characterize the simulated regional scale forcing data that will be used to drive the Parallelized Large Eddy Simulation Model for Urban applications (PALM-4U). The results of this initialization step and the implications for future building-resolving simulations will be presented. Having characterized the behaviour of the initial conditions, we aim to pursue the actual PALM-4U simulations and publish the results in due course.

## **In-situ Messungen von Strahlungsflüssen in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre**

Ralf Becker (1) and Rolf Philipona (2)

(1) Deutscher Wetterdienst, Tauche, Germany (ralf.becker@dwd.de), (2) Payerne, Switzerland

Ballongestützte Sondierungen werden seit mehr als 100 Jahren durchgeführt und bilden seitdem eine wichtige Datenbasis und Referenz für die Charakterisierung der 3-dimensionalen Struktur der Atmosphäre. Neben den meteorologischen Standardgrößen Temperatur, Feuchte und Wind werden in jüngerer Zeit auch Spurengas-, Aerosol- und Strahlungsprofile mittels Radiosonden erfasst.

Da es sich hierbei um deutlich teurere Ausrüstung verglichen mit einer Standardradiosonde handelt ist jeweils eine aufwändige Rückholung erforderlich und die Wiederholraten der Sondierungen sind demzufolge geringer als die der operationellen Messungen.

Die Messbedingungen während der Sondierung unterscheiden sich markant von den üblichen Bedingungen bei Strahlungsmessungen in Bodennähe: Neben Temperaturen von bis zu  $-85^{\circ}\text{C}$  im Tropopausenniveau sind rasche Temperaturänderungen von mehr als 50 K/h bei einer Aufstiegsgeschwindigkeit von 5 m/s sowie mögliche Einflüsse von Wolkentröpfchen auf die Messung zu nennen. Dies erfordert Anpassungen bei der Messwerteerfassung und eine sorgfältige Auswahl des Startzeitpunktes.

Am Meteorologischen Observatorium Lindenberg ( $52.21^{\circ}$  n.Br.,  $14.12^{\circ}$  ö.L.) des Deutschen Wetterdienstes wurden seit April 2015 insgesamt 26 Sondierungsflüge zu allen Jahreszeiten mit einer modifizierten Radiosonde des Typs Meteolabor SRS-C34 durchgeführt, die um die Komponenten ‚auf- und abwärtsgerichtete solare und terrestrische Strahlung‘ erweitert wurde.

Der Beitrag diskutiert und interpretiert die Messergebnisse einzelner wolkenloser Fallbeispiele sowie von Sondierungen durch tiefe, mittelhohe und hohe Bewölkung. Die abwärts gerichteten Flüsse werden maßgeblich unterhalb der Tropopause modifiziert. Hingegen unterliegen die Reflexstrahlung sowie die terrestrische Ausstrahlung auch bis in Höhen von 34 km nicht nur lokalen Änderungen, die durch Einbeziehung von Daten zur Landnutzung und der Wolkenbedeckung quantifiziert werden können. Die an Wolkenobergrenzen gemessenen Strahlungsflussdivergenzen sind sehr gut geeignet, entsprechende Modellsimulationen zum Wolken-Strahlungseffekt zu validieren.

## **Bewertung der CO<sub>2</sub>-Flüsse zwischen alpiner Steppe und der Atmosphäre auf dem Tibetischen Hochplateau mittels Eddy Covariance**

Felix Nieberding (1), Torsten Sachs (2), and Yaoming Ma (3)

(1) Institute of Geosystems and Bioindication, Technische Universität Braunschweig, Germany (f.nieberding@tu-braunschweig.de), (2) GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany (torsten.sachs@gfz-potsdam.de), (3) Institute of Tibetan Plateau Research, CAS, Beijing, China (ymma@itpcas.ac.cn)

Große Teile des Tibetischen Hochplateaus sind mit alpiner Steppe bedeckt. Während der langen, trockenen und sehr kalten Winter ist der Abbau von organischem Kohlenstoff weitestgehend gehemmt. Eine effektive Kohlenstoffsequestrierung findet in der kurzen Vegetationsperiode während des Sommer-Monsuns statt, wodurch sich über die Zeit große Mengen an organischem Kohlenstoff in den Böden angereichert haben. Die Luft über diesen riesigen Kohlenstoffvorräten erwärmt sich im Vergleich zum globalen Mittel etwa doppelt so stark. Zusammen mit gesteigerten Niederschlägen kommt es zu vermehrter Primärproduktion von ober- und unterirdischer Biomasse, wodurch zusätzlicher Kohlenstoff im Boden gespeichert wird. Dem gegenüber steht, dass die Bodenatmung ebenfalls begünstigt wird, was wiederum zu höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Langfristig gesehen kann aus dieser Kohlenstoffsenke also eine Kohlenstoffquelle werden, welche ihrerseits wiederum zur Klimaerwärmung beiträgt. In dieser Studie wurde untersucht, welcher Prozess unter welchen Bedingungen die Oberhand gewinnt, und ob ein inter-annueller Trend zu erkennen ist. Hierzu wurde ein mehrjähriger Datensatz über die CO<sub>2</sub>-Flüsse zwischen alpiner Steppe und der Atmosphäre am zweitgrößten tibetischen See Nam Co (4730 m a.s.l.) analysiert. Die Daten wurden mittels Eddy Kovarianz ermittelt und mit meteorologischen Daten verglichen. Die Kohlenstoffdynamik folgt dem ausgeprägten jahreszeitlichen Verlauf der Niederschlagsverteilung, mit effektiver Sequestrierung während des Sommermonsuns. Dahingegen überwiegt die Respiration im Frühjahr und Herbst, sowie während ausgeprägter Trockenphasen auch in der Monsunzeit. Bei verzögert einsetzenden Niederschlägen kann die vorerst verminderte CO<sub>2</sub>-Sequestrierung wahrscheinlich durch das rasch einsetzende Pflanzenwachstum ausgeglichen werden. Diese Studie impliziert, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf dieses alpine Ökosystem eher durch Veränderungen im Wasserhaushalt, als durch Temperaturerhöhungen hervorgerufen werden.

## **Auswirkungen des trockenen und heißen Sommers 2018 auf Landoberfläche-Atmosphäre-Wechselwirkungen verschiedener Ökosysteme in Deutschland**

Anne Klosterhalfen (1), Alexander Graf (1), Christian Bernhofer (2), Christian Brümmer (3), Clemens Drüe (4), Thomas Grünwald (2), Günther Heinemann (4), Joachim Ingwersen (5), Janina Klatt (6), Franziska Koebsch (7), Pascal Kremer (5), Matthias Mauder (6), Patrizia Ney (1), Arne Poyda (8), Inken Rabbel (9), Corinna Rebmann (10), Torsten Sachs (11), Marius Schmidt (1), Gerald Jurasinski (7), Frederik Schrader (3), Ingo Völksch (6), Hans-Dieter Wizemann (12), and Harry Vereecken (1)

(1) Institut für Bio- und Geowissenschaften: Agrosphäre (IBG 3), Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich (a.klosterhalfen@fz-juelich.de), (2) Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden, D-01737 Tharandt, (3) Institut für Agrarklimaschutz, Johann Heinrich von Thünen-Institut, D-38116 Braunschweig, (4) Institut für Umweltmeteorologie, Universität Trier, D-54296 Trier, (5) Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart, (6) Institut für Meteorologie and Klimaforschung (IMK-IFU), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), D-82467 Garmisch-Partenkirchen, (7) Landschaftsökologie und Standortkunde, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, D-18059 Rostock, (8) Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24118 Kiel, (9) Geographisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, D-53115 Bonn, (10) Department Hydrosystemmodellierung, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ), D-04318 Leipzig, (11) Deutsches Geoforschungszentrum (GFZ), Helmholtz-Zentrum Potsdam, D-14473 Potsdam, (12) Institut für Physik und Meteorologie, Universität Hohenheim, D-70593 Stuttgart

Das Sommerhalbjahr 2018 brachte in weiten Teilen Mittel-, Nord- und Westeuropas Dürre- und Hitzeperioden mit sich, von denen Deutschland besonders betroffen war (European Drought Observatory, <http://edo.jrc.ec.europa.eu>). Langjährige Messnetzwerke wie TERENO (Terrestrial Environmental Observatories, [teodoor.icg.kfa-juelich.de](http://teodoor.icg.kfa-juelich.de)) und ICOS (European Integrated Carbon Observation System, [www.icos-ri.eu](http://www.icos-ri.eu), [www.icos-infrastruktur.de](http://www.icos-infrastruktur.de)), bieten die Gelegenheit, die Auswirkungen solcher Bedingungen auf Landoberfläche-Atmosphäre-Wechselwirkungen einschließlich Größen des Wasser- und Kohlenstoffhaushalts zu überprüfen. Im Rahmen der hier vorgestellten Studie werden vor allem Eddy-Kovarianz-Messungen aus verschiedenen Ökosystemen (Acker, Grünland, Wald) untersucht und mit denen der Vorjahre verglichen. Die betrachteten Größen umfassen den Netto-CO<sub>2</sub>-Austausch (NEE), seine abgeleitete Zusammensetzung aus Photosynthese (Bruttoprimärproduktion GPP) und Atmung (Respiration TER), den fühlbaren und den latenten Wärmestrom bzw. die Verdunstung. Erste Ergebnisse zeigen ein vielfältigeres Bild, als aufgrund früherer Studien zum Hitzesommer 2003 auf Basis des seinerzeit weniger dichten Stationsnetzes zu erwarten war. Während die Wärmesummen durchgängig über- und die Niederschläge durchgängig unterdurchschnittlich waren, blieb die CO<sub>2</sub>-Aufnahme überwiegend hinter Vergleichsjahren zurück und die Abgabe fühlbarer Wärme an die Atmosphäre war überwiegend erhöht. Verdunstung, Bruttoprimärproduktion und Atmung hingegen fielen teils höher, teils niedriger aus als üblich. Diese Größen sind in besonderem Maße sowohl positiven (Wärme und erhöhte Einstrahlung, hierdurch und durch geringere Luftfeuchte erhöhte potentielle Verdunstung vor allem an energielimitierten Standorten, z.B. im Mittelgebirge) als auch negativen (Hitzestress und Trockenheit, durch geringe Bodenfeuchte reduzierte tatsächliche Verdunstung) Auswirkungen einer trockenwarmen Anomalie ausgesetzt.

## **JOYCE-CF – Jülich Observatory for Cloud Evolution. Eine Plattform für bodengebundene Langzeitbeobachtungen von Wolken und Niederschlag**

Bernhard Pospichal (1), Thomas Elble (1), Josephin Beer (2), Ulrich Löhnert (1), and Silke Trömel (2)

(1) Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland (bernhard.pospichal@uni-koeln.de), (2) Meteorologisches Institut, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

JOYCE (Jülich Observatory for Cloud Evolution) basiert auf einer langjährigen Zusammenarbeit zwischen der Universität zu Köln, der Universität Bonn und dem Forschungszentrum Jülich, mit dem Ziel, bodengestützte aktive und passive Fernerkundungsinstrumente für Wolken- und Niederschlagsbeobachtungen zu betreiben. Seit 2017 wird JOYCE von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) als Core Facility (JOYCE-CF) gefördert. Damit hat JOYCE-CF als Gerätezentrum die Aufgabe, hoch aufgelöste Beobachtungen von Wolken und Niederschlag durch Radar- und passive Mikrowellenmessungen zu generieren und bereitzustellen. Das Ziel ist das bessere Verständnis von Wolken- und Niederschlagsprozessen.

Ein Schwerpunkt des Messaufbaus liegt im Bereich der polarimetrischen Radarbeobachtungen von Wolken und Niederschlag. Dazu werden zwei scannende polarimetrische X-Band Radare in Bonn (BoXPol) und auf der Sophienhöhe nahe Jülich (JuXPol) betrieben. Außerdem sind drei Wolkenradare (X-Band, Ka-Band, W-Band) sowie ein Mikro-Regen-Radar in Jülich (JuCol) installiert. Diese Multifrequenzbeobachtungen sind einzigartig und erlauben genaue Beobachtungen von Eiswolken und Schneefall.

Als weiteres zentrales Instrument wird ein scannendes Mikrowellenradiometer für Beobachtungen von Wasserdampf, Flüssigwasser und Temperaturprofilen eingesetzt. Durch die langjährige Erfahrung mit diesem Messverfahren wird JOYCE-CF als Referenzzentrum für passiven Mikrowellenradiometrie im Rahmen des Cloudnet-Programms der europäischen Forschungsinfrastruktur ACTRIS dienen. In diesem Zusammenhang wird an der Weiterentwicklung der Retrieval-Algorithmen sowie an verbesserten Kalibrationsverfahren gearbeitet.

Die oben genannten Radare und Radiometer werden unter anderem durch zwei Ceilometer, ein Windlidar, ein Infrarotspektrometer, ein Sonnenphotometer und Strahlungsbilanz-Messgeräte ergänzt.

Die Messungen von JOYCE-CF werden bereits seit etwa zehn Jahren durchgeführt. Die über diesen Zeitraum entstandenen Langzeitbeobachtungen können in Zukunft verwendet werden, um klimatische Trends sowie Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren genauer zu untersuchen. Zudem liefern die Daten einen wertvollen Beitrag zur verbesserten Modellparametrisierungen sowie zur Modellevaluierung.

Die Plattform steht in der Grundidee des DFG-Gerätezentrums für externe Nutzer offen, sowohl hinsichtlich Datennutzung, aber auch für spezielle Messkampagnen mit den installierten Geräten oder für den temporären Betrieb zusätzlicher Instrumente. So fanden auch in der Vergangenheit bereits mehrere Kampagnen statt (z.B. HOPE 2013, Tripex 2015, Tripex-Pol 2018).

Die Präsentation gibt einen Überblick über die Instrumentierung sowie die wichtigsten Zielstellungen und zeigt exemplarisch einige wissenschaftliche Ergebnisse, die aus den Messungen von JOYCE-CF hervorgegangen sind.

## **Wind- und Turbulenzmessung in stabiler Grenzschicht mit kleinen unbemannten Luftfahrzeugen während zweier ISOBAR Kampagnen im nördlichen Finnland**

Alexander Rautenberg (1), Stephan T. Kral (2), Joachim Reuder (2), Irene Suomi (3), Timo Vihma (3), Burkhard Wrenger (4), and Jens Bange (1)

(1) Universität Tübingen, Angewandte Geowissenschaften, Umweltphysik, Tübingen, Germany (alexander.rautenberg@uni-tuebingen.de), (2) University of Bergen, Geophysical Institute and Bjerknes Centre for Climate Research, Postbox 7803, 5020 Bergen, Norway, (3) Finnish Meteorological Institute, P.O. Box 503, 00101 Helsinki, Finland, (4) University of Applied Sciences Ostwestfalen-Lippe, An der Wilhelmshöhe 44, 37671 Höxter, Germany

Das Ziel des Forschungsprojekts ISOBAR (Innovative Strategies for Observations of the Arctic Atmospheric Boundary LAyeR) ist es, das Verständnis von lokalen und regionalen Prozessen innerhalb der Atmosphärischen Grenzschicht in arktischen Gebieten zu vergrößern. Insbesondere geht es um die Parametrierungsschemata von numerischen Simulation, Wettervorhersagemodellen (NWP) und Klimamodellen in stabilen Bedingungen, die Ungenauigkeiten aufweisen, da Turbulenz teilweise nicht ausreichend abgebildet werden kann.

Durch die Einführung neuer innovativer Beobachtungsstrategien, einschließlich verschiedener Arten von meteorologischen ferngesteuerten Flugzeugsystemen und bodengestützten Fernerkundungssystemen, wurden neuartige Datensätze zur turbulenten Struktur der Atmosphärischen Grenzschicht mit einzigartiger räumlicher und zeitlicher Auflösung gesammelt. Der Vortrag beinhaltet eine Übersicht über den Datensatz aus zwei Kampagnen in homogenem Gelände über dem gefrorenen Finnischen Meerbusen im Norden von Finnland. Außerdem werden erste Ergebnisse der Messflüge mit MASC (Multi- purpose Airborne Sensor Carrier) gezeigt, der unter anderem in der Lage ist hochauflösend die Temperatur und den 3D-Windvektor zu messen. Höhenprofile in stabiler Schichtung, in Kombination mit bodengestützten Messungen, ergeben ein zeitlich und räumlich hoch aufgelöstes Bild der Atmosphärischen Grenzschicht. Des weiteren geht die Präsentation auf einen Flug bei stabiler Schichtung genauer ein und zeigt den zeitlichen Verlauf der Grenzschicht und den Vergleich zu den anderen Messsystemen auf. Abschließend wird auf die geplanten Fragestellungen aufmerksam gemacht und das Potential für weitere Untersuchungen aufgezeigt.



## **ICOS-D Atmosphäre: Das Deutsche Netzwerk für Langzeitmessungen von Klimagasen**

Matthias Lindauer, Frank-Thomas Koch, Marcus Schumacher, Christian Plass-Duelmer, and Dagmar Kubistin  
Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Germany (matthias.lindauer@dwd.de)

Das Deutsche Atmosphärennetzwerk bildet aufgrund seiner zentralen Lage in Mitteleuropa einen wichtigen Baustein zur kürzlich gegründeten europäischen Forschungsinfrastruktur ICOS (Integrated Carbon Observing System) für die Langzeitbeobachtung atmosphärischer Klimagase. Automatisierte Messungen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und CO werden an acht hohen Türmen auf mindestens drei Messhöhen kontinuierlich durchgeführt. Standardisierte Kalibrierverfahren, der Einsatz verschiedener Targetgase sowie ein strenges „labelling“ Verfahren sorgen für die Einhaltung der hohen Qualitätsstandards, die den empfohlenen WMO Qualitätszielen entsprechen. Ergänzt werden die Messungen durch meteorologische Parameter wie z.B. Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und -geschwindigkeit, Luftdruck und Globalstrahlung. Diskrete Luftproben (flask samples) sowie 14C und 222Rn Messungen werden an einigen Türmen ebenfalls eingesetzt. Das Netzwerk wurde entwickelt, um mit Hilfe von inverser Modellierung zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Klimagasflüsse in Deutschland zu bestimmen. Auf lange Sicht soll es gelingen somit die nationalen Emissionsinventare zu verifizieren. Seit 2015 mit dem Start der GAW Station Hohenpeißenberg gehen sukzessive die weiteren Stationen in den operationellen Betrieb über mit einer geplanten Fertigstellung des Netzwerks im Sommer 2019.

Hier zeigen wir den Aufbau des Netzwerks zusammen mit ersten Beobachtungen. Die Daten stammen sowohl von Stationen aus Reinluftgebieten, als auch von Stationen in der Nähe von Ballungsräumen. Vertikale Gradienten werden im Hinblick auf Abhängigkeiten von Umwelteinflüssen und/oder Saisonalität untersucht.

## Ozonvariabilität und Oztrends in der unteren Stratosphäre

Simone Dietmüller (1), Roland Eichinger (1,2), Hella Garny (1,2)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen (simone.dietmueller@dlr.de), (2) Ludwig Maximilians Universität, Institut für Meteorologie, München

Aktuelle Satellitenbeobachtungen zeigen eine signifikante Abnahme der Ozonkonzentrationen in der unteren Stratosphäre im Zeitraum 1998-2016. Dies gilt sowohl in den Tropen als auch in den mittleren Breiten und der Grund dafür ist noch unklar. Eine mögliche Erklärung ist die Beschleunigung der stratosphärischen Zirkulation (Brewer-Dobson-Zirkulation, BDC) in einem sich ändernden Klima, welche die Verteilung von stratosphärischem Ozon beeinflusst. Simulationen mit Klima-Chemie Modellen (CCMs) zeigen dass verstärktes Aufsteigen von tropischen Luftmassen dazu führt, dass die tropischen Ozonkonzentrationen abnehmen. Wie aber lässt sich der Oztrend in den mittleren Breiten erklären? Und inwieweit ist dieser durch die Änderungen der BDC bestimmt?

In unserer Studie analysieren wir die interannuale Variabilität sowie den Trend der Ozonkonzentrationen der unteren Stratosphäre über die Jahre 1989-2016 und versuchen diese stratosphärischen Transportprozessen zuzuordnen. Hierfür verwenden wir CCM Simulationen, welche in der Modellvergleichsstudie CCMI (Chemistry-Climate Model Initiative) durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zeigen stark unterschiedliche Oztrends in der unteren Stratosphäre in den verschiedenen CCMs im Zeitraum 1998-2016. Dies weist darauf hin, dass die interannuale Ozonvariabilität die Trends in diesem Zeitraum stark beeinflusst. Auch der Oztrend aus Satellitendaten kann somit weitgehend durch interannuale Variabilität bestimmt sein.

Außerdem untersuchen wir inwieweit Ozonvariabilität und -trends durch Transportprozesse bestimmt werden. Dafür analysieren wir die interannuale Korrelation zwischen der Ozonkonzentration und dem mittleren Alter der Luft (stratosphärische Transportgröße). Alle CCMs zeigen hohe positive Korrelationen in der gesamten unteren Stratosphäre. Dies bestätigt, dass Ozon in diesen Regionen stark durch Transport bestimmt ist. Um ein besseres Verständnis des Einflusses der Dynamik auf die Ozonvariabilität und -trends zu erlangen, separieren wir den stratosphärischen Transport in die Prozesse residuale Zirkulation und Mischung. Wir zeigen, dass der residuale Transport die Oztrends der unteren tropischen Stratosphäre bestimmt, wohingegen Mischung Ozonvariabilität und -trends in der unteren Stratosphäre der mittleren Breiten bestimmt.

Unsere Ergebnisse zeigen dass die kürzlich berichtete Abnahme der Ozonkonzentrationen in der unteren Stratosphäre wahrscheinlich durch Trends in der stratosphärischen Zirkulation verursacht wird. Diese Trends wiederum sind weitgehend von der interannualen Variabilität in dieser Periode bestimmt.

## Simulation von Peroxyacetylnitrat (PAN) in EMAC im Vergleich mit Flugzeug- und Satellitenmessungen

Ole Kirner (1), Norbert Glatthor (2), Sören Johansson (2), Roland Ruhnke (2), and Gerald Wetzel (2)

(1) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Steinbuch Centre for Computing (SCC), Karlsruhe (ole.kirner@kit.edu), (2) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK), Karlsruhe

Das troposphärische Spurengas Peroxyacetylnitrat (PAN,  $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OONO}_2$ ) ist ein wichtiges Reservoirgas für troposphärische Stickoxide ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ). Es wird gebildet durch die photochemische Oxidation von Nichtmethankohlenwasserstoffen (NMVOC) unter Bindung von  $\text{NO}_x$ . Der Abbau von PAN erfolgt primär thermisch und setzt  $\text{NO}_x$  wieder frei. Da PAN bei niedrigen Temperaturen, wie sie in der freien und oberen Troposphäre vorherrschen, eine lange Lebensdauer besitzt, wird  $\text{NO}_x$  durch den weitreichenden Transport von PAN in der unteren Atmosphäre verteilt und die globale Verteilung von Ozon und OH stark beeinflusst. Neben Ozon gilt PAN als wichtiger Bestandteil des photochemischen Smogs und kann in hohen Konzentrationen negativ auf den Menschen und auf Pflanzen wirken.

Die Simulation von PAN ist herausfordernd, da eine sehr große Anzahl chemischer Spurengase (sehr viele Vorläufersubstanzen, vor allem NMVOC) an dessen Bildung beteiligt sind und somit eine umfassende Chemie bei der Simulation berücksichtigt werden muss. Darüber hinaus hängt die Verteilung von PAN sehr stark vom vertikalen Transport ab, sind die exakten Quellen und Quellstärken der NMVOC oft unsicher und der thermische Zerfall von PAN schwierig exakt zu bestimmen.

Wir präsentieren neue Modellsimulationen des Erdsystemmodells ECHAM/MESy Atmospheric Chemistry (EMAC) (Version 2.53), in welchem wir die verwendete Chemie und die berücksichtigten Emissionen bezüglich einer realistischeren PAN-Verteilung optimiert haben. Ergebnisse dieser Simulationen werden sowohl mit einer älteren EMAC-Simulation (mit Standardchemie) als auch mit Messdaten verglichen. Es werden dabei Ergebnisse des Gimbalbed Limb Observer for Radiance Imaging of the Atmosphere (GLORIA) auf HALO, sowie des Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (MIPAS) auf ENVISAT verwendet.



## **Ableitung sicherer Trendaussagen zur Entwicklung der Luftqualität in Deutschland**

Susan Kessinger

German Environment Agency, Air quality assessment, Germany (susan.kessinger@uba.de)

Um sichere Trendaussagen zur kurz- und langfristigen Entwicklung der Luftqualität treffen zu können, werden über lange Zeiträume kontinuierlich ermittelte Daten benötigt. Zur Beurteilung der Luftqualität stehen dem Umweltbundsamt (UBA) Daten aus dichten, jedoch räumlich und zeitlich inhomogenen Messnetzen der 16 Bundesländer und des UBA zur Verfügung. Die Inhomogenität beruht auf der ungleichmäßigen Verteilung sowie der Schließung oder Neueinrichtung von Messstationen. Um die Entwicklung der Luftqualität zu beschreiben, werden sowohl zeitliche als auch räumliche Mittel gebildet. Diese Mittel werden nicht nur durch meteorologisch bedingte Schwankungen und Veränderungen in den Primäremissionen beeinflusst, sondern auch durch die beschriebene Inhomogenität der Messnetze. So ergeben sich bei der Bildung von mittleren Zeitreihen unter Berücksichtigung aller verfügbarer Stationsdaten durch das Hinzukommen oder den Wegfall einzelner Messstationen Unsicherheiten, die sich auf die Trendaussage auswirken und sogar einen Trend vortäuschen können, der nicht der tatsächlichen Entwicklung der Luftqualität entspricht. Homogene, d.h. durchgängig messende Zeitreihen stellen nur einen kleinen Teil des vorhandenen Datenkollektivs dar. Trendanalysen auf dieses Kollektiv zu beschränken, würde dazu führen, dass einerseits Besonderheiten einzelner Stationen an Bedeutung gewinnen und andererseits weite Teile Deutschlands unberücksichtigt blieben. Im Rahmen eines Projektes wurde eine Methodik entwickelt, die unter Berücksichtigung der Inhomogenitäten, die Trends der Luftschadstoffe Ozon,  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  zuverlässig berechnet. Mit Hilfe dieser Methode wird zunächst eine Mittelwertzeitreihe geschätzt und danach durch lineare Regression der Trend bestimmt. Die Schätzung der Mittelwertzeitreihe erfolgt durch einen Differenzialgleichungsansatz.

## Ein Klassifizierungsalgorithmus zum selektiven dynamischen Herunterskalieren von Extremniederschlag

Edmund Meredith, Henning Rust, and Uwe Ulbrich

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany (edmund.meredith@met.fu-berlin.de)

Hochauflösende Klimadaten O (1 km) auf der Einzugsgebietskala können sowohl für hydrologische Modellierer als auch für Endnutzer von großem Wert sein, insbesondere für die Untersuchung extremer Niederschläge. Während das dynamische Herunterskalieren mit konvektionszulassenden Modellen ein wertvolles Werkzeug für die Erstellung von hochqualitativen Klimadaten O (1 km) ist, kann der Mehrwert aufgrund des hohen Rechenaufwands oft nicht geleistet werden. Hier präsentieren wir einen neuen und flexiblen Klassifizierungsalgorithmus zur Unterscheidung zwischen Tagen mit einem erhöhten Niederschlagswahrscheinlichkeitspotential in einem Einzugsgebiet und Tagen ohne, so dass dynamische Herunterskalieren auf konvektionszulassende Auflösung nur an Tagen mit einem hohen Extremniederschlagsrisiko selektiv durchgeführt werden kann, was den Rechenaufwand im Vergleich zu kontinuierlichen Simulationen drastisch reduziert; die Klassifizierungsmethode kann auf Klimamodelldaten oder Reanalysen angewendet werden. Mit Hilfe des beobachteten Niederschlags und der entsprechenden Zirkulationsmuster auf der Synoptischenskala aus Reanalyse werden charakteristische Extremalzirkulationsmuster für das Einzugsgebiet durch einen Clustering-Algorithmus identifiziert. Diese extreme Muster dienen als Referenzmuster, an denen Tage als potenziell extrem eingestuft werden können, vorbehaltlich zusätzlicher Tests relevanter meteorologischer Prädiktoren in der Nähe des Einzugsgebiets. Durch das Auswahlverfahren enthält die Menge der potentieller extremer Tage („PEDs“, „Potential Extreme Days“) weniger als 10% aller Tage, obwohl er mehr oder weniger alle Extremtage beinhaltet. Die Anwendung des Algorithmus auf Reanalyse-getriebene regionale Klimasimulationen über Europa (12 km Auflösung) zeigt eine ähnliche Leistung, und weiter herunterskalierte Simulationen (2 km Auflösung) machen die beobachteten Niederschlagsstatistiken der PEDs aus der Trainingsperiode gut nach. Zusätzliche Tests mit kontinuierlichen historischen und zukünftigen (RCP8.5) 12 km Auflösung Klimasimulationen, die in 2 km Auflösung Zeitscheiben herunterskaliert wurden, zeigen dass der Algorithmus erneut die Anzahl der zu simulierenden Tage um über 90% reduziert und eine konsistente Leistung unter den zwei Klimaregime schafft. Das Auswahlverfahren und Herunterskalierungskonzept, die wir vorschlagen, bieten eine rechnerisch billige Methode um hochaufgelöste Klimadaten mit Schwerpunkt auf Extremniederschlag auf der Einzugsgebietskala zu erzeugen, ohne die Vorteile der konvektionszulassenden dynamischen Herunterskalierung zu verlieren.

## **Klimavariabilität und Trends in der freien Atmosphäre aus Beobachtungsdaten**

Andrea K. Steiner (1,2,3), Florian Ladstädter (1,2), Hallgeir Wilhelmsen (1,2,3), Matthias Stocker (1), and Patrick Peter (1)

(1) Wegener Center für Klima und Globalen Wandel (WEGC), Karl-Franzens-Universität Graz, Graz, Österreich (andi.steiner@uni-graz.at), (2) Institut für Geophysik, Astrophysik und Meteorologie/Institut für Physik, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz, Österreich, (3) Doktoratskolleg Klimawandel, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz, Österreich

Die Langzeitbeobachtung und Detektion des Klimawandels der freien Atmosphäre erfordern Messungen hoher Qualität. Klimadatensätze müssen daher laut Global Climate Observing System (GCOS) homogen und langzeitstabil, sowie rückverfolgbar auf das Internationale Einheitensystem (SI) sein. Die satellitenbasierte Radiookkultationsmethode (RO) erfüllt diese Eigenschaften durch Nutzung der Signale des globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) zur Sondierung der Erdatmosphäre. Diese Messungen basieren auf Zeitmessungen durch hochgenaue Atomuhren und garantieren einen langzeitstabilen und konsistenten Datensatz mit globaler Abdeckung in der Troposphäre und Stratosphäre. Die hohe Genauigkeit, geringe strukturelle Unsicherheit und hohe vertikale Auflösung ermöglichen die Analyse der vertikalen thermodynamischen Struktur auf klimarelevanten Zeitskalen.

Wir geben einen Überblick über die Verwendung des RO Datensatzes zur Klimabeobachtung und Detektion von Klimatrends im 21. Jahrhundert. Wir präsentieren vertikal aufgelöste Temperaturtrends in der Troposphäre und Stratosphäre und diskutieren Einflüsse natürlicher Klimavariabilität, wie El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Quasi-Biennale Oszillation (QBO) und Aerosoleinträge durch Vulkaneruptionen. Des Weiteren untersuchen wir die Variabilität der Tropopause hinsichtlich Temperatur, Höhe und Ausdehnung und deren Trends. Die Ergebnisse werden im Vergleich mit konventionellen Radiosondendatensätzen und mit Reanalysedaten diskutiert. Neue Einblicke in die vertikale Struktur von Trends und deren regionale Ausprägung in der Atmosphäre werden gegeben. Zudem präsentieren wir eine Analyse meridionaler Temperaturänderungen zwischen Tropen und Polarregion und ihrer vertikalen Ausprägung.

## **Wie fein ist fein genug? Evaluation der Gitterweite von Large Eddy Simulationen der atmosphärischen Grenzschicht.**

Hauke Wurps (1), Gerald Steinfeld (1), and Stefan Heinz (2)

(1) ForWind, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Germany, (2) Department of Mathematics, University of Wyoming, Laramie, United States

Large Eddy Simulationen (LES) sind ein viel genutztes Mittel für die Untersuchung der atmosphärischen Grenzschicht. Je nach atmosphärischer Stabilität zeigt diese deutlich unterschiedliche Strömungscharakteristika auf verschiedenen Längenskalen. Damit sind auch die Anforderungen an die Gitterweite von LES, um eine gute Auflösung der Grenzschicht zu erhalten, sehr unterschiedlich. Ziel der hier vorgestellten Arbeiten ist es, Methoden zur Evaluierung der Auflösung zu bewerten und geeignete Kriterien zur Bewertung der Qualität von LES zu identifizieren. Dazu wurden Simulationen für drei Fälle mit unterschiedlicher atmosphärischer Stabilität (stabil, neutral, konvektiv) mit unterschiedlichen Auflösungen durchgeführt und untersucht, wie sich die Qualität der Simulation mit der Auflösung ändert. Hierbei bedeutet gute Qualität, dass sich die Ergebnisse der Simulation mit der Auflösung gerade nicht mehr ändern. Genutzt wurde hierfür das LES-Modell PALM mit einem dynamischen Subskalennetzmodell. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass Kriterien wie das häufig empfohlene Verhältnis von aufgelöster zu modellierter turbulenter kinetischer Energie nicht immer zuverlässig sind. Hingegen erwies sich die Betrachtung der Zwei-Punkt-Korrelationen der Geschwindigkeitskomponenten für die Abschätzung der Auflösungsqualität als sehr hilfreich, da sie die wichtige Information liefert, von wie vielen Gitterpunkten die Strukturen der Strömung im Mittel aufgelöst sind. Darüber hinaus konnte ein linearer Zusammenhang zwischen mittlerer aufgelöster Strukturgröße und Gitterweite beobachtet werden, was möglicherweise Sensitivitätsstudien der Gitterweite im Bereich guter Auflösung ersetzen kann.

## Untersuchung gesundheitsrelevanter troposphärischer Ozon- und Temperaturereignisse in Europa

Elke Hertig

University of Augsburg, Augsburg, Germany (elke.hertig@geo.uni-augsburg.de)

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen den atmosphärischen Umweltbedingungen und der menschlichen Gesundheit. Dabei können grundlegend verschiedene Wirkungskomplexe unterschieden werden, die zum Beispiel die thermischen und chemischen Komponenten betreffen. Über spezifische Wetterereignisse sowie physikalische und chemische Einwirkungen ergeben sich komplexe Beziehungen mit der Gesundheit des Menschen.

Hitzeereignisse in verschiedenen Städten Europas werden zunächst mittels geeigneter Indizes erfasst. Temperaturextreme können zum Beispiel durch Perzentilwerte der Minimum- und Maximumtemperaturen, durch Kenntage, oder durch periodenbezogene Indizes dargestellt werden. Daneben erlauben differenzierte thermo-physiologische Indizes (z. B. Physiological Equivalent Temperature, PET) eine akkurate Beschreibung der thermischen Belastung. Mit Bezug auf Ozon liegt der gesundheitsbezogene Zielwert in der Europäischen Union bei  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als höchster Achtstundenmittelwert während eines Tages. Als Leitwerte für Untersuchungen zu gesundheitlichen Auswirkungen erhöhter Ozonkonzentration werden seitens der WHO Schwellenwerte von  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  angegeben.

Für jeden zu betrachtenden urbanen Raum werden die lokalen Messzeitreihen der Temperatur und des Ozons mittels Regressionsanalysen unter Berücksichtigung möglicher Instationaritäten in den Ozon- Temperatur- Regressionsparametern in Beziehung zueinander gesetzt. Anschließend werden die in verschiedenen europäischen Städten gemessenen Lufttemperaturen und Ozonkonzentrationen mit typischen Zirkulationsmustern und Wetterlagen in Verbindung gebracht. In Europa werden die höchsten Ozonkonzentrationen und thermische Belastungssituationen im Frühjahr und im Sommer festgestellt. Auf Basis eines Wetterlagen-Katalogs für die Monate März bis September wird untersucht, welche spezifischen Zirkulationsmuster, Anströmungsrichtungen und Luftmasseneigenschaften sich für gesundheitsrelevante Lufttemperaturen und Ozonkonzentrationen verantwortlich zeigen. Für jedes Zirkulationsmuster werden Häufigkeit und Andauer, Anströmungsrichtungen und Luftmasseneigenschaften sowie statistische Kennwerte der assoziierten Temperaturen und Ozonkonzentrationen berechnet. Bei Vorliegen einer signifikanten Veränderlichkeit der Ozon-Temperatur-Zusammenhänge werden für die verschiedenen Temperatur- Ozon- Bereiche die dazugehörigen Wetterlagenklassen dahingehend untersucht, ob und welche synoptischen Bedingungen sich für die Veränderlichkeit verantwortlich zeigen. Mittels Kompositen und Einzelfallanalysen werden Veränderungen in der Frequenz, Intensität und Andauer der Wetterlagen betrachtet, sowie Spezifika ihrer internen meteorologischen Charakteristika.



## **Air quality modeling for the city of Munich using POLYPHEMUS/DLR at high-resolution**

Ehsan Khorsandi (1), Frank Baier (2), Thilo Erbertseder (2), Michael Bittner (1,2)

(1) Augsburg University, Augsburg, Germany (ehsan.khorsandi@physik.uni-augsburg.de), (2) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen, Germany

Air pollution is a principal concern for big cities. Due to the complexity of emission sources, small-scale transport and chemical processes of pollutant formation, it is difficult to investigate at urban scale. Chemical-transport models (CTM) are useful tools to study air pollution. However, air quality modeling over urban areas requires a reliable estimate of meteorological conditions and pollutant emission rates at high-resolution to be compatible with the scale of the study area.

In this study, the POLYPHEMUS/DLR chemistry-transport model is used for simulating gas and aerosol pollutants transform and transport over Munich, which is driven by WRF 3.5 meteorological forecasts. Therefore, the one-way grid nesting method with four domains is performed, where the coarsest domain covers Europe and the finest covers Munich city area.

To attain a high-resolution anthropogenic emission data set, which is an essential input for the CTM model, the 2 km resolution Bavarian Emission Kataster (EKATBY) 2004 emission dataset is downscaled down to 100 m for the Munich area. Several datasets are applied in the downscaling approach, including the high-resolution OpenStreetMap roads paths for traffic emissions, VIIRS NOAA satellite-derived night light data and the EEA CORINE 2012 land use data (100 m resolution) for redefining location of other emission sources over a 100 m resolution gridded map. In addition, the horizontal and vertical position and levels of emissions from specific point sources such as power plants are considered. Furthermore, the biogenic emissions are estimated with respect to vegetation dynamics and meteorological conditions.

The simulations are carried out for two unstable and stable periods, including the first week of June 2015 and the first week of December 2015 respectively. The results are compared with four available in-situ stations over Munich city. The results found sensitive to the wind direction due to the different location of stations and major emission sources near each station.

## **Model simulations of the atmospheric methane distribution 1997-2016: Evaluation against observations with conclusions on emission sources.**

Peter Zimmermann

Max-Planck-Institut für Chemie, Atmospheric Chemistry, Mainz, Germany (p.zimmermann@mpic.de)

The global budget of atmospheric methane has been simulated with the EMAC-model for the period 1997-2016, distinguishing eleven CH<sub>4</sub> source categories and applying atmospheric chemical and soil microbial sinks. Simulated CH<sub>4</sub> has been compared to observations from nine NOAA surface stations and 327 intercontinental CARIBIC flights.

Source segregated simulation (tagging) results have been processed with a non-linear optimization procedure to fit the station records wrt minimum RMS. The linear dependency of the atmospheric CH<sub>4</sub> abundance on the source strengths allows an a posteriori rescaling of the individual emission amounts considered. So, e.g. Amazon wetlands, rice paddies, and bogs emissions are enhanced by about 8.8 along with a compensating reduction of anthropogenic fossil CH<sub>4</sub> emissions of 10.8 Tg/y. Furthermore the tagged simulation enables to analyze the composition of global CH<sub>4</sub> observations.

Simulating inter-annually constant sources and sinks reproduces the observations during the no-methane-trend period 1997-2006 in magnitude as well as seasonal and synoptic variability. Monthly averages fit the station measurements within a RMS of 1.35 %. The optimization post-processing improves the approximation to 0.35 %.

The 95 intercontinental CARIBIC flight data for the no-trend period up to 2007 are accurately reproduced by the model. The 740 air samples were mostly taken during northern hemispheric flights at ~10km altitude near the tropopause. The average CH<sub>4</sub>-volume mixing-ratio of 1785.36 nmole/mole is reproduced by the model within a 1.1% RMS deviation range.

To explain the renewed growth of CH<sub>4</sub> since 2007, a 28.3 Tg/yr larger global CH<sub>4</sub> emission was assumed in a first guess. Two additional tagged sources, one representing natural emissions from wetlands in the Amazon and the other anthropogenic shale gas production emissions in North America, have been invoked to investigate their role in the CH<sub>4</sub> trend. A comparable contribution by both sources explains the observed trend from 2007 to 2016. Based on non-linear optimization an additional contribution of 14.25 Tg/y from Amazon wetlands and an emission of 8.95 Tg/y from northern American shale gas sources explains the fits the all stations RMS deviation over the trend period considered within 0.5 %.

The 4287 samples collected at 232 CARIBIC flights after 2007 provide a comprehensive statistical data base, and the simulation average with an RMS = 1.3 % and R<sup>2</sup>= 0.8 indicate that the model accurately reproduces observed CH<sub>4</sub> near the tropopause.

## **Flugzeuggetragene Beobachtungen einer stromabwärtigen Ausbreitung von Schwerewellen und Verkürzung der horizontalen Wellenlängen in der Tropopauseninversionsschicht (TIL) über Skandinavien**

Sonja Gisinger (1), Johannes Wagner (1), Benjamin Witschas (1), Martina Bramberger (1), Andreas Dörnbrack (1), Tanja Portele (3), Markus Rapp (1,2)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Physik der Atmosphäre, Weßling, Germany, (2) Ludwig-Maximilians-Universität München, Meteorologisches Institut, München, Deutschland, (3) Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland

Zur Untersuchung der Ausbreitung orographischer Schwerewellen in die Stratosphäre wurden am 28. Januar 2016 mit den Forschungsflugzeugen DLR Falcon und HALO (High Altitude and Long Range Aircraft) koordinierte Messungen in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre (UTLS) über Südschweden durchgeführt. Die Messungen erfolgten im Rahmen der GW-LCYCLE II (Investigation of the life cycle of gravity waves) Kampagne. Meteorologische ECMWF IFS Analysen zeigen, dass während der Messflüge am 28. Januar 2016 moderate Anregebungsbedingungen für orographische Schwerewellen über Südschweden herrschten. Die In-situ-Daten auf den unterschiedlichen Flugniveaus und die Daten des nach unten gerichteten Doppler-Wind-Lidars zeigen eine deutliche Änderung der horizontalen Wellenlängen im Vertikalwind sowie der mittleren Impulsflüsse im Bereich der Tropopause. Obwohl die beobachteten horizontalen Skalen (Größenordnung 10 km) vergleichbar sind zu früheren Beobachtungen während der T-REX Kampagne (Owens Valley, Kalifornien), lassen sich diese Beobachtung nicht mit Kelvin-Helmholtz-Instabilitäten oder sekundären Schwerewellen (ausgelöst durch das Brechen orographischer Schwerewellen in der mittleren Stratosphäre) erklären. Grenzflächenwellen, welche an atmosphärischen Inversionen auftreten, können aufgrund der in diesem Fall vorhandenen TIL eine mögliche Erklärung für die beobachteten Wellencharakteristiken sein. Um herauszufinden, was die horizontalen Skalen im Vertikalwindfeld bestimmt und welche Prozesse die beobachteten Charakteristiken erklären, wurde der Fall und das mögliche Auftreten von Grenzflächenwellen an der TIL zusätzlich mit Grobstruktur-Simulationen (LES) mit dem EULAG Modell untersucht. Diese zeigen, dass die kurzen horizontalen Skalen von den stratosphärischen Bedingungen (Stabilität, Wind) bestimmt werden. Auftretende Grenzflächenwellen an der TIL zeigen in den Simulationen die beobachteten Charakteristiken in Bezug auf Wellenlänge und Impulsfluss. Die Amplituden und Dominanz des Wellenfeldes werden in dem vereinfachten 2D-Modellsetup jedoch unterschätzt.



## **DIEGO - Ein Multispektraler Thermal Sensor auf der Internationalen Raumstation**

Johannes Schultz (1,2) and Andreas Rienow (2)

(1) Department of Geography, Universität Bonn, Bonn, Germany (schultz@geographie.uni-bonn.de), (2) Department of Geography, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany (andreas.rienow@ruhr-uni-bochum.de)

Das Vorhaben „DIEGO – Dynamische Infrarot-Erdbeobachtung im ISS-Orbit“ wird die einzigartigen Vorteile des Orbits der Internationalen Raumstation (ISS) für Beobachtung der Erde im thermalen Infrarot nutzen. Das System soll auf der Bartolomeo-Plattform von Airbus Defence and Space installiert werden und wird räumlich sehr hochauflösende (< 60 m) multispektrale Daten im sichtbaren und im nahen Infrarot (VNIR) sowie im mittleren (MWIR) und langwelligen Infrarot (LWIR) von der Erdoberfläche liefern. Insgesamt verfügt das System über 11 koregistrierte multispektrale Kanäle, die einen Schwad von 350 km abdecken. Zwei Kanäle im sichtbaren Bereich, einer im nahen Infrarot und 8 im thermalen Infrarot im Wellenlängenbereich zwischen 3,6  $\mu\text{m}$  und 11,65  $\mu\text{m}$  stehen zur Verfügung. Außerdem verfügt das System über eine hochauflösende Videokamera, die auf einer schwenk- und neigbaren Trägerplatte installiert ist. Durch die geringe Mindestlichtstärke von 0,004 Lux ermöglicht die Videokamera astronomische Aufnahmen oder die Erfassung von Phänomenen wie der Aurora Borealis, Red Sprites und Blue Jets. Das Videosystem kann auch u.a. dazu verwendet werden, die Wolkenhöhe zu bestimmen. Es ist hierzu auch mit allen 11 Kanälen koregistriert.

Der Beitrag soll das DIEGO Sensorsystem und seine Anwendungsmöglichkeiten in der Meteorologie vorstellen. Neben der räumlich hoch aufgelösten Bestimmung der LST, SST, CTT kann die aufsteigende Feuer-Strahlungsleistung (Fire Radiative Power, FRP), ein Schlüsselparameter für „aktive Feuer“ und deren energetischen Bewertung bestimmt werden – und zwar beginnend mit sehr kleinen Vegetationsfeuern bis hin zu riesigen Busch-, Wald- oder Torfbränden. Aus solchen Daten können z. B. Emissionen von industriellen Gasfackeln oder Waldbränden abgeleitet werden. Aufgrund seines asynoptischen Beobachtungszyklus und seiner hohen räumlichen Auflösung ist das DIEGO Sensorsystem auch dazu geeignet Produkte - abgeleitet aus Daten von Satelliten mit geringerer räumlicher Auflösung e.g. METEOSAT oder Sentinel-3 - zu validieren.

## Detection and Attribution of anthropogenic climate impacts on phenological phases

Sebastian Lehner (1), Christoph Matulla (2), and Helfried Scheifinger (2)

(1) University of Vienna, Faculty of Earth Sciences, Geography and Astronomy, Department of Meteorology and Geophysics, Austria (sebastian\_lehner@icloud.com), (2) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Eine wichtige Konsequenz des Klimawandels ist der Einfluss auf die phänologischen Frühlingsphasen. Obwohl allgemein bekannt ist, dass anthropogene Mechanismen eine wesentliche Rolle in der Erwärmungstendenz des Klimas spielen und dass phänologische Frühlingsphasen sehr stark von der Temperatur abhängen, muss dieser Zusammenhang auf regionaler Skala noch quantitativ gezeigt werden. Das Ziel dieser Studie ist es, dies für Zentraleuropa mittels der ‚optimal fingerprint‘ Methode (Hasselmann, 1997) zu zeigen.

Diese Methode fällt in die Kategorie ‚Detection and Attribution‘. Im ersten Schritt wird eine Diskrepanz zwischen Klimabedingungen ohne jeglichen anthropogenen Einfluss und Beobachtungen gesucht und auf statistische Signifikanz untersucht (Ablehnen der Null-Hypothese, dass die beobachteten Änderungen durch natürliche Variabilität oder natürlich forcierte Klimabedingungen alleine erklärbar sind). Ist dies erfolgreich geschehen, wird der Grad des anthropogenen Ausmaßes auf die Beobachtungen ermittelt und auf konsistente Konfidenz geprüft. Die Beobachtungen dürfen hierbei nur dann rekonstruierbar sein, wenn anthropogenes Forcing im Klimazustand berücksichtigt wird (Konsistenz-Hypothese).

Die Studie gilt genau dann und nur dann als erfolgreich, wenn die Null-Hypothese abgelehnt wird (‚Detection‘) und die Konsistenz-Hypothese akzeptiert wird (‚Attribution‘). Um die Variabilität des Klimas ohne jegliches Forcing (weder natürlich, noch anthropogen) abzuschätzen, werden piControl (pre-industrial Control) Läufe von globalen Klimamodellen (General Circulation Model – GCM) benötigt. Um die Auswirkungen von natürlichem und anthropogenem Forcing zu untersuchen, werden historische Läufe mit den jeweiligen Forcings benötigt. Insgesamt werden mehrere Modelle mit mehreren Läufen je Modell verwendet, um ein Ensemble an GCM Läufen zu erhalten.

Um die jeweiligen Temperaturen der GCMs mit den phänologischen Daten (Eintrittsdatum der jeweiligen Phase als ‚yearday‘) vergleichen zu können, müssen diese zuerst auf ein regionales Gitter übertragen werden. Hierzu wird ein Empirisches-Statistisches-Downscaling Verfahren verwendet. Folgend wird ein phänologisches Temperatursummenmodell verwendet, welches anhand von Beobachtungen kalibriert wird.

## **Monsunsignaturen in der Temperaturreihe Lindenberg - ein Vorhersage-Experiment**

Peter Carl

ASWEX - Applied Water Research, Climate Dynamics & Signal Analysis Project, Berlin, Germany (pcarl@aswex.de)

Um regionale Klimadynamik auf eine Weise zu verstehen und transparent zu machen, die für Akteure vor Ort (Landwirtschaft, Verwaltungen etc.) von praktischem Nutzen ist bei ihrem Bemühen um geeignete Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, wird nach 'niederfrequenten' Signalen im intrasaisonalen (30-60tägigen) Zeitbereich gefahndet, die sich für Prognose-Experimente eignen. Sie sind im Nordsommer mit der Aktivität des planetaren Monsunsystems verbunden, aber es war unklar, ob sie sich in Regionaldaten des Berlin-Brandenburgischen Raumes deutlich genug ausprägen. Methode der Wahl, um dies herauszufinden, ist das Matching-Pursuit Verfahren (MP; Mallat & Zhang, 1993), ausgestattet hier mit frequenzmodulierten (FM) 'analysierenden Wavelets', die eine gute Anpassung an die Daten ermöglichen (Carl, 2015). Da alle MP-FM Komponenten einer Zeitreihe als Formeln vorliegen, sind sie auch ohne Weiteres über den Analyse-Bereich hinaus fortsetzbar; die Methode ist also bestens geeignet für die datenbasierte Prognose.

In einem Screening über 112 Jahre Sommersaison seit Beginn der Messungen an der Station Lindenberg (Mark) ergaben sich etliche Hinweise auf die Existenz solcher intrasaisonalen Moden auch in den Regionaldaten, gipfelnd in einer überraschend klaren Signatur der Monsun-Aktivität im Sommer 2013. Auch in anderen Jahren bergen diese Moden ein interessantes Prognosepotential, so etwa beim frühzeitigen Saisonende 2016. Das Problem besteht darin, sie nicht erst in der 'post mortem' Analyse nach der Saison zu erkennen, sondern bereits in ihrem Entstehen während des Saisonverlaufs. Nach Erkundungsexperimenten im Sommer 2017 wurde deshalb die 2018er Saison mit tagesgenauen Analysen und Prognoseversuchen begleitet, wodurch die sich entwickelnde starke Hitzewelle im Hochsommer etwa 30 Tage im Voraus erkannt werden konnte. Überraschend ist in diesen Daten auch die Existenz dynamischer Details, die aus der Arbeit mit einem 'kleinen' Zirkulationsmodell der Troposphäre bekannt sind (Carl, 2013), das eine qualitativ korrekte Monsundynamik im Nordsommer aufweist. Anhand solcher systemdynamischen Phänomene wie einer Periodenverdopplung (die u.a. verantwortlich ist für abwechselnd schwächere und stärkere Hitzewellen) demonstriert der Beitrag das Potential einer Kombination aus konzeptioneller Systemkenntnis und profunder Datenanalyse für die intrasaisonale Prognose.

Die Arbeiten wurden teilweise durchgeführt im Rahmen des BMU-geförderten Projekts B.A.U.M ("Klimawandel und Wetteranomalien: Bewertung von Agrar-Umwelt-Maßnahmen"), FKZ 03DAS074

Kurzfassungen der Meteorologentagung DACH  
Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, 18.–22. März 2019  
DACH2019-230  
© Author(s) 2018. CC Attribution 4.0 License.



## **Fortschritte bei der Kopplung des WRF-Modells mit einem CFD Modell**

Daniel Leukauf (1), Asmae Bahlouli (2), Hossein Torkashvand (2), Hermann Knaus (2), and Stefan Emeis (1)

(1) Institut für Meteorologie und Klimaforschung - Institut für Umweltforschung (IMK-IFU), Karlsruhe Institut für Technologie, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, (2) Fakultät Gebäude Energie Umwelt, Hochschule Esslingen, Esslingen, Deutschland

# Fortschritte bei der Kopplung des WRF-Modells mit einem CFD Modell

November 6, 2018

## Zusammenfassung

Mesoskalige Wettermodelle mit einer Maschenweite im Kilometerbereich werden bereits operationell gerechnet. Trotzdem gibt es den Bedarf an Simulationen mit noch feinerer Auflösung. Eine feinere Auflösung erlaubt es nicht nur die Topographie noch besser darzustellen, sondern erlaubt auch den Verzicht auf Grenzschichtparametrisierungen, welche für flaches, homogenes Terrain entwickelt wurden. Darüber hinaus können feinmaschigere Modelle einen noch größeren Bereich des Turbulenzspektrums explizit auflösen. Da meteorologische Modelle selbst im Large Eddy Simulation (LES) Modus die Turbulenz nur unzureichend darstellen, ist eine Kopplung mit einem CFD Modell von Interesse.

Für die Kopplung zwischen mesoskaligem Modell und CFD Modell werden zunächst mit dem Weather and Research Model (WRF) Modell Simulationen durchgeführt. In mehreren nesting-Schritten wird die horizontale Auflösung auf 150 m verfeinert und relevante Daten wie Druck, Windgeschwindigkeit und Temperatur entlang vordefinierter Ränder aus dem Modell mit einem Zeitschritt von einer Minute extrahiert. Diese Daten werden entlang der Ränder des CFD Modells interpoliert und dienen als Randbedingung. Im OpenFOAM-CFD Modell werden die Navier-Stokes Gleichungen mit Auftriebskraft, eine Energiegleichung und das  $k - \epsilon$  Turbulenzmodell schließlich gelöst.

Die Analyse der Modellergebnisse konzentriert sich auf die Prozesse entlang der Übergangszonen, sowie auf die Entwicklung der Turbulenz in beiden Modellen. Dabei werden Simulationen über offenem Meer und komplexem Gelände miteinander verglichen.

Eine Anwendung, für die solche Modelle relevant sind, ist die Nutzung der Windkraft im komplexen Gelände. Das Projekt WINSENT (Wind Science and Engineering) hat zum Ziel ein Windkraft-Testfeld bei Stötten auf der Schwäbischen Alb, nahe einer Geländekante zu etablieren. An diesem Ort werden mehrere Messmasten errichtet und mit Sonic- und Cupanemometern instrumentiert. Zusätzlich werden Messungen mit unbemannten Kleinflugzeugen und LiDAR durchgeführt. Eine Modellkette von der Mesoskala bis zur Mikroskala soll aufgebaut werden, um die Strömung am Standort räumlich und zeitlich hochaufgelöst und unter Berücksichtigung der zentralen physikalischen Phänomene sowie der orographischen und topographischen Verhältnisse vorherzusagen.

## Vergleich neuartiger und bewährter Analogmethoden zur Abschätzung von Hitzeereignissen in Augsburg

Christian Merckenschlager, Elke Hertig, and Christoph Beck

University of Augsburg, Institute for Geography, Augsburg, Germany (christian.merkenschlager@geo.uni-augsburg.de)

Im Rahmen des DfG-geförderten Projekts „Urban climate change: scenarios of system events“ soll die Intensität der Wärmebelastung während andauernder Hitzewellen für das Stadtgebiet Augsburg abgeschätzt werden. Um präzisere Abschätzungen zu gewährleisten, bedarf es einer detaillierten Beschreibung solcher Systemereignisse, da verschiedene Einflussfaktoren die Folgen von Hitzewellen abschwächen bzw. fördern können.

Um Wetterlagen zu identifizieren, die für Hitzewellen verantwortlich sind, werden die rezenten Temperaturdaten der Wetterstation Augsburg-Mühlhausen des DWD in Verbindung mit der vorherrschenden Zirkulation (repräsentiert durch z.B. Druck auf Meeresspiegelniveau und geopotentielle Höhen aus dem ERA-Interim Datensatz) im Zeitraum 1979-2017 analysiert. Anschließend werden anhand von Wetteranalogen charakteristische Wetterlagen zukünftiger Events der rezenten Periode zugeordnet, um so Aussagen über die Entwicklung von Temperaturextremen treffen zu können. Hierfür werden die unterschiedlichen Analogmethoden anhand eines Jahres validiert, um so die Güte der unterschiedlichen Ansätze miteinander vergleichen zu können.

Die hier vorgestellten Analogansätze basieren einerseits auf dem Normalenvektor, andererseits auf dem Schwerpunkt der jeweils vorherrschenden Zirkulationsmuster. Beide Ansätze verbindet, dass zuerst innerhalb eines Zeitfensters von  $\pm 15$  Tagen des zu ersetzenden Tages ermittelt wird, welche Tage das jeweilige Selektionskriterium erfüllen. Anschließend wird das entsprechende Analog anhand der Abweichungen der lokalen Temperaturen des ERA-Interim Datensatzes ermittelt. Bei der Methode basierend auf dem Normalenvektor wird für jeden Tag der Zeitreihe die Regressionsebene berechnet, welche die regionale Zirkulation am besten widerspiegelt. Anschließend werden die Abweichungen der Vektoren in xy- sowie in z-Richtung zwischen den Tagen des Validierungsjahrs und der restlichen Zeitreihe berechnet. Die Tage, deren Normalenvektor sowohl in xy- als auch in z-Richtung innerhalb eines Sektors von  $\pm \frac{1}{4}$  der Standardabweichung des zu ersetzenden Tages liegt, repräsentieren die jeweilige Teilstichprobe für den zweiten Selektionsprozess. Der Schwerpunkt wird anhand der absoluten Werte der zirkulationsdynamischen Variablen berechnet. Hierbei dienen die absoluten Werte als Gewichte auf einer horizontal ausgerichteten Ebene. Der Abstand zwischen den Schwerpunkten des jeweiligen Tages des Validierungsjahrs und der restlichen Zeitreihe repräsentiert dabei das Selektionskriterium. Liegt der Abstand innerhalb eines Sektors von  $\frac{1}{2}$  der Standardabweichung der durchschnittlichen Abweichungen, wird dieser für den zweiten Selektionsprozess in Betracht gezogen. Anschließend werden die Ergebnisse der beiden Ansätze mit einem bewährten Ansatz verglichen, der auf den Koordinaten eines anhand einer Principal Component Analysis (PCA) aufgespannten Raumes basiert (ZORITA & VON STORCH 1999).

## Satellitenbasierte Erzeugung realistischer Einstrahlungszeiterien mit minütlicher Auflösung

Sebastian Schreck (1), Marion Schroedter-Homscheidt (2), Karl-Kiên Cao (3), and Martin Klein (3)

(1) ehemals: DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart, (2) DLR, Institut für Vernetzte Energiesysteme, Oldenburg (Marion.Schroedter-Homscheidt@dlr.de), (3) DLR, Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart

Die solare Einstrahlung unterliegt wetterbedingten Schwankungen in Auflösungen bis zu einer Minute oder einer Sekunde. Für die systemanalytische Simulation von Photovoltaikanlagen werden oftmals jedoch nur stündlich aufgelöste Datensätze verwendet. Der Vortrag geht der Frage nach, ob höheraufgelöste Eingangsdaten in der Simulation von Photovoltaikanlagen verwendet werden sollten. Für eine typische Hausdachanlage auf einem Wohngebäude mit installiertem Batteriespeicher wird der Fehler in der Bestimmung des möglichen Eigenverbrauchs des Hauses und der Anzahl der benötigten Ladezyklen des Speichers quantifiziert. Der Bedarf nach 1-minütig aufgelösten Einstrahlungsdaten wird somit motiviert.

Diese hohe zeitliche Auflösung kann jedoch heutzutage weder von Wettermodellen noch von Satellitenbeobachtungen der geostationären Wettersatelliten bereitgestellt werden. Es wurde daher ein automatisches Verfahren zur Erzeugung künstlicher Zeitserien entwickelt. Diese Zeitserien haben vergleichbare statistische Eigenschaften wie die aus Bodenbeobachtungen bekannten 1-Minuten-Zeitserien.

Hierfür werden eine Referenzdatenbank von Variabilitätsklassen (Schroedter-Homscheidt et al., 2018) und ein automatisches Klassifikationsverfahren für Bodenbeobachtungen verwendet. Die mit letzterem bestimmten Variabilitätsklassen dienen als Trainingsdatensatz für ein Neuronales Netzwerk, das aus satellitenbasierten Strukturparametern der Wolkenmasken aus MSG SEVIRI (Wey und Schroedter-Homscheidt, 2014) diese Variabilitätsklassen ebenfalls ableitet. Das trainierte Netzwerk kann auf beliebige Standorte im MSG Sichtbereich in Europa, Naher Osten und Afrika angewandt werden. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass letztlich nur die Variabilitätsklassen eines beliebigen Standorts bekannt sein müssen, um mittels eines stochastischen Zeitseriengenerators und der Referenzdatenbank als Input 1 minuten-aufgelöste Zeitserien für ebendiesen zu erzeugen.

Diese weisen ähnliche statistische Eigenschaften bzgl. der Variabilitätsklassen, der Verteilungsfunktionen der Strahlungswerte und der beobachteten Rampen der Einstrahlung auf.

### Referenzen:

- Marion Schroedter-Homscheidt, Miriam Kosmale, Sandra Jung, and Jan Kleissl. Classifying ground-measured 1 minute temporal variability within hourly intervals for direct normal irradiances. *Meteorologische Zeitschrift*, 01 2018.
- Etienne Wey and Marion Schroedter-Homscheidt. APOLLO Cloud Product Statistics. In R. Pitchumani, editor, *SolarPACES 2013 International Conference*, volume 49 of *Energy Procedia*, pages 2414–2421. Elsevier, 2014.
- Sebastian Schreck. Implications of Sub-Hourly Solar Radiation Variability on Decentralized Energy Systems – Generation of Synthetic Time Series and Model-Based Assessment, Masterarbeit, Univ. Stuttgart, 2018

## **Klimaabhängigkeit von empirischen Parametern in SGS Parametrisierungen mittels des Fluktuations-Dissipations Theorems**

Martin Pieroth (1), Stamen Dolaptchiev (1), Matthias Zacharuk (1), Tobias Heppelmann (2), Andrey Gritsun (3),  
and Ulrich Achatz (1)

(1) Institut für Atmosphäre und Umwelt, Goethe Universität, Frankfurt/Main, Deutschland (pieroth@iau.uni-frankfurt.de), (2)  
Deutscher Wetterdienst, Offenbach/Main, Deutschland, (3) Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of  
Sciences, Russia

Für die Modellierung des Klimas sind Subgitterskalen (SGS) Parametrisierungen nötig. Viele dieser SGS Parametrisierungen enthalten empirischen (Tuning-) Parameter welche an Daten angepasst werden. Wird das System nun gestört, so sind diese empirischen Parameter unter Umständen fehlerhaft. Dies kann dazu führen, dass die SGS Parametrisierung nicht mehr in der Lage ist die gestörte Dynamik des Systems korrekt wiederzugeben. Daher wird eine Klimaabhängigkeit der Tuningparameter mittels des Fluktuations-Dissipations Theorems (FDT) eingeführt. Das FDT erlaubt es Änderungen der Statistik eines Systems aufgrund von Störungen, d.h. externen Antrieben, vorherzusagen. Diese Abschätzung wird dann verwendet, um die empirischen Parameter und somit die Schließung zu aktualisieren.

Zum Testen des Verfahrens wird ein quasigeostrophisches Dreischichtenmodell (QG3SM) verwendet. Zusätzlich wird ein reduziertes Modell, basierend auf den EOFs des QG3SM, eingeführt und mit einer rein empirischen, linearen Schließung versehen. Der externe Antrieb ist durch eine Temperaturanomalie in den mittleren Breiten gegeben. Pieroth et al. (2018) zeigt, dass das FDT in der Lage ist die Schließungsparameter erfolgreich zu aktualisieren. Das reduzierte Klimamodell mit entsprechend angepasster SGS Parametrisierung liefert eine bessere Übereinstimmung mit der Referenz als das reduzierte Klimamodell ohne angepasster Schließung. Zudem konnte gezeigt werden, dass, unter Verwendung von hinreichend vielen Basismustern, das reduzierte Modell mit angepasster Schließung die direkte Anwendung des FDTs schlägt.

Im nächsten Schritt soll ein reduziertes stochastisches Modell (RSM) konstruiert werden. Hierfür wird die stochastische Modenreduktion angewandt welche, basierend auf den Modellgleichungen und unter minimalen Tuning, die analytische Berechnung einer geeigneten stochastischen SGS Parametrisierung ermöglicht. Das Verhalten des RSM bei einem anomalen externen Antrieb soll untersucht und mit der mittels des FDT angepassten Parametrisierung verglichen werden.

### Referenz:

Pieroth M., S. I. Dolaptchiev, M. Zacharuk, T. Heppelmann, A. Gritsun, U. Achatz. 2018. Climate Dependence in Empirical Parameters of Subgrid-Scale Parameterizations using the Fluctuation-Dissipation Theorem. *J. Atmos. Sci.* 75 (11): 3843-3860. doi:10.1175/JAS-D-18-0022.1



## **Eddy-Shedding des Monsun Antizyklons als Resultat von absoluter Instabilität**

Philip Rupp (1) and Peter Haynes (2)

(1) Fakultät für Physik, LMU München, Germany (philip.rupp@physik.uni-muenchen.de), (2) DAMTP, Cambridge University, UK, (pjh@damtp.cam.ac.uk)

Mehrere Autoren haben über die letzten Jahre hinweg die relative Wichtigkeit von Eddy-Shedding Phänomenen in Zusammenhang mit dem asiatischen Monsun Antizyklon betont und die dazugehörigen Mechanismen und daraus entstehenden Implikationen für Wetter und Klima untersucht. Insbesondere haben Hsu und Plumb eine spontane Formation von diskreten Wirbeln in einem zweidimensionalen numerischen Modell mit kontinuierlicher Quelle beobachtet, wenn die Quellstärke einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Eine umfassende und einheitlich akzeptierte Theorie für das entsprechende Phänomen und die dazugehörigen Skalen gibt es bis dato allerdings nicht.

Wir haben ebenfalls das Verhalten eines zweidimensionalen beta-Kanal Modells mit kontinuierlicher und lokaler Masse-Quelle studiert. Neben den bekannten Zuständen für schwache (kontinuierlich) und starke (Eddy-Shedding) vorgegebene Quellstärke haben wir erstmals einen Übergangszustand beobachtet, in dem der Fluss nahe der Quelle kaum zeitliche und räumliche Variabilität aufzeigt, flussabwärts aber in einzelne Wirbel zerbricht. Mit Hilfe von umfassenden räumlich-zeitlichen Instabilitätsanalysen einer vereinfachten Repräsentation des Systems konnten wir zeigen, dass sich dieses Verhalten und die dazugehörigen Zustände mit Hilfe bestimmter Instabilitätseigenschaften der Strömung beschreiben lassen. In diesem Zuge war es uns möglich den Übergang in den Eddy-Shedding-Zustand für starke Quellen als Wechsel des Systems in einen absolut instabilen Bereich zu interpretieren. Dadurch konnten wir eine direkte Erklärung für die zugehörigen Schwellenwerte geben, sowie die Frequenz des Shedding-Prozesses konstruktiv rechtfertigen.

Die entsprechende Studie beschreibt und möglicherweise erklärt verschiedene Aspekte des Verhaltens eines lokal und kontinuierlich gestörten Systems für eine Reihe an Modellparametern. Besonders die Interpretation der spontanen Formation diskreter Wirbel als Resultat einer absoluten Instabilität könnte dadurch neues Licht auf das beobachtete Phänomen von Eddy-Shedding im Zusammenhang mit dem asiatischen Monsun Antizyklon werfen und unser Verständnis der zugehörigen Dynamik verbessern.



## **Beyond Traditional Limits of Gravity-Wave Parameterizations: Unbalanced Mean Flows**

Ulrich Achatz

Goethe-Universität Frankfurt/Main, Institut für Atmosphäre und Umwelt, Geowissenschaften/Geographie, Frankfurt/Main, Germany (achatz@iau.uni-frankfurt.de)

It is common practice in atmospheric models to parameterize gravity waves by pseudo-momentum or Eliassen-Palm flux convergence in the horizontal momentum equation. This approach is justified as long as resolved flow features of interest are in geostrophic and hydrostatic balance (Achatz et al 2017, Wei et al 2018). The present study probes the limits of this ‘balanced’ approach in a twofold manner. (1) For the case of unbalanced synoptic-scale and planetary-scale flows, e.g. the residual circulation, it is shown that the effect of mesoscale inertia-gravity waves is considerably better captured if (a) the momentum equation is forced by anelastic momentum-flux convergence and an elastic term taking into account the effect of gravity-wave density fluctuations and (b) thermodynamics is supplemented by an entropy-flux convergence term (Wei et al 2018). (2) For the case of subgrid-scale gravity waves in mesoscale-resolving models the theory for the corresponding parameterization is developed. It is shown that gravity waves with scales below the resolution of present-day weather-forecast models can affect the resolved flow, and that their parameterization is possible (Wilhelm et al 2018). In both cases (1) and (2), comparisons between gravity-wave resolving simulations and gravity-wave parameterizing WKB simulations, using an efficient Lagrangian ray-volume technique (Muraschko et al 2015), are used for demonstration. Hence, gravity-wave parameterizations in global and regional models should be modified accordingly.

### References

- Achatz, U., Ribstein, B., Senf, F., and R. Klein 2017: The interaction between synoptic-scale balanced flow and a finite-amplitude mesoscale wave field throughout all atmospheric layers: Weak and moderately strong stratification. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 143, 342–361
- Muraschko, J., Fruman, M. D., Achatz, U., Hickel, S., and Y. Toledo, 2015: On the application of WKB theory for the simulation of the weakly nonlinear dynamics of gravity waves. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 141, 676–697
- Wei, J., Bölöni, G., and U. Achatz: Beyond traditional limits of gravity-wave parameterizations in climate models: Unbalanced Mean Flows. *J. Atmos. Sci.*, in prep.
- Wilhem, J., Akylas, T.R., Bölöni, G., Wei, J., Ribstein, B., Klein, R., and U. Achatz 2018: Interactions between meso- and sub-mesoscale gravity waves and their efficient representation in mesoscale-resolving models, *J. Atmos. Sci.*, 75, 2257-2280

## **Sommer ohne Ende: raum-zeitliche Bewertung der 2018er Hitzeepisoden in Europa im langzeitlichen Kontext**

Andreas Hoy (1) and Stephanie Hänsel (1,2)

(1) TU Bergakademie Freiberg, Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, Brennhausgasse 5, 09599 Freiberg, Deutschland (andreas.hoy@ioez.tu-freiberg.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Str. 135, 63067 Offenbach am Main, Deutschland

Die in fast allen europäischen Regionen beobachtete Häufung heißer Sommer seit den 1990er bzw. insbesondere 2000er Jahren ist – seit Beginn regelmäßiger Wetterbeobachtungen im 18. und 19. Jahrhundert – beispielsweise Extrem hohe Temperaturen, insbesondere bei einer langen Andauer über mehrere Wochen hinweg, bedrohen nicht nur die Gesundheit vor allem älterer und geschwächter Menschen, sondern wirken sich auch vielfältig auf Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft aus.

Der Sommer des Jahres 2018 war vor allem (aber nicht nur) in Mittel- und Nordeuropa durch einige sehr frühe Wärmeperioden, einen heißen Hochsommer sowie Sommer- und heiße Tage zum Teil bis in den Oktober hinein geprägt. In Deutschland waren aufeinanderfolgend April und Mai die im Flächenmittel wärmsten Monate seit 1881, und in Skandinavien stiegen die Temperaturen Ende Mai regional auf Werte nahe der bisherigen Jahresrekorde an. Viele Stationen der benannten Gebiete verzeichneten neue Extreme der Häufigkeit von Sommer- und heißen Tagen, die die alten Rekorde zum Teil um Längen überboten. Hinzu kamen in vielen Regionen außergewöhnliche Dürrebedingungen, die in Verbindung mit den beobachteten Temperaturanomalien zu einem extremen Wasserdefizit und rekordniedrigen Flusspegeln führten.

In diesem Beitrag wird ein qualitativ hochwertiges Datenkollektiv von Stationsklimadaten verwendet, welches den überwiegenden Teil Europas möglichst gleichmäßig abdeckt. Es besteht zu großen Teilen aus homogenisierten Zeitreihen täglicher Beobachtungen von Temperaturmittel, -maximum und -minimum. Die Verwendung von Stationsdaten ermöglicht, im Vergleich zu Rasterdaten, a) eine individuelle Qualitätseinschätzung und -verbesserung der zugrunde liegenden Daten sowie 2) zum Teil deutlich längere Zeitreihen individueller Stationen. Um die verschiedenen Klimazonen und -charakteristika adäquat vergleichen zu können, werden vor allem perzentilbasierte Kennzahlen verwendet. Betrachtet werden diverse Temperaturindizes sowie Hitzewellen ab 3 Tagen Länge.

## Der Neue Europäische Windatlas

Björn Witha (1), Andrea Hahmann (2), Tija Sīle (3), Martin Dörenkämper (4), Elena Garcia Bustamante (5), Jorge Navarro (5), Fidel González-Rouco (6), Mariano Sastre (6), Stefan Söderberg (7), Grégoire Leroy (8), Yasemin Ezber (9), Jordi Barcons (10), Jakob Mann (2), Javier Sanz-Rodrigo (11), and Julia Gottschall (4)

(1) ForWind, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg, Deutschland (bjoern.witha@uol.de), (2) Wind Energy Department, Technical University of Denmark, Roskilde, Dänemark, (3) University of Latvia, Riga, Lettland, (4) Fraunhofer IWES, Oldenburg/Bremerhaven, Deutschland, (5) CIEMAT, Madrid, Spanien, (6) Universidad Complutense de Madrid, Spanien, (7) WeatherTech Scandinavia AB, Uppsala, Schweden, (8) 3E, Brüssel, Belgien, (9) Istanbul Technical University, Türkei, (10) Barcelona Supercomputing Center, Spanien, (11) CENER, Sarriguren, Spanien

Mit dem ‚Neuen Europäischen Windatlas‘ (NEWA) wird in Kürze ein beispielloser neuer hochaufgelöster Datensatz mit relevanten Parametern für die Ressourcenabschätzung und Standortbeurteilung in der Windenergie frei zur Verfügung gestellt werden. An dem Projekt sind 30 Partner aus 8 Ländern im Rahmen eines Vorhabens im ‚ERA-NET Plus‘-Programm der Europäischen Kommission beteiligt.

Der Windatlas wird mit der gesamten Europäischen Union sowie Norwegen, der Schweiz und der Türkei einen Großteil Europas abdecken. Berücksichtigt werden auch die Offshore-Gebiete bis etwa 100 km Entfernung zur Küste sowie die gesamte Nord- und Ostsee.

Wesentliche Bestandteile des NEWA sind:

- ein mesoskaliger Windatlas auf der Grundlage von Simulationen mit dem mesoskaligen Modell WRF, welcher mit einer Auflösung von 3 km Zeitreihen von einer Vielzahl von Parametern in mehreren Höhen über Grund für den Zeitraum von 1988-2017 bereitstellt,
- herunterskalierte Windstatistiken in 50 m Auflösung basierend auf dem mesoskaligen Atlas und Berechnungen mit dem Programm WaSP,
- eine Anleitung für eine neuartige Methode, in der die Ergebnisse des mesoskaligen Windatlasses als Antrieb für ein mikroskaliges Modell genutzt werden, um die Windressourcen für ein beliebiges Untersuchungsgebiet mit noch höherer Auflösung zu berechnen,
- quantitative Unsicherheitsinformationen für jeden Gitterpunkt des mesoskaligen Windatlasses basierend auf Ensemblerechnungen,
- Messdaten aus diversen meteorologischen Messkampagnen, die im Rahmen des NEWA-Projektes durchgeführt werden.

Mit diesem neuen und vereinheitlichten Ansatz sollen die Windverhältnisse zuverlässiger als mit bisherigen Modellen abgeschätzt werden können, was zu einer erheblichen Reduzierung der Unsicherheiten bei der Ertragsabschätzung führen wird. NEWA soll künftig eine Referenzmethode für die Abschätzung von Windressourcen und die Standortbewertung von Windparks werden.

In diesem Beitrag möchten wir einen Überblick über den Neuen Europäischen Windatlas geben und dabei den Fokus auf die zugrunde liegenden mesoskaligen Modellsimulationen richten.

Im Vorfeld der tatsächlichen Produktionsläufe für den Windatlas wurde ein großes Ensemble gerechnet, dessen 45 Mitglieder jeweils unterschiedliche Modellkonfigurationen aufweisen. Zu den variierten Einstellungsparametern gehören u.a. die Modellversion, die Antriebsdaten für Atmosphäre, Land- und Meeresoberflächen und die Grenzschichtparametrisierung. Die Ergebnisse dieser Ensemblerechnungen, in denen das Jahr 2015 in einem Modellgebiet mit Schwerpunkt über dem nordwestlichen Mitteleuropa gerechnet wurde, wurden mit einer Basiskonfiguration sowie mit Messdaten verglichen. Aus den Ergebnissen wurde eine optimale Modellkonfiguration für die Produktionsläufe abgeleitet.

Des Weiteren wurde ein auf 10 Mitglieder reduziertes Ensemble zusammengestellt, welches zurzeit für das gesamte Modellgebiet des Windatlasses und das Jahr 2017 gerechnet wird. Hierzu wurden die Modellkonfigu-

rationen verwendet, welche im vorherigen großen Ensemble die größte Streuung in den Ergebnissen generiert haben. Hierzu zählen unter anderem die Wahl der Grenzschichtparametrisierung, des Landoberflächenmodells und der Antriebsdaten. Das reduzierte Ensemble soll für jeden Gitterpunkt des Produktionslaufes eine quantitative Abschätzung der Unsicherheiten liefern, die aus der Wahl der Modellkonfiguration entstehen können.

## **Wie groß ist der Fehler bei Verwendung von Monin-Obukhov-Ähnlichkeitsfunktionen über heterogenem Gelände?**

Katrin Frieda Gehrke, Björn Maronga, and Siegfried Raasch

Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie (gehrke@muk.uni-hannover.de)

Die Ähnlichkeitstheorie nach Monin und Obukhov (MOST) besagt, dass empirische Ähnlichkeitsfunktionen existieren, welche die Abhängigkeit von dimensionslosen Größen wie Windgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte von der atmosphärischen Stabilität in der Prandtl-Schicht beschreiben. Diese Funktionen setzen nach ihrer Definition einen homogenen Untergrund voraus. Obwohl diese Homogenitätsvoraussetzung in der Realität praktisch nie erfüllt ist, wird MOST dennoch gängigerweise sowohl bei der Analyse von Messdaten als auch als Randbedingung in numerischen Simulationen verwendet. In dieser Studie werden eine Reihe von Large-Eddy Simulationen (LES) mit unterschiedlich atmosphärischer Stabilität von fast neutraler bis hin zu rein konvektiver Schichtung durchgeführt. Die Prandtl-Schicht wird in den Simulationen mit einer isotropen Gitterweite von 2 m explizit aufgelöst, sodass Ähnlichkeitsfunktionen bestimmt werden können. Im Vergleich zu Messkampagnen liegt der Vorteil einer LES darin, dass komplette dreidimensionale Datensätze eine Vielfalt an ausreichender Statistik erlaubt. Aus einem Vergleich der so ermittelten Ähnlichkeitsfunktionen mit denen aus einem homogenen Kontrolllauf wird der Fehler ersichtlich, welcher durch Verletzung der Homogenitätsannahme eingeführt wird. Eine umfangreiche Parameterstudie mit idealisierten Heterogenitäten unterschiedlicher Größe und Stärke zeigt zudem Abhängigkeiten von Heterogenitätseigenschaften auf. Des Weiteren wird aus der Analyse der Ergebnisse gefolgert, dass insbesondere lokale Einflüsse den Fehler der angenommenen Ähnlichkeitsfunktion bestimmt. Daraus können generelle Standortempfehlungen für Messungen der turbulenten Flüsse in realem heterogenem Gelände abgegeben werden.

## **Pilotstation zur Erprobung bodengestützter Fernerkundungssysteme für den operationellen Einsatz**

Markus Kayser, Christine Knist, and Volker Lehmann

Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg-Richard Aßmann Observatorium, Lindenberg, Germany

Die Verbesserung der Vorhersagen konvektionserlaubender Modelle erfordert insbesondere eine genauere Quantifizierung des physikalischen Zustands der atmosphärischen Grenzschicht durch Messungen der relevanten thermodynamischen und kinematischen Größen mit einer hinreichenden vertikalen und zeitlichen Auflösung. Die benötigten Daten lassen sich mit Hilfe aktiver und passiver bodengestützter Fernerkundungssysteme gewinnen, sofern diese Instrumente kommerziell verfügbar und für einen kontinuierlichen (24/7) Messbetrieb geeignet sind.

Bereits vor 15 Jahren hat der DWD im Rahmen des Projektes „Messnetz 2000“ vier Windprofilmessradare (482 MHz) erfolgreich in den operationellen Betrieb integriert. Das im Jahr 2018 gestartete Vorhaben „Pilotstation bodengebundene Fernerkundung“ soll neu verfügbare bodengestützte Fernerkundungsinstrumente quasi-operationell testen, um weitere Optionen für eine zukünftige qualitative Erweiterung des bodengestützten DWD-Messnetzes bewerten zu können. Neben einer umfangreichen Evaluierung am Meteorologischen Observatorium in Lindenberg soll nahezu gleichzeitig ein betrieblicher Test der zu testenden Geräte im operationellen Rahmen an der Klimareferenzstation Aachen-Orsbach beginnen. Es wird erwartet, dass dieser zweigleisige Ansatz der parallelen Analyse von wissenschaftlichen und praktischen Aspekten, wie z.B. der Zuverlässigkeit der Geräte, die Verfügbarkeit der Daten, die betriebliche Nachhaltigkeit und praktisch erreichbare Datenqualität den Übergangsprozess von der Entwicklung in den Betrieb („Research-to-operations“) verbessert.

Folgende Messverfahren werden zunächst im Rahmen des Projektes untersucht:

- 1) Doppler-Windlidar, zur Messung von Profilen des mittleren Windvektors;
- 2) Wasserdampf DIAL (Differential Absorption LiDAR) für Wasserdampfprofile;
- 3) Mikrowellenradiometer zum Erfassen von Temperatur- und Wasserdampfinformationen sowie zur Bestimmung des Flüssigkeitswasserpfad.

Zu einem späteren Zeitpunkt soll auch die operationelle Eignung des Raman-Lidarverfahrens für Feuchte- und Temperaturmessungen sowie von Wolkenradarmessungen für den operationellen Einsatz untersucht werden.

Im Rahmen der Konferenz werden der aktuelle Stand des Projektes und erste Ergebnisse aus der Erprobung vorgestellt.



## **NowCastSAT-Aviation: Gewitter-Nowcasting für Piloten**

Stéphane Haussler, Matthias Jerg, and Richard Müller

Deutscher Wetterdienst, Aeronautical Meteorology, Offenbach, Germany (stephane.haussler@dwd.de)

Das Verfahren NowCastSAT-Aviation (NCS-A) ist eine Neuentwicklung des Deutschen Wetterdienstes. Das Produkt soll helfen, die „Situational Awareness“ von Piloten für starke konvektive Ereignisse in der Enroute-Phase von Langstreckenflügen zu erhöhen. Während dieses Flugabschnittes stehen in der Regel keine bodengestützten Daten wie z.B. Radarmessungen zur Verfügung und das Bordradar ist die einzig verfügbare Datenquelle, die hochaktuelle Informationen liefern kann. Über dessen begrenzte Reichweite hinaus leistet NCS-A durch seine nahezu globale Abdeckung von Detektion und Verlagerung konvektiver Zellen einen wesentlichen Beitrag zur Beurteilung der meteorologischen Situation auf dem Flugweg.

Der Algorithmus verwendet sowohl die zeitnahen Messungen der abbildenden Instrumente geostationärer Satelliten als auch Vorhersagen des numerischer Wettervorhersagemodells ICON. Auf den damit erfolgten Detektionen von Gewitterzellen basiert die anschließende Verlagerung mit Hilfe des optischen Flusses aus der Bildsequenz. Mit der Helligkeitstemperatur der Wolkenobergrenze und Wettervorhersagemodelldaten wird schließlich deren Höhe bestimmt.

Blitzdaten aus dem im DWD operationell verwendeten LINET-Netzwerk in Europa ergänzen diese Informationen bzw. bilden für die Bewertung des Algorithmus die Referenzmessung.

Nach einer kurzen Einführung in die technische Infrastruktur von NCS-A beginnend beim Dateneingang bis hin zu der Visualisierung mit Geowebdiensten, werden die verwendeten Detektions- und Verlagerungsalgorithmen dargestellt. Des Weiteren wird die Leistungsfähigkeit des Verfahrens im Vergleich zu Blitzmessungen in Mitteleuropa im Jahre 2017 erläutert. Die Operative Verfügbarkeit und Dateilieferung werden präsentiert.

## **Analyse verschiedener Doppler-Lidar Scan-Strategien zur Ableitung des mittleren Windvektors in der konvektiven Grenzschicht auf Basis von Large-Eddy-Simulationen**

Katrin Frieda Gehrke (1), Lennart Böske (2), and Frank Beyrich (3)

(1) Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie (gehrke@muk.uni-hannover.de), (2) Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, (3) Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg

Doppler Lidar Systeme haben sich in den letzten Jahren als zuverlässige Messsysteme zur Bestimmung des vertikalen Windprofils in der atmosphärischen Grenzschicht etabliert. Wie beim Radar-Windprofiler und Sodar beruht auch beim Doppler-Lidar die Bestimmung des Windvektors in einer gegebenen Höhe auf Messungen der radialen Windgeschwindigkeitskomponenten entlang von mindestens drei verschiedenen Strahlrichtungen. Darüber hinaus erlauben Lidar-Systeme die Nutzung des „Velocity Azimuth Display“-Verfahrens, welches auf einer erhöhten Anzahl von Strahlrichtungen basiert. Dabei werden häufig 8, 12, 16, 20 oder 24 azimuthal äquidistante Strahlrichtungen genutzt, die in einem einheitlichen Zenitwinkel geneigt sind. Zusätzlich kann mit einem vertikal orientierten Strahl die  $w$ -Komponente des Windvektors direkt ermittelt werden. Die Bestimmung des dreidimensionalen Windvektors beruht jedoch auf der Annahme der horizontalen Homogenität des mittleren Windfeldes innerhalb des durch die Messstrahlen aufgespannten Kegels sowie der Stationarität während eines Scans. Diese Annahmen sind über heterogenem Boden und in der konvektiven Grenzschicht, insbesondere bei großem Zenitwinkel, zumindest kritisch zu bewerten. Large-Eddy Simulationen (LES) haben sich wiederholt als geeignetes Hilfsmittel erwiesen, die Sondierungseigenschaften von Messsystemen in der Grenzschicht unter definierten, realitätsnahen Bedingungen zu simulieren und damit wichtige Hinweise für die Bewertung und Interpretation von Messungen zu geben. Die Grundlage dieser Studie bildet eine LES der konvektiven Grenzschicht über homogenem Untergrund mit isotroper Gitterweite von 5 m. Dieser Datensatz wird für verschiedene, in der Praxis bei der Durchführung von Doppler-Lidar-Messungen eingesetzte Scan-Strategien ausgewertet. Die auf unterschiedlichem Wege abgeleiteten virtuellen Profile des mittleren Windvektors werden im Hinblick auf die Fehler der einzelnen Scan-Strategien bewertet, wobei als Referenz ein Flächenmittel aus der LES dient.

## Entwicklung und Anwendung eines online-gekoppelten Chemiemoduls für das mikroskalige Stadtklimamodell PALM-4U

Renate Forkel (1), Basit Khan (1), Matthias Mauder (1), Sabine Banzhaf (2), Emmanuele Russo (2), Farah Kanani-Sühring (3), Björn Maronga (3), Siegfried Raasch (3), Mona Kurppa (4), and Klaus Ketelsen (5)

(1) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen, Germany (renate.forkel@kit.edu), (2) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, TrUmf, Berlin, (3) Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, (4) Universität Helsinki, Institute for Atmospheric and Earth System Research, Helsinki, Finland, (5) Unabhängiger Software Consultant, Berlin

Large Eddy Simulation (LES)–Modelle ermöglichen es nicht nur, die wesentlichen Skalen der turbulenten Strömung aufzulösen, sondern sind ebenso in der Lage, Gebäudestrukturen, Oberflächenwärmeflüsse an Gebäudefassaden und Straßenschluchten explizit darzustellen. Obwohl sich diese kleinskaligen Einflüsse stark auf die Ausbreitung, und damit auch auf die chemische Umwandlung und Deposition von Luftschadstoffen in urbanen Systemen auswirken, fanden LES-Modelle bisher für städtische Luftqualitätsstudien wegen des hohen Aufwandes nur geringe Verwendung. Mit PALM-4U steht ein neues mikroskaliges Modell mit online gekoppeltem Chemiemodul für hochaufgelöste Simulationen im urbanen Bereich zur Verfügung, das auf der Basis des seit Jahren bewährten LES-Modells PALM (Maronga et al., 2015, *Geosci. Model Dev.*, 8, doi:10.5194/gmd-8-2515-2015) entwickelt wurde.

Für die numerische Integration der Gasphasenchemie-Reaktionen wurde die aktuelle Version des Kinetic PreProcessor (KPP, Version 2.2.3) verwendet, was eine flexible Anpassung des chemischen Mechanismus an die jeweiligen Anforderungen ermöglicht. Für den LES-Modus von PALM-4U wurden aufgrund des ohnehin sehr großen Rechenaufwands von LES- und Atmosphärenchemie-Modellen stark vereinfachte Gasphasenchemiemechanismen bereitgestellt, die lediglich die im urbanen Kontext bedeutendsten chemischen Spezies berücksichtigen, d.h. O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, und eine kleine Anzahl von VOC und Reaktionsprodukten. Zusätzlich stehen alternativ ein vollständigerer Chemiemechanismus zur Verfügung, sowie ein Mechanismus, der auf das photostationäre Gleichgewicht beschränkt ist. Weiterhin besteht die Möglichkeit, mit Hilfe eines geeignet formulierten Mechanismus die Gasphasenchemie mit dem in PALM-4U implementierten Aerosolmodell SALSA (Kokkola et al. 2008, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, doi:10.5194/acp-8-2469-2008) zu koppeln. Aufgrund der Flexibilität durch die Verwendung des KPP-Präprozessors kann das Modellsystem jederzeit um weitere Chemiemechanismen erweitert werden.

Exemplarisch werden Modellergebnisse für ein Gebiet im Zentrum Berlins um den Ernst-Reuter-Platz gezeigt und die Performance unterschiedlicher Chemiemechanismen verglichen sowie der Einfluss verschiedener Ansätze für die lateralen Randbedingungen betrachtet.



## Ein Bürgermessnetz zur Unterstützung einer Messkampagne

Henning Rust (1), Martin Göber (2), Nadine Fleischhut (3), and Thomas Kox (4)

(1) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany (henning.rust@met.fu-berlin.de), (2) Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany (Martin.Goeber@dwd.de), (3) Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin, Germany (nadinefl@mpib-berlin.mpg.de), (4) Freie Universität Berlin, Institut für Informatik, Berlin, Germany (thomas.kox@fu-berlin.de)

Die Beteiligung von Bürgern an wissenschaftlichen Fragestellungen (Bürgerwissenschaften oder Citizen-Science) gewinnt international zunehmend an Popularität. Beginnend mit Zählungen von Zugvögeln im frühen 20. Jahrhundert bis hin zur computergestützten Klimamodellierung (climatePrediction.net) gibt es eine große Bandbreite von Möglichkeiten mit verschiedenem Grad der Partizipation von Bürgern. Im Rahmen der im Sommer 2020 stattfindenden Messkampagne Field Experiment on submesoscale spatio-temporal variability in Lindenberg (FESSTVaL, siehe DACH-Beitrag von Schlemmer et al.) soll ein Bürgermessnetz aufgebaut werden. Dieses Netzwerk liefert Daten um die Messkampagne zu unterstützen und durch die Beteiligung von Bürgern an der Messkampagne wird deren Interesse an und Kompetenz im Umgang mit Wetterrisiken gestärkt.

Zum einen untersuchen wir in welchem Umfang ein Bürgermessnetz basierend auf günstigen Sensoren in nichtstandardisierter Umgebung (z.B. Strahlungsschutz, keine aktive Belüftung, Aufstellungsort) ein professionelles Messnetz sinnvoll ergänzen kann. Eine erfolgreiche Integration eines solchen Netzwerks durch statistische Nachbearbeitung der Messung eröffnet neue Perspektiven, insbesondere für Forschungsfragen, die ein sehr dichtes Messnetz benötigen. Letzteres ist hier von besonderem Interesse, da im Rahmen von FESSTVaL Charakteristika (Temperatur, Druck) von sogenannten cold pools auf der Kilometerskala gemessen werden sollen, also auf einer deutlich kleineren Skala als der typische Abstand (25km) von Stationen des synoptischen Messnetzes.

Zum anderen untersuchen wir, inwieweit sich das Interesse an Wetterphänomenen und auch die Kompetenzen Wetterrisiken einzuschätzen verändert, wenn Bürger an der Messkampagne beteiligt werden. Hierzu sollen die Messgeräte teilweise in Workshops mit Bürgern, insbesondere auch Schülern hergestellt werden. Wir benutzen günstige Sensoren und weitere Bauteile aus dem Bereich Internet-of-Things wie sie zur Zeit in der Maker-Bewegung populär sind. Mittels Umfragen soll die Wirkung dieser Partizipation auf die oben genannten Kompetenzen untersucht werden.

## **Auswirkungen des Klimawandels auf die Maisproduktion in Vietnam**

Anh Tran Thi Mai, Josef Eitzinger, and Ahmad Manschadi

Univ. of Natural Resources & Applied Life Science, BOKU, Vienna, Austria

Mais (*Zea mays*, L) ist die zweitwichtigste Körnerfrucht in Vietnam sowie im Untersuchungsgebiet, einer Provinz im Norden Vietnams. Er wird in zwei unterschiedlichen Jahreszeiten angebaut, im Winter (Wintermais, September-Jänner) und im Frühjahr (Frühjahrsmais, Februar-Mai). Mais ist heutzutage aufgrund der wachsenden Bevölkerung und damit steigender Nachfrage nach Lebensmitteln in Vietnam wichtiger denn je. Die Klimavariabilität in Vietnam

in den letzten Jahren führte jedoch zu zunehmenden abiotischen Stressfaktoren für Mais wie Überschwemmungen und Trockenheiten, die die Maisproduktion in Vietnam beeinträchtigten. Um den Einfluss von Klimavariabilität auf die Maisproduktion zu erfassen, wird in der Studie Mais mit dem DSSAT-CERES Maismodell Version 4.5 simuliert. Zusätzlich wird das AGRICLIM Modell zur Analyse von Änderungen ungünstiger Witterungsbedingungen mittel Indikatoren eingesetzt. Die Datenanforderungen zur Durchführung der Simulation mit dem CERES-Maize Modell umfassen vier Arten von Eingabedaten, nämlich tägliche Wetterparameter, Boden- und Pflanzeigenschaften und produktionstechnische Informationen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Maiserträge (bei gleichbleibender Produktionstechnik wie genutzte Sorten, usw.) in der fernen Zukunft (2035-2100) im Allgemeinen niedriger sein würden als in der Gegenwart, besonders bei Frühjahrsmais. Berücksichtigt man jedoch den Durchschnitt der jährlichen Maiserträge über den gesamten Zeitraum von 100 Jahren (2000-2100 Klimaszenariendaten), zeigt sich, dass der simulierte Jahresertrag (gemittelter Winter- und Frühjahrsmaisertrag pro Jahr) beim RCP 8.5 Klimaszenario etwa +17.5% über dem Durchschnitt der beobachteten jährlichen Maiserträge (Referenzperiode 2000-2014) liegt, und beim RCP 4.5 Klimaszenario um 2.2% niedriger. In beiden Fällen wird dabei ein Anstieg der Wintermaiserträge simuliert. Aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen wird die N-Auswaschung in der Frühjahrssaison aufgrund der geringeren Niederschläge voraussichtlich deutlich zurückgehen und in der Wintersaison leicht ansteigen.

## Auf dem Weg zu wetterabhängigen Lärmkarten

Katharina Elsen and Arthur Schady

German Aerospace Center, Institute of Atmospheric Physics, Germany (katharina.elsen@dlr.de)

Laut WHO steht in Europa Umweltlärm auf der Liste der die Krankheitslast vergrößernden Umweltfaktoren an zweiter Stelle. Demzufolge fühlt sich jeder dritte Bürger tagsüber durch Lärm belästigt, jeder fünfte wird im Schlaf durch Verkehrslärm gestört. Langfristig kann dauerhafte Lärmbelastung zu einer Reihe an Folgeerkrankungen wie zum Beispiel Herzkreislauf-Erkrankungen führen. Mithilfe von Lärmkartierungen können Gebiete mit erhöhter Lärmbelastung identifiziert und adäquate Schutzmaßnahmen geplant werden. Komplexe meteorologische Faktoren, welche die Lärmbelastung signifikant erhöhen oder die akustische Wirksamkeit bestehender Schallschutzmaßnahmen mindern können, werden in diesen Kartierungen bislang allerdings nicht berücksichtigt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher zunächst den Einfluss meteorologischer Bedingungen, insbesondere von Wind und Luftschichtung, auf die Ausbreitung von Autobahnlärm zu untersuchen. Zum einen kommt es bei Mitwindbedingungen zu einer signifikant geringeren Abnahme des Lärms mit zunehmender Entfernung von der Quelle. Zum anderen kann Schall durch Brechung in Richtung Boden über Hindernisse hinweg getragen werden. So können je nach Temperatur- und Luftfeuchtgradient, Windrichtung und Windstärke Pegelschwankungen entstehen, die sich in Langzeitmittelungspegeln nicht wiederfinden. Diese Einflüsse sollen quantifiziert und darauf aufbauend ein Tool zur Lärmkartierung unter Berücksichtigung meteorologischer Daten entwickelt werden. Je nach Fragestellung können dies aktuelle Wettervorhersagen aber auch Langzeitdaten sein. Damit wäre es möglich tagesgenaue Lärmbelastungsprognosen zu erstellen und geplante, aber auch vorhandene Lärmschutzmaßnahmen unter Berücksichtigung verschiedener meteorologischer Bedingungen zu evaluieren. Insbesondere soll der Lärmvariabilität in der Nähe von Autobahnen Rechnung getragen werden.

Die entsprechenden Messungen wurden über einen Zeitraum von 4 Monaten an der Autobahn A8 (Anschlussstelle Sulzemoos) durchgeführt. Dabei wurden sowohl Lärm als auch meteorologische Daten aufgezeichnet und um COSMO-DE Daten des DWD ergänzt. Dies ermöglicht einen Vergleich mit in-situ Daten und eine statistische Beurteilung der Lärm- und Wettersituation. Der so entstandene umfangreiche Datensatz wurde mit Verkehrsbeobachtungsdaten einer in unmittelbarer Nähe zur Messstelle liegenden Verkehrszählstation der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) abgeglichen.

Die Lärmaufzeichnungen wurden zeitlich parallel in Entfernungen von 25m, 250m, 500m und 900m rechtwinklig zur Autobahn durchgeführt. Mit Hilfe von 10-Minuten-Mitteln können gröberskalige tageszeitliche Schwankungen, beispielsweise durch eine schwankende Verkehrsdichte beurteilt werden. Mit hochauflösenden, im Sekundentakt vorliegenden Daten, wurde der vermutete Einfluss von Windrichtung und -stärke mittels Regressionsanalyse überprüft. Wie erwartet konnte eine deutlich wahrnehmbare Abhängigkeit der Lärmbelastung von der Wettersituation beobachtet werden ( $>5\text{dB}$  in 250m Entfernung von der Quelle). Zusätzlich wurde eine Analyse der Oktavbänder durchgeführt in der sich deutlich die Einflüsse der verschiedenen Lärmquellen (Antrieb, Reifen/Fahrbahn) identifizieren lassen.

Wir werden zeigen, wie der im Rahmen der Messkampagne erzeugte Datensatz im Sinne einer wetter-korrigierten Schallausbreitungsberechnungen als Ergänzung zum Langzeitmittelungspegel genutzt werden kann, um in ambivalenten Lärmsituationen eine optimierte und dennoch effiziente Lärmschutzentscheidungen zu liefern. Dieses zweistufige Verfahren stellt einen Mittelweg aus dem benötigten Grad an Komplexität für die Ausbreitungsmodelle und dem rechnerischen Mehraufwand zur praktischen Anwendbarkeit dar.



## **A new state-of-the-art Temperature and Humidity Lidar**

Ludwig Wagner (2) and George Georgoussis (1)

(1) GWU-Umwelttechnik GmbH, Meteorology, Erfstadt, Germany (ludwig.wagner@gwu-group.de), (2) Raymetrics S.A. Sparti 32, Fil. Eterias, Metamorfofis GR-144 52, Athens, Greece

Accurate profiling of atmospheric temperature and humidity is a prerequisite for many meteorological studies, including nowcasting, model evaluation, and assimilation. Unfortunately, existing instrumentation lacks either the temporal or vertical resolution required for such application. To fill this gap, Raymetrics S.A., a global leader in lidar (lidar detection and ranging) technology, is developing a new state-of-the-art temperature and humidity lidar instrument Night Time & Day Time Operation. Based on the lidar technique the new product can provide measurements of temperature and humidity from near the ground up to few kilometers, with vertical resolution down to few meters and time of the order of few seconds. The measurements are based on accurate observation of spectral signature of atmospheric molecules and their changes with ambient temperature. The new system integrates findings from leading research institutes developed during the final decade, into robust and reliable lidar that can cover requirements for a wide range of application. The system can be optimized either for Planetary Boundary Layer (PBL) monitoring, or observation in the middle and upper troposphere. The interpretations of the data are done using proprietary algorithms that exploit the full information content on the measurements, delivering consistently better results than even state-of-the-art retrieval techniques.

## **Ensemble-basierte saisonale Vorhersagen für die Unterstützung des Wassermanagements in semi-ariden Regionen - von globaler zu regionaler Information**

Tanja C. Portele (1), Christof Lorenz (1), Patrick Laux (1,2), Harald Kunstmann (1,2)

(1) KIT/IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen, Germany, (2) Institut für Geographie, Universität Augsburg, Augsburg, Germany

Während für Hochwasserwarnungen Wettervorhersagen und für langfristige Klimaanpassungsmaßnahmen Klimaprojektionen verwendet werden, ist für das Management und die Steuerung von Wasserreservoirs, z.B. zur Stromerzeugung oder für die Bewässerung in der Landwirtschaft, die Kenntnis der kommenden Monate entscheidend. Dies ist besonders relevant in Regionen, die von Wassermangel geprägt sind, also für aride und semi-aride Gebiete. In semi-ariden Regionen kann, anders als in ariden Regionen, mit nachhaltigem und wissenschaftlich fundiertem Wasserressourcen-Management viel erreicht werden. Unser Beitrag adressiert deshalb die Regionalisierung global-verfügbarer saisonaler Vorhersagen zur Unterstützung von lokalen Entscheidungsträgern für das Wasserressourcen-Management in semi-ariden Regionen.

Dazu wird die Leistungsfähigkeit der globalen saisonalen Vorhersagen des Europäischen Zentrums für Mittelfristvorhersage (ECMWF SEAS5) mit Vorhersagehorizonten bis zu 7 Monate im Voraus für ausgewählte semi-aride Zielregionen untersucht. Diese beinhalten u.a. das Einzugsgebiet des Rio Sao Francisco im Nordosten Brasiliens, des Rio Chira in Ecuador/Peru und des Karun im Iran. Die Unsicherheiten im globalen saisonalen Vorhersagesystem werden durch Ensemble-Vorhersagen abgedeckt, was eine Ensemble-Analyse voraussetzt. Als Gütemaß für die Qualität der saisonalen Ensemble-Vorhersagen von Niederschlag und Temperatur verwenden wir allgemeine Performanz, Verlässlichkeit, Vorhersageschärfe und Genauigkeit. Die Ensemble-Vorhersagen werden dabei mit globalen gerasterten Satelliten- und Stationsbeobachtungsdaten verglichen. Ergebnisse zeigen allgemein höhere Gütemaßzahlen für die retrospektiven Niederschlagsvorhersagen des Rio-Sao-Francisco-Gebiets als für das Rio-Chira- oder das Karun-Gebiet. Für das Rio-Sao-Francisco-Gebiet sind dabei die saisonalen Vorhersagen der Niederschlagssumme über die vier Hauptmonate der Regenzeit sogar bis zwei Monate im Voraus leistungsfähiger als statistische Referenzvorhersagen.

Ein Grund für die eingeschränkte Leistung der globalen saisonalen Vorhersagen in den Einzugsgebieten des Rio Chira und des Karun kann die dortige komplexe Topographie und die für regionale Anwendungen unzureichende horizontale Auflösung von 35 km des globalen Vorhersagesystems sein. Damit können beispielsweise konvektive Niederschläge nicht erfasst werden. Deshalb führen wir mit Hilfe des Weather Research and Forecasting (WRF) Modells eine dynamische Regionalisierung der globalen Vorhersagen über den Einzugsgebieten durch. Diese dynamische Verfeinerung erfolgt mittels „Nesting“ schrittweise von 35 km auf 9 km und schließlich auf 3 km. Um maßgeschneiderte regionale saisonale Vorhersagen für die Entscheidungsträger zu liefern, haben wir im Vorfeld ein umfangreiches numerisches Experiment durchgeführt, um für jede Region die best-geeignetsten Parameterisierungseinstellungen für die nicht-aufgelöste Physik im Modell zu finden. Es handelt sich dabei um Parameterisierungen für Konvektion (außer für 3 km), Mikrophysik, Grenzschicht und Strahlung, die maßgeblich die simulierten Niederschlags- und Temperaturwerte beeinflussen. Diese verfeinerten saisonalen Vorhersagen finden schließlich nicht nur Anwendung für hydrometeorologische Dürrevorhersagen in den Einzugsgebieten, sondern werden zudem auch als Antriebsdaten in weitere Impaktmodelle für Sediment-, Ökosystem- und hydrologische Modellierung eingehen.

## **Radarmessungen und Modellierung zur Untersuchung der Konvektionsauslösung und der Niederschlagsentstehung**

Martin Hagen (1), Florian Ewald (1), Silke Groß (1), Christoph Knote (2), Qiang Li (1), Bernhard Mayer (2), Gregor Möller (2), Eleni Tetoni (1), and Tobias Zinner (2)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, (2) Ludwig-Maximilians-Universität, Meteorologisches Institut, München

Die Darstellung und Vorhersage von Wolken und Niederschlag stellen in der numerischen Wettervorhersage immer noch die größte Unsicherheit dar. Die Unsicherheiten beruhen im Wesentlichen auf der unvollständigen Darstellung der mikrophysikalischen Prozesse. Aufgrund begrenzter Ressourcen im operationellen Betrieb laufen die Modelle mit begrenzter Auflösung und stark vereinfachenden Parametrisierungen. Zusätzlich sind wichtige Parameter wie die Konversion zwischen Mikrophysikklassen oder Details des Eispartikelwachstums mit Standardverfahren nur schwer zu beobachten und zu beschreiben. Neue Arten von Beobachtungen sind nötig, um Parametrisierungen zu untersuchen und zu verbessern: was sind dominierende Hydrometeorklassen und ihre Konversionsraten; wie ist räumliche Verteilungen der typischen Partikelklassen; was sind die typischen Zeitskalen der Wolkenentwicklung? Ein zentraler Fokus liegt dabei bei der Darstellung von Prozessen der kalten Regenbildung, da diese für einen signifikanten Teil der Niederschläge mittlerer Breiten verantwortlich ist.

Radarmessungen mit polarimetrischen Systemen erlauben detaillierte Untersuchungen von mikrophysikalischen Vorgängen mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung. Es sind jedoch aufgrund der verwendeten Wellenlänge Einschränkungen bezüglich Empfindlichkeit und räumlicher Abdeckung zu erwarten. Mit einer synergetischen Nutzung zweier polarimetrischer Radarsysteme mit unterschiedlicher Wellenlänge - dem C-Band POLDIRAD am DLR Oberpfaffenhofen und dem Ka-Band miraMACS an der LMU - können die Einschränkungen zum Teil überwunden werden. Darüber hinaus können durch die Kombination der beiden Wellenlängen zusätzliche Eigenschaften von Wolkenpartikeln abgeleitet werden. Existierende Algorithmen zur Hydrometeorklassifikation können verfeinert werden. Beobachtbare Prozesse sind die Bildung von Niesel-Tropfen, Vereisung, die Unterscheidung zwischen Depositionswachstum kleiner Eispartikel und dem schnelleren Wachstum durch Aggregation sowie das Einsetzen des ersten Regens an der Oberfläche. Für stratiforme wie konvektive Niederschlagsbildung werden die zeitliche und räumliche Abfolge dieser Prozesse beobachtet und mit dem Ablauf im Modell verglichen. Mit Hilfe eines hochaufgelösten numerischen Wettermodells (WRF,  $\Delta x$  ca. 100 m) mit einer genesteten Domain um München werden mikrophysikalische Parametrisierungen verschiedener Komplexität analysiert.



## **Saisonale latitude-belt Simulation mit dem WRF Modell auf konvektionserlaubender Skala**

Thomas Schwitalla (1), Michael Resch (2), Kirsten Warrach-Sagi (1), and Volker Wulfmeyer (1)

(1) University of Hohenheim, Institute of Physics and Meteorology, Stuttgart, Germany

(thomas.schwitalla@uni-hohenheim.de), (2) High Performance Computing Center Stuttgart (HLRS), Stuttgart, Germany

Saisonale Vorhersagen für eine Dauer von bis zu 6 Monaten sind nach wie vor eine große Herausforderung für die numerische Wettervorhersage. Aufgrund schwieriger Rahmenbedingungen im Hinblick auf die vorhandene Rechenzeit ist die horizontale Auflösung solcher globalen Simulationen meist auf 50-100 km beschränkt.

Ein Bundesprojekt am Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart ermöglichte es uns, eine saisonale Vorhersage mit dem Weather Research and Forecasting (WRF) Modell unter Verwendung von ca. 100000 Cores durchzuführen.

Es wurde die WRF Version 3.8.1 zusammen mit Landoberflächenmodell NOAH-MP verwendet. Die Vorhersagedauer betrug 5 Monate und das Modellgebiet umfasst den Bereich zwischen 65° N und 57° S mit einer horizontalen Auflösung von 3 km. Die Simulation wurde am 1. Februar 2015 gestartet wobei der Randantrieb mit EZMW-Analysen nur am oberen und unteren Rand des Modellgebiets erfolgte. Der Antrieb des Ozeans erfolgte durch Beobachtungen der Meeresoberflächentemperaturen, welche aus den operationellen EZMW-Analysen und dem OSTIA-Produkt des UK Met Office kombiniert wurden.

Zusätzlich zu der Simulation auf konvektionserlaubender Skala wurde eine weitere Simulation mit einer horizontalen Gitterweite von 45 km für den gleichen Zeitraum durchgeführt. Dies war bis vor kurzem eine Auflösung, welche von vielen Wetterdiensten für saisonale Vorhersagen verwendet wurde.

Wir werden einige technische Aspekte und Herausforderungen vorstellen, um eine solche Simulation durchführen zu können. Ebenfalls werden erste Resultate des Vergleichs der Simulationen mit verschiedenen Beobachtungen vorgestellt.

## Entwicklung einer quantitativen Definition der Wolkenuntergrenze für die Luftfahrt

Daniel Klaus (1), Ulrich Görzdorf (1), Joshua D. Vande Hey (2), Ingo Lange (3), and Volker Lehmann (1)

(1) Meteorologisches Observatorium Lindenberg – Richard Aßmann Observatorium (MOL-RAO), Deutscher Wetterdienst (DWD), Lindenberg, Deutschland (Daniel.Klaus@dwd.de, Ulrich.Goersdorf@dwd.de, Volker.Lehmann@dwd.de), (2) Earth Observation Science, Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, Leicester, United Kingdom (jvh7@leicester.ac.uk), (3) Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland (ingo.lange@uni-hamburg.de)

Ceilometer sind etablierte Messinstrumente zur Bestimmung der Wolkenuntergrenze (CBH - cloud base height) basierend auf dem Vertikalprofil des abgeschwächten Rückstreuoeffizienten. Verschiedene Ceilometertypen leiten jedoch aufgrund des Fehlens einer allgemeingültigen Definition und der Anwendung herstellereinspezifischer Algorithmen unterschiedliche CBHs für dieselbe Wolkensituation ab. Dies ist insbesondere für den Flugwetterdienst bei sehr tiefliegender Bewölkung relevant. Im Rahmen des DWD-Projektes „AutoMETAR“ wurde daher in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg ein Experiment am 300 m hohen „Hamburger Wettermast“ durchgeführt, um die von verschiedenen Ceilometern ermittelten CBHs zu verifizieren und nach Möglichkeit eine sichtweitenbasierte Definition der CBH auf der Grundlage einer Bildanalyse zu entwickeln. Während der ersten Phase (10/2016 - 04/2017) der „Ceilometer campaign Hansestadt Hamburg“ (CircaHH) sind mit einer Digitalkamera in 178 m Entfernung kontinuierlich Bilder vom Mast aufgenommen worden. Da bei Bewölkung unterhalb von 300 m die Sichtbarkeit des Mastes zunehmend schlechter wird, ist das Kontrastverhältnis seiner alternierenden roten und weißen Segmente genutzt worden, um das Vertikalprofil des Extinktionskoeffizienten zu bestimmen. Anschließend wurden unterschiedliche Methoden auf ihre Eignung geprüft, die CBH basierend auf dem ermittelten Extinktionsprofil abzuleiten. Als am besten geeignet erwies sich die Schrägsichtweite (SOR - slant optical range). Dabei zeigten die mit einem Schwellwert von  $SOR = 1000$  m berechneten CBHs die beste Übereinstimmung mit den visuell abgeschätzten CBHs. Zudem stimmten diese auch gut mit den CBHs vom Ceilometer LD40 der Firma Vaisala überein, welches derzeit an den internationalen Verkehrsflughäfen Deutschlands verwendet wird. Während einer zweiten Phase von CircaHH im Herbst und Winter 2018/2019 werden Messdaten zweier Sichtweitensensoren in 175 m und 280 m Höhe am Mast genutzt, um das aus Bildanalyse gewonnene Extinktionsprofil punktwise explizit zu evaluieren. Unsere vorläufigen Ergebnisse legen nahe, dass das Kriterium der SOR mit einem Schwellwert von 1000 m eine physikalisch motivierte und geeignete quantitative Definition der CBH unter Berücksichtigung der Anforderungen der Luftfahrt sein könnte. Diese Definition lässt sich grundsätzlich auch auf die Extinktionsprofile anwenden, die beispielsweise mit der Klett-Methode direkt aus dem Rückstreusignal der Ceilometer abgeleitet wurden.

## **Konvektion in warm conveyor belts: Identifikation, Charakterisierung und Bedeutung für die Dynamik**

Annika Oertel, Maxi Boettcher, Hanna Joos, Michael Sprenger, and Heini Wernli  
ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science, Zürich, Switzerland (annika.oertel@env.ethz.ch)

Warm conveyor belts (WCBS) sind stark aufsteigende Luftströmungen in außertropischen Zyklonen, die für die Entstehung des charakteristischen Wolkenbands und Niederschlags verantwortlich sind und häufig die synoptisch-skalige Strömung beeinflussen. Die diabatischen Prozesse während des WCB-Aufstiegs führen sowohl zu einer Produktion als auch zu einer Vernichtung von potentieller Vortizität (PV), wodurch die großräumige Zirkulation modifiziert werden kann. Das klassische Bild des WCBS beschreibt ihn als einen kontinuierlich aufsteigenden kohärenten Luftstrom, der in der Grenzschicht startet und bis in die obere Troposphäre aufsteigt. Hierbei geschieht der Aufstieg mit relativ geringen Vertikalgeschwindigkeiten von weniger als  $50 \text{ hPa h}^{-1}$ , wobei sich hauptsächlich stratiforme Wolken bilden.

Neue Studien zeigen jedoch, dass innerhalb dieses großskaligen graduellen WCB-Aufstiegs konvektive Elemente eingebettet sein können, die zu schnellem, quasi-vertikalem Aufstieg mit lokal stark erhöhtem Niederschlag führen. Obwohl diese eingebettete mesoskalige Konvektion potentiell relevant für die Dynamik und die Niederschlagsverteilung sein könnte, wurde sie bis jetzt nicht systematisch untersucht.

In diesem Beitrag diskutieren wir detailliert einen WCB einer nordatlantischen Zyklone, der innerhalb des großskaligen Aufstiegs eingebettete konvektive Elemente aufweist. Die innerhalb des WCB Wolkenbands eingebettete Konvektion wird mit Hilfe von Online-Trajektorien in einer konvektionsauflösenden COSMO-Simulation identifiziert, die schnellen quasi-vertikalen Aufstieg von langsamerem Aufstieg innerhalb des WCBS unterscheiden können.

Die Resultate zeigen, dass eingebettete Konvektion, mit Aufstiegsraten von mehr als  $100\text{--}200 \text{ hPa h}^{-1}$ , häufig im Warmsektor vor der Kaltfront auftritt. In diesen Regionen lassen sich auch mit METEOSAT Satellitendaten vermehrt konvektive Wolken identifizieren. Trotz des konvektiven Aufstiegs weisen diese Regionen jedoch relativ geringe Werte von konvektiv verfügbarer potentieller Energie (CAPE) auf, dafür aber erheblichen großskaligen Antrieb für Aufstieg. Zusätzlich zeigen Composites entlang dieser konvektiv aufsteigenden Trajektorien lokal stark erhöhten Niederschlag und hochreichende Bewölkung. Außerdem sind eine starke positive PV-Anomalie in der unteren und eine negative PV-Anomalie in der oberen Troposphäre erkennbar, welche potentiell die großskalige Zirkulation beeinflussen können. Anhand der detaillierten Auswertung der Aufstiegsraten der WCB-Trajektorien ist erkennbar, dass der Aufstieg innerhalb WCBS nicht kontinuierlich stattfindet, sondern dass sich Phasen mit sehr starkem konvektivem Aufstieg mit Phasen mit langsamerem Aufstieg abwechseln. Diese Ergebnisse liefern ein verfeinertes Bild des WCB-Aufstiegs und der mesoskaligen konvektiven Elemente, die in diese großskalige Strömung eingebettet sind und diese modifizieren können.

## Vorhersage wetterbedingter Verkehrsunfälle

Nico Becker, Henning Rust, and Uwe Ulbrich

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany (nico.becker@met.fu-berlin.de)

Es ist bekannt, dass die Wetterbedingungen Auswirkungen auf Verkehrsunfälle und deren Auftretswahrscheinlichkeit haben können. Zum Beispiel führt Niederschlag auf Grund von längeren Bremswegen und schlechteren Sichtverhältnissen zu höheren Verkehrsunfallzahlen. Insbesondere die Auswirkung von Niederschlag auf Unfallzahlen wurden bereits in mehreren Studien untersucht. Diese Untersuchungen beschränken sich meist auf monatliche und tägliche Zeitskalen. Dagegen gibt es kaum Untersuchungen stündlicher Unfalldaten, insbesondere für den Bereich Deutschlands.

Ziel dieser Studie ist es, stündliche Auftretswahrscheinlichkeiten wetterbedingter Straßenverkehrsunfälle zu modellieren und vorherzusagen. Dazu werden logistische Regressionsmodelle angewendet. Grundlage ist ein Datensatz, der Informationen über alle schweren Verkehrsunfälle in Deutschland von 2007 bis 2011 beinhaltet. Etwa 7 % dieser Verkehrsunfälle können auf Basis der Polizeiberichte den Wetterbedingungen zugeordnet werden (z. B. rutschige Fahrbahn auf Grund von Nässe, Schnee oder Eis). Zur Generierung meteorologischer Prädiktorvariablen werden die hochaufgelösten COSMO-Reanalysen sowie COSMO-DE-EPS Ensemblevorhersagen verwendet. Die Vorhersagegüte von Regressionsmodellen unterschiedlicher Komplexität wird in einem Kreuzvalidierungsverfahren getestet.

Die Ergebnisse zeigen, dass Niederschlag und Temperatur die wichtigsten meteorologischen Parameter zur Beschreibung der Unfallwahrscheinlichkeiten sind. Bei Niederschlag und Frost ist die Unfallwahrscheinlichkeit 20-mal höher als unter trockenen Bedingungen und positiven Temperaturen. Fallstudien zeigen, dass die Regressionsmodelle in der Lage sind, auch die räumliche Verteilung der beobachteten Unfälle auf Landkreisebene zu repräsentieren. Vorhersagen der Unfallwahrscheinlichkeiten mit positivem Skill sind für Vorhersagezeiten von mehreren Stunden möglich. Modelle wie diese eignen sich für den Einsatz in impakt-basierten Warnsystemen.

## **Kompaktes automatisches Raman-Lidar für kontinuierliche Temperatur-, Wasserdampf- und Aerosol-Messungen**

Diego Lange, Andreas Behrendt, Shravan Kumar Muppa, and Volker Wulfmeyer

University of Hohenheim, Institute of Physics and Meteorology, Stuttgart, Germany (diego.lange@uni-hohenheim.de)

Water-vapor and temperature profiles with high accuracy and vertical resolution from the surface to the lower troposphere are fundamental for accurate weather forecasts, process studies, and validation of satellites. Within the ACROSS project (Advanced Remote Sensing - Ground Truth Demo and Test Facilities) of the Helmholtz Alliance, a new remote sensing system fulfilling these requirements are being developed by the Institute of Physics and Meteorology (IPM) at the University of Hohenheim (UHOH).

The aim of the ACROSS project is close the gap in the data assimilation of satellite-based earth-observing systems, offering reference data of environmentally essential parameters in different spatial and temporal resolution, in order to enable its interpretation in the field of environmental science.

This new remote sensing system will be a robust, portable, high-power, scanning rotational Raman lidar. It will be based on the knowledge acquired at the IPM in the development of different generations of rotational Raman lidar systems in the recent years. The system is intended to measure atmospheric temperature profiles with high resolution, even in daytime conditions due to the use of a strong UV laser radiation and an optimized receiving chain in each one of the implemented channels.

It is well known that different parts of a pure rotational Raman backscatter spectra show different temperature dependence. Therefore, the ratio from two backscattered signals from two of this parts can be used to obtain a temperature profile of the atmosphere. Besides, an elastic and water-vapor profile can be measured.

First atmospheric measurements have been obtained during the Land-Atmosphere Feedback Experiment (LAFE) at the Southern Great Plains (SGP) central facility in August, 2017. Measurements taken at the new UHOH Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO) between August and November 2018 will be shown.

The new lidar will enhance the Terrestrial Platform planned inside the ACROSS project, showing the potential of remote sensing systems gathering ground-truth information about the land-surface-atmosphere feedback, the behavior of the atmospheric boundary layer and the lower troposphere.

## Ein Markov-Modell für High-over-Low und Omega-Blockierungen

Carola Detring, Annette Müller, Peter Névir, and Henning Rust

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany (carola.detring@met.fu-berlin.de)

Bei Blockierungen handelt es sich um persistente und meist stationäre Wetterlagen, die Verursacher von vielen verschiedenen extremen Bedingungen, wie z.B. Dauerregen oder Hitzeperioden, sein können. Die Andauer kann dabei mehrere Tage bis Wochen betragen. In dieser Arbeit werden Blockierungen untersucht, die eine Dipol- (*High-over-Low*) oder Tripol-Struktur (*Omega-Blockierungen*) und eine Andauer von mindestens fünf Tagen aufweisen. Die Auftrittswahrscheinlichkeit und der Wechsel zwischen diesen *High-over-Low*- und *Omega-Blockierungen* wird mit Hilfe von Markov-Modellen beschrieben. Ausgehend von einer stationären, also von externen Einflüssen unabhängigen Beschreibung wird ein Modell vorgestellt, welches die Änderung der Auftritts- und Übergangswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von externen Größen, wie zum Beispiel Temperatur, Wind und potentieller Vorticity, auf verschiedenen Skalen beschreibt. Basierend auf NCEP-NCAR Reanalyse Daten werden zunächst mit Hilfe eines Index für Blockierungen (Instantaneous Blocked Longitude, IBL) Zeiträume und die genauere Lage im Euro-Atlantik Sektor ( $90^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{E}$ ) der entsprechenden Blockierung im 500 hPa Level identifiziert. Im zweiten Schritt wird eine Klassifizierung dieser identifizierten Blockierungen in *High-over-Low* oder *Omega-Lage* durchgeführt. Diese Einteilung wird auf Basis der kinematischen Vorticityzahl vorgenommen. Das Auftreten dieser und der Wechsel zwischen den resultierenden drei Zustände (*High-over-Low*, *Omega*, *keine Blockierung*) wird mit Markov-Modellen beschrieben.

## **Niederschlagsinterzeption - räumlich hochaufgelöste Bestimmung von Speicherung und Verdunstung als Schlüssel zum Prozessverständnis**

Ronald Queck, Max Plorin, Sandra Genzel, and Christian Bernhofer  
IHM-Meteorologie, TU-Dresden, Tharandt, Germany (ronald.queck@tu-dresden.de)

Niederschlagsinterzeption hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit in Ökosystemen. Speziell in Waldökosystemen verdunstet bis zu 50 % des Niederschlags via Interzeption und ist nicht für Pflanzen verfügbar. Die statistische Bestimmung der Modellparameter und die fehlende Kopplung an die Struktur und die Eigenschaften der Pflanzenbestände lassen eine Übertragung von experimentellen Befunden auf unbekannte Gebiete kaum zu. Meist werden bisher Messungen von räumlich verteilten Niederschlagssammlern zu einem Wert für den Bestandesniederschlag gemittelt. Dabei entstehende Stichprobenfehler addieren sich zu Fehlern durch die raumzeitliche Variabilität der Verdunstung aus dem Kronenspeicher. Der Vergleich mit Modellen, welche ebenfalls die räumliche Heterogenität der Vegetation nur unzureichend berücksichtigen, zeigt dann signifikante Unsicherheiten in der Bestimmung der Wasserbilanz.

Es ist bekannt, dass Niederschläge mit schwacher Intensität von äußeren Vegetationsschichten interzeptiert werden, die sich durch eine starke atmosphärische Kopplung und effektive Verdunstung auszeichnen. Niederschläge mit starker Intensität erschöpfen dagegen die Speicherkapazität der Vegetation und befeuchten auch Schichten des Pflanzenbestandes, die nur sehr langsam abtrocknen. Dieses nichtlineare Verhalten ist bis heute nur unzureichend in Interzeptionsmodellen berücksichtigt, könnte aber durch eine Beachtung der Vegetationsstruktur beschrieben werden.

Ziel des vorgestellten Projektes ist die Verminderung der bestehenden Unsicherheiten durch die Untersuchung und Parametrisierung der kleinräumlichen Variabilität des Prozesses. Auf der Basis detaillierter Messungen werden die Speicher- und Verdunstungsmechanismen in einem Fichtenbestand im Tharandter Wald (Sachsen, DE) untersucht. Von diesem Standort steht ein einzigartiger Datensatz mit fast 20 Jahren kontinuierlicher mikrometeorologischer und hydrologischer Messungen und hochaufgelösten Vegetationsaufnahmen mit terrestrischen Laserscannern zur Verfügung.

Im vorgestellten Projekt wurde in einem ersten Schritt das konzeptionelle Modell CanWat entworfen. Der Aufbau des Modells folgte der These, dass die Berücksichtigung der räumlichen Variabilität des Prozesses wichtiger ist, als die physikalisch exakte Simulation des Prozesses. So wurde die Niederschlagsspeicherung durch Einzellinearspeicher und die Verdunstung durch Widerstandskaskaden modelliert. Das Modell arbeitet mit einer räumlichen Auflösung von  $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$  und variablen Zeitschritten von maximal 10 min.

Die raumzeitlich hoch aufgelöste Simulation erlaubt sowohl die Betrachtung der Entstehung des Bestandesniederschlags direkt über den Niederschlagssammlern, als auch die Betrachtung der Wasserspeicherung und Verdunstung in der Quellfläche von mikrometeorologischen Messungen. Erst durch diese exakten Zuordnungen wird eine konsistente Validierung möglich.

## **Thermische Exposition von Fußgängern und Radfahrern in städtischer Umgebung**

Ronald Queck and Valeri Goldberg

IHM-Meteorologie, TU-Dresden, Tharandt, Germany (ronald.queck@tu-dresden.de)

Vor dem Hintergrund des projizierten Klimawandels und zunehmender Bevölkerungskonzentration in großen Städten mit Wärmeinseleffekt, erarbeitet die BMBF Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ Methoden zur Prognose der klimatischen Belastung von Großstadtbewohnern, die auch zukünftige städtebauliche Änderungen berücksichtigen können.

Ziel des hier vorgestellten Projektes ist die Bestimmung der biometeorologischen Exposition von Stadtbewohnern direkt aus Messungen im Freiland und der Vergleich dieser Messungen mit Berechnungen numerischer Modelle. Im Fokus stehen dabei klimatische Extreme. Zu diesem Zweck wurden 2017 und 2018 jeweils im Januar in Hamburg und im August in Berlin mobile Messungen durchgeführt.

Die eingesetzten mobilen Plattformen (Rucksack und Fahrrad) ermöglichen eine direkte Bestimmung der individuellen Exposition und repräsentieren Lebensräume in hoher räumlicher Auflösung. Im Tagungsbeitrag wird das entwickelte qualitätsgesicherten Messkonzept vorgestellt. Es liefert zum einen repräsentative Daten für bestimmte Orte, deckt zugleich aber auch den typischen Aktionsradius eines Stadtbewohners ab. Mit einer Frequenz von 1 Hz wurden Temperatur, Feuchte, Wind und die kurzwellige und langwellige Strahlung aus bis zu 4 Raumrichtungen aufgenommen. Die räumliche Zuordnung der Daten basiert auf GPS Aufzeichnung und rund 180 000 Fotos. Im Takt der Messfrequenz aufgenommene 360° Photographien ermöglichen zusätzlich die Berechnung des Sky View Factors und die Zuordnung der Strahlungsflüsse zu den umgebenden Oberflächen.

Anhand der Ergebnisse der mobilen Messungen und ausgewählter Modellsimulationen (ENVI-met und wenn fertiggestellt PALM 4U) wird eine Quantifizierung der biometeorologischen Exposition auf typischen Fußgänger- und Fahrradrouten im Hochsommer vorgenommen. Dabei wird unter anderem ein instationärer Ansatz getestet. Weiterhin werden die räumliche und zeitliche Repräsentativität von Messungen und Modellsimulationen diskutiert.



## **Klimatologische Analyse des Potentials von Solar- und Windenergie in Deutschland**

Jaqueline Drücke (1,2), Jörg Trentmann (2), Bodo Ahrens (1), Michael Borsche (2), Paul James (2), Frank Kaspar (2), and Uwe Pfeifroth (2)

(1) Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Atmosphäre und Umwelt, Germany  
(jaqueline.druecke@dwd.de), (2) Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany

Erneuerbare Energien spielen eine zunehmende Rolle in der Energieversorgung in Deutschland. Da der Ertrag durch erneuerbare Energien maßgeblich durch das Wetter bestimmt wird, erhöht sich die Bedeutung der meteorologischen Fluktuationen auf die Energieproduktion.

Klimatologische Datensätze mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung werden verwendet, um die generierte Energie durch solare Strahlung und Wind zu simulieren. Für die solare Strahlung ist dies der CM SAF SARAH-2 Datensatz, der u.a. die globale und direkte Strahlung mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten sowie einem Gitterabstand von  $0.05^\circ$  beinhaltet. Die Daten sind von 1983-2017 verfügbar. Die regionale Reanalyse COSMO-REA6 ermöglicht Zugang zu stündlichen Windgeschwindigkeitsdaten von 1995-2015 mit einer räumlichen Auflösung von etwa 6km. Unter Nutzung dieser Daten werden Kapazitätsfaktoren für Solar- und Windenergie für Deutschland berechnet, die das Verhältnis zwischen der produzierten Energie zur Nennleistung einer Solar- oder Windanlage wiedergeben.

Ziel dieser Studie ist es, die Wetterlagen zu identifizieren, bei denen viel oder wenig Energie produziert wird. Insbesondere Situationen mit geringer Stromproduktion, sog. "Dunkeflauten", sind problematisch. Zunächst werden die simulierten Kapazitätsfaktoren mit frei zugänglichen Energiedaten aus dem Jahr 2015, in denen die tatsächlich produzierte Energie sowie die installierte Leistung von Solar- und Windanlagen in Deutschland enthalten sind, verglichen und evaluiert. Anhand der klimatologischen Zeitreihen der simulierten Kapazitätsfaktoren werden die Häufigkeiten problematischer Wetterlagen dokumentiert.

## **Langzeitbeobachtungen von Flüssigwasserwolken mittels bodengebundener Fernerkundung in Jülich: Überblick über Wolkeneigenschaften und Messunsicherheiten**

Bernhard Pospichal and Ulrich Löhnert

University of Cologne, Institute for Geophysics and Meteorology, Köln, Germany (bernhard.pospichal@uni-koeln.de)

Flüssigwasserwolken haben einen großen Einfluss auf die Strahlungsbilanz der Erde und sind daher von Bedeutung für viele atmosphärische Prozesse. Eine umfassende Beobachtung dieser Wolken lässt sich nur mit Fernerkundungsverfahren durchführen. Bodengebundene Beobachtungen liefern dabei einen wichtigen Beitrag zum Verständnis vieler Prozesse in Flüssigwasserwolken, denn diese Messungen können im Vergleich zu Satellitenbeobachtungen in vielen Fällen mit einer deutlich besseren zeitlichen wie räumlichen (vertikalen) Auflösung durchgeführt werden.

Die Beobachtungen am „Jülich Observatory for Cloud Evolution“ (JOYCE), welches eine Kooperation der Universitäten Köln und Bonn sowie dem Forschungszentrum Jülich darstellt, bieten einen umfangreichen Datensatz, der zur Beschreibung von Flüssigwasserwolken und deren Eigenschaften herangezogen werden kann. Die wichtigsten Geräte für diese Studie sind ein Wolkenradar, ein Mikrowellenradiometer sowie ein Ceilometer, die in Jülich gemeinsam seit 2011 betrieben werden. Im Rahmen des europäischen Wolkenbeobachtungsnetzwerks „Cloudnet“ wird aus diesen Beobachtungen eine Wolkenklassifikation bezüglich Phase und Niederschlag mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Sekunden durchgeführt. Darüber hinaus werden Flüssig- und Eiswassergehalt bestimmt.

Wir werden in dieser Präsentation mehrere Aspekte von Flüssigwasserwolken betrachten. Zunächst werden wir Langzeitstatistiken des Flüssigwasserpades von Wolken präsentieren. In einem weiteren Schritt betrachten wir die vertikale Struktur der Wolken. Mit Hilfe des Cloudnet-Datensatzes ist es möglich zu untersuchen, ob die Wolken der adiabatischen Annahme des Flüssigwasserprofils folgen, und wie diese Eigenschaft mit anderen Parametern wie Stabilität der Atmosphäre, Gesamtflüssigwasserpfad, oder Vertikalgeschwindigkeit verknüpft ist. Darüber hinaus werden speziell die Eigenschaften und die Häufigkeit unterkühlter Flüssigwasserwolken betrachtet.

Fernerkundungsbeobachtungen sind auch immer mit Unsicherheiten verbunden. Diese können durch die Genauigkeit des Instruments oder aber auch den Informationsgehalt der Atmosphäre beschränkt sein. Wir untersuchen, wie sich die Unsicherheiten von Mikrowellenradiometermessungen auf den abgeleiteten Flüssigwasserpfad auswirken. Anhand von Parallelmessungen mit zwei Radiometern zeigen wir, wie verbesserte Kalibrationen sowie neue Empfängertypen diese Unsicherheiten verringern können.

## **Bestimmung der Feuchte-, Temperatur- und Wind-Profile in der Bodengrenzschicht mit scannenden Lidar-Systemen während der LAFE-Kampagne**

Florian Späth (1), Shravan Kumar Muppa (1), Simon Metzendorf (1), Diego Lange (1), Andreas Behrendt (1), Volker Wulfmeyer (1), Alan Brewer (2), Aditya Choukulkar (2), David D. Turner (2), and Tim Wagner (3)

(1) University of Hohenheim, Institute of Physics and Meteorology, Stuttgart, Germany (f.spaeth@uni-hohenheim.de), (2) Earth System Research Laboratory (ESRL), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Boulder, Colorado, USA, (3) Space Science and Engineering Center (SSEC), University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin, USA

Heutige Wetter- und Klimamodelle zeigen Schwächen. Sie repräsentieren die Grenzschichtprozesse und Land-Atmosphärenrückkopplungen nicht korrekt. Um diese Prozesse besser zu untersuchen, verwenden wir scannende Lidarsysteme zur Beobachtung der bodennahen Feuchte-, Temperatur- und Windgeschwindigkeits-Profile in der Grenzschicht. Eine neuartige Lidarsynergie kam im August 2017 beim Land-Atmosphäre Feedback Experiment (LAFE) an der Atmosphere Radiation Measurement (ARM) Program Southern Great Plains Site in Oklahoma, USA, zum Einsatz. Die Kombination von Doppler-, Raman- und differentiellm Absorptionslidar wurde zur Messung der Windgeschwindigkeit, Feuchte und Temperatur von der Landoberfläche bis zur Oberkante der atmosphärischen Grenzschicht (ABL) und unteren freien Atmosphäre genutzt. Mit koordinierten Scans wurden nicht nur vertikale Profile über einem Punkt erfasst, sondern auch 2-dimensionale Felder von Wind, Feuchte und Temperatur. Während intensiver Beobachtungsperioden (IOPs) wurde ein koordiniertes Scannmuster mit aufeinanderfolgenden bodennahen und vollen ABL-Scans mit allen Lidarsystemen durchgeführt. Für 50 Minuten jeder Stunde führten die Dopplerlidar-Systeme sich überschneidende Elevationsscans über vier Messtürmen durch um vertikal-hochaufgelöste Windprofile ( $\sim 3\text{m}$ ) von Bodennähe bis in etwa 100 m über dem Boden zu erhalten. Die scannenden Feuchte- und Temperaturlidar-Systeme erfassten den gleichen vertikalen Bereich mit hochauflösenden Elevationsscans. Für die verbleibenden 10 Minuten jeder Stunde führten die Dopplerlidar-Systeme bodennahe Polarscans zur Messung des horizontalen Windfeldes durch während die scannenden Temperatur- und Wasserdampflidar-Systeme mit größeren Elevationsscans die gesamte ABL abdeckten. Durch Kombination der Profile können dann weitere Größen wie fühlbare und latente Wärmeflüsse an der Landoberfläche abgeleitet werden sowie turbulente und mesoskalige Strukturen detektiert werden. Der LAFE-Datensatz wird detaillierte Studien der Land-Atmosphäre Feedback Prozesse, sowie Vergleiche mit Modellsimulationen erlauben.

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse des 3D-scannenden differentiellen Wasserdampfabsorptionslidars (DIAL), des scannenden Temperatur-Ramanlidar (TRRL) und der scannenden Dopplerlidare vorgestellt, die komplexe 2D-Strukturen der Surface Layer und der ABL zeigen. Zusätzlich können erste Abschätzungen der Flüsse durch Kombination der Feuchte, der Temperatur und des Windes bestimmt werden. Diese Ergebnisse adressieren die Anwendbarkeit der Monin-Obukhov Ähnlichkeitstheorie bei heterogener Landnutzung.

## **Das Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO): Ein neuartiges Sensorennetzwerk zur Verbesserung der Wettervorhersage- und Klimamodelle**

Florian Späth (1), Pascal Kremer (2), Volker Wulfmeyer (1), Thilo Streck (2), and Andreas Behrendt (1)

(1) University of Hohenheim, Institute of Physics and Meteorology, Stuttgart, Germany (f.spaeth@uni-hohenheim.de), (2) University of Hohenheim, Institute of Soil Science and Land Evaluation, Stuttgart, Germany

Bis heute mangelt es an einem umfassenden Verständnis und so auch der Quantifizierung der Land-Atmosphäre (LA) Rückkopplung (Santanello et al., 2018). Verbesserungen in diesen Bereichen lassen einen signifikanten Beitrag zu besseren Simulationen von Wolken und Niederschlag auf allen zeitlichen und räumlichen Skalen erwarten. Insbesondere die dynamische Entwicklung der Vegetation im Jahresverlauf wird bisher nicht oder nur statisch berücksichtigt. Zudem ist es fraglich, welche Auswirkungen die Vereinfachungen der Monin-Obukov-Ähnlichkeitstheorie bei natürlicher heterogener Landoberfläche haben bzw. welche besseren Ansätze möglich sind. Hierfür sind neben hochaufgelösten Simulationen auch hochaufgelöste Messungen erforderlich.

Das Land-Atmosphäre Feedback Observatorium (LAFO) an der Universität Hohenheim in Stuttgart (Deutschland) bringt hierfür ein Ensemble von etablierten und neu entwickelten Sensoren mit einmaliger räumlicher und zeitlicher Auflösung zusammen. Diese Kombination von Standard-In-Situ Geräten mit neuartigen Fernerkundungssystemen wird neue Einblicke in LA-Prozesse im Boden-Pflanzen-Atmosphäre-Kontinuum erlauben (Wulfmeyer et al. 2018). Ein umfassender Satz von bodenphysikalischen, pflanzendynamischen, sowie meteorologischen Variablen wird gemessen werden. Der Fokus liegt auf Prozessen der Evapotranspiration und des turbulenten Stoff- und Energieaustauschs.

Die erste Komponente der LAFO-Synergie besteht aus dreidimensional-abtastenden Lidarsystemen. Das hier verwendete differentielle Wasserdampfabsorptionslidar (DIAL) und das Temperatur-Rotations-Ramanlidar (TRRL) wurden am Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim entwickelt und sind weltweit einzigartig. Die Systeme erlauben Wasserdampf- und Temperaturmessungen von der bodennahen Grenzschicht bis zur unteren freien Troposphäre mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung bis zur Turbulenz-Skala (Behrendt et al., 2015, Wulfmeyer et al., 2015, Muppa et al., 2016, Späth et al., 2016). Ergänzend messen zwei Dopplerlidar-Systeme horizontale Windprofile und turbulente Windfluktuationen. Diese Messungen werden durch ein 3D-scannendes Polarisations-Dopplerwolkenradar und ein Mikroregenradar ergänzt.

Die zweite LAFO-Komponente ist ein Bodenwasser- und Bodentemperaturmessnetz kombiniert mit Eddy-Kovarianz-Stationen (Imukova et al., 2016). Die dritte LAFO-Komponente besteht aus Systemen zur Charakterisierung der Vegetation.

In dieser Präsentation werden wir darlegen, wie die LAFO-Beobachtungen für die Untersuchung und Verbesserung von Grenzschicht- und Turbulenz-Parametrisierungen eingesetzt werden können.

## **Vollgekoppelte Simulation des atmosphärischen und terrestrischen Wasserkreislaufs: Leistungsfähigkeit für unterschiedliche Regionen weltweit**

Harald Kunstmann (1,2), Joel Arnault (1), Benjamin Fersch (1), Noah Kerandi (3), Thomas Rummeler (2), and Zhenyu Zhang (1)

(1) Karlsruher Institut für Technologie, Campus Alpin, Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, (2) Universität Augsburg, Institut für Geographie, Augsburg, Deutschland, (3) South Eastern Kenya University, Kwa Vonza, Kenia

Zur Abschätzung der Auswirkungen von Klimaveränderungen und Landnutzungsänderungen auf den terrestrischen Wasserhaushalt werden regionale Klimamodelle und Wasserhaushaltsmodelle eingesetzt. Voll gekoppelte Modellsysteme erlauben eine konsistente Beschreibung aller Wasserflüsse und -speicher, insbesondere an der Schnittstelle zwischen Atmosphäre und Landoberfläche bzw. dem Untergrund. Damit können auch längerfristige Rückkopplungen zwischen dem Boden (z.B. der Bodenfeuchte), dem Grundwasser und der Atmosphäre beschrieben werden und deren komplexe Wechselwirkungen nachgebildet werden. Der Antrieb erfolgt allein über die vom globalen atmosphärischen Modell übernommenen Informationen am Rand der äußersten Simulationsdomäne. Anhand des voll gekoppelten Modellsystems WRF-Hydro, einer hydrologischen Erweiterung des Weather Research and Forecasting (WRF) Modells, das insbesondere laterale Flüsse an der Landoberfläche und damit auch Reinfiltration von Infiltrationsüberschuss ermöglicht, werden die momentanen Möglichkeiten und Grenzen für Einzugsgebiete in Deutschland (Donau), Ostafrika (Tana), Westafrika (Volta und Niger) und China (Heihe) veranschaulicht und diskutiert. Die Gitterauflösungen des atmosphärischen Modellteils liegen dabei im Bereich weniger Kilometer, die Beschreibung lateraler Wasserflüsse an der Oberfläche im Bereich etlicher hundert Meter. Ein wichtiges Kriterium ist, inwieweit mit dem Modellsystem der beobachtete Abfluss an ausgewählten Pegeln wiedergegeben werden kann. Während für tägliche und monatliche Pegeldurchflüsse eine gute Übereinstimmung mit Beobachtungen erreicht wird, gibt es bei kleinräumiger und kurzzeitiger Variabilität geringere Performanz, die vor allem durch die Qualität des simulierten Niederschlags begründet werden kann. Unterschiede zwischen der traditionellen regionalen atmosphärischen Modellierung und voll gekoppelten Ansätzen zeigen sich insbesondere bei schwachem synoptischen Antrieb, also bei vertikal dominierten Gradienten.

## **Aeolus Validierung von Bord der Polarstern, während des Nord-Süd Atlantik Transfers im November/Dezember 2018**

Alina Herzog (1), Holger Baars (2), Birgit Heese (2), Ronny Engelmann (2), Kevin Ohneiser (2), Karsten Hanbuch (2), and Ulla Wandinger (2)

(1) Leibniz Institute for Tropospheric Research , Ground-based remote sensing, Germany (herzog@tropos.de), (2) Leibniz Institute for Tropospheric Research , Ground-based remote sensing, Germany

Im Rahmen der deutschen Initiative EVAA (Experimental Validation and Assimilation of Aeolus observations) werden von der Ludwig Maximilian Universität München (LMU), dem Leibniz Institut für Troposphärenforschung (TROPOS) und dem deutschen Wetterdienst (DWD) experimentelle Validierungen für den Ende August 2018 gestarteten Windlidar-Satelliten Aeolus durchgeführt. Ziel ist mithilfe der Validierungen die Genauigkeit der Wind- und Aerosolprodukte zu bestimmen und später eine Verbesserung der Wettervorhersage durch direkte Assimilation der Satellitendaten zu erreichen.

Im Herbst 2018, während des Atlantiktransfers PS116 des deutschen Forschungsschiffes Polarstern [1] zwischen Bremerhaven und Kapstadt, ergibt sich die einmalige Gelegenheit für eine Validierung von Aeolus Level 2A Produkten über dem Atlantischen Ozean in mariner Umgebung. Aerosolprofile werden dafür mit einem Mehrwellenlängen-Raman-Polarisations-Lidar Polly XT [2], welches sich im Rahmen des OCEANET-ATMOSPHERE Projektes vom Tropos an Bord befindet, gemessen. Besonders interessant ist dabei die Region im Westen Afrikas, in welcher häufig abgehobene Schichten von Saharastaub, sowie Vermischungen mit Rauch aus Biomasseverbrennung vermessen werden können [3]. Während der etwa 4 wöchigen Überfahrt werden 3-5 direkte Überflüge von Aeolus erwartet. Die ersten Vergleiche der Satelliten und Bodenmessungen während der Überfahrt sollen in diesem Rahmen präsentiert werden.

### Referenzen:

[1] Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. (2017). Polar Research and Supply Vessel POLARSTERN Operated by the Alfred-Wegener-Institute. *Journal of large-scale research facilities*, 3, A119. <http://dx.doi.org/10.17815/jlsrf-3-163>

Polarsternfahrt PS116: Grant No. AWI\_PS116\_00

[2] Engelmann, R., Kanitz, T., Baars, H., Heese, B., Althausen, D., Skupin, A., Wandinger, U., Komppula, M., Stachlewska, I. S., Amiridis, V., Marinou, E., Mattis, I., Linné, H., and Ansmann, A.: The automated multiwavelength Raman polarization and water-vapor lidar PollyXT: the neXT generation, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1767-1784, <https://doi.org/10.5194/amt-9-1767-2016>, 2016

[3] Bohlmann, S., Baars, H., Radenz, M., Engelmann, R., and Macke, A.: Ship-borne aerosol profiling with lidar over the Atlantic Ocean: from pure marine conditions to complex dust–smoke mixtures, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 9661-9679, <https://doi.org/10.5194/acp-18-9661-2018>, 2018.



## **Water vapor transport in observations and in the regional climate model COSMO-CLM**

Amelie Krug (1), Julian Kinzel (2), Naveed Akhtar (3,1), Marc Schröder (2), and Bodo Ahrens (1)

(1) Goethe Universität Frankfurt, IAU, Frankfurt am Main, Germany, (2) Satellite-Based Climate Monitoring, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Germany, (3) now at Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Geesthacht, Germany

Atmospheric water vapor plays an important role in the climate system. It is the major greenhouse gas and links distant water storages like the oceans, rivers, lakes, and soil moisture in the hydrological cycle. We present the global vertically integrated water vapor transport based on HOAPS satellite and ERA-Interim reanalysis data for the time period from December 1987 to November 2014. A special focus lies on the Mediterranean Sea, which is an important source of moisture in North Africa and Europe. For example, the so-called Vb-cyclones carry water vapor from the Mediterranean to the eastern part of Central Europe and often cause high precipitation totals and flooding there, like the Elbe flood in August 2002. One goal of the DFG Research Unit SPATE is to investigate the atmospheric drivers of extreme floods. Therefore, our regional climate simulations should well represent the water vapor transport. For evaluation, we compare the water vapor transport in HOAPS satellite and ERA-Interim reanalysis data during selected Vb-events with the regional climate model COSMO-CLM in two different modes. On the one hand, we used the atmosphere-only mode, and on the other hand, COSMO-CLM coupled with the regional ocean models NEMO-Nordic (Baltic Sea) and NEMO-MED (Mediterranean Sea).



## **Impact of atmospheric oscillations and climate change on snow-cover variability over Germany during the past century**

Amelie Krug (1), Svenja Fischer (2), Cristina Primo (1), Bodo Ahrens (1), and Andreas Schumann (2)

(1) IAU, Goethe Universität Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany, (2) Institute of Hydrology, Water Resources Management and Environmental Engineering, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany

Flood events which affect each macro-scale river catchment of Germany simultaneously are of high relevance for insurances and flood protection planning. The analysis of river levels of the Rhine, Main, Danube, Elbe, Saale, and Weser River since 1920 revealed, that such Germany-wide floods occurred only during winter with a remarkable clustering of events in the 1940s. In the winter season, rainfall which accompanies the melt of accumulated snow in large areas is a key process in the generation of such floods. Understanding the processes which trigger large-scale snow cover helps to estimate the risk of Germany-wide winter flood events. Therefore, we investigate the temporal variability of snow cover during the past century with station data of the German weather service DWD. Only a few measurement sites have a good data coverage for the past 110 years. Thus, we also use dynamically downscaled ERA20C reanalysis data. The downscaling was performed with the regional climate model COSMO-CLM. We analyze possible correlations of the snow cover in Germany with internal climate variabilities, like the Arctic Oscillation or North Atlantic oscillation. An additional focus lies on the climate change with increasing wintertime temperatures during the last decades and its influence on Germany-wide snow cover.



## **Warum es im europäischen Winter so schwierig ist ausreichend Vitamin D durch solare Strahlung zu bilden**

Gunther Seckmeyer and Michael Schrempf

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland

Die solare UV Exposition ist die wichtigste natürliche Quelle um eine ausreichende Vitamin D Versorgung im menschlichen Körper zu gewährleisten. Nachdem schon länger bekannt ist, dass im Sommer die solare UV-Bestrahlung auf der Südhalbkugel bei gleicher Breitenlage um ca. 40-50% höher als auf vergleichbaren Orten der Nordhalbkugel liegt, zeigen wir, dass die Unterschiede der UV-Bestrahlung in den Wintermonaten noch viel drastischer ausfallen. So ist die UV-Exposition in Südneuseeland ( $45^\circ$  S) 7fach höher als in Norddeutschland ( $52^\circ$  N). Selbst wenn man den Effekt der unterschiedlichen Sonnenhöhe berücksichtigt liegt im Winter die UV Exposition in der Südhemisphäre immer noch einen Faktor 2 höher als in vergleichbaren Breiten der Nordhemisphäre. Der Hauptgrund für diese unerwartet großen Unterschiede liegt vor allem an Unterschieden in der Bewölkung und zu einem kleineren Teil an Unterschieden im Totalozon und den Aerosolen. Daten, die an verschiedenen Standorten in Europa aufgenommen wurden, zeigen eine hohe Variabilität des Wolkeneinflusses sowie deutliche Schwankungen von Jahr zu Jahr. Allerdings zeigen diese Daten auch, dass der große Kontrast zwischen Nord- und Südhalbkugel systematisch auftritt. Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke ist somit sowohl im Winter wie auch im Sommer in Europa deutlich geringer als in Neuseeland. Während die Wolken die Bestrahlung im Winter in Neuseeland im Mittel nur um etwa 25% abschwächen, liegt die Reduktion durch Wolken in Europa bei 50% oder mehr.



## **Operationelle Seegangsvorhersage im Deutschen Wetterdienst**

Thomas Bruns (1), Arno Behrens (2), and Oliver Sievers (3)

(1) Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Hamburg, Hamburg, Germany (thomas.bruns@dwd.de), (2) Institut für Küstenforschung, Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Germany (arno.behrens@hzg.de), (3) Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Hamburg, Hamburg, Germany (oliver.sievers@dwd.de)

Das von dem ICON-Modell des DWD angetriebene Seegangsvorhersagesystem (SVS) liefert bis zu 7-tägige Vorhersagen zunehmender räumlicher Auflösung von der globalen Skala bis hin zu den deutschen Küstengebieten. Das SVS wurde seit 1991 in Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) ständig weiterentwickelt und basiert seit 1998 auf dem international weit verbreiteten WAM-Code (WAve Model). Es stellt eine wesentliche Grundlage für die Erfüllung der gesetzlichen Aufgaben des DWD und internationaler Verpflichtungen zur Gewährleistung der meteorologischen Sicherheit auf See dar. Nach einem kurzen geschichtlichen Rückblick werden Beispiele von Produkten und Anwendungen der SVS sowie Ergebnisse der Modellvalidation präsentiert. Seit der Einführung der neuen Wettervorhersagekette ICON / ICON-EU im Jahr 2015 hat die Vorhersagegüte des SVS deutlich zugenommen, obwohl die Modellkopplung nach wie vor nur in eine Richtung geht – von den vorhersagten Windfeldern an die Meeresoberfläche ohne Rückgabe der veränderlichen Rauigkeit. Untersuchungen des HZG haben gezeigt, dass besonders in Sturmsituationen zwischen Modellen ICON und WAM erhebliche Differenzen der parameterisierten Oberflächenrauigkeit auftreten. Eine Zwei-Wege-Kopplung könnte nicht nur Seegangsvorhersage verbessern sondern könnte über den Einfluss auf diabatische Prozesse auch zu einer Qualitätssteigerung der mittelfristigen Wettervorhersage führen. Das im Januar 2019 gestartete 4-jährige Projekt 2WICWAM hat daher das Ziel, den Seegang direkt in das ICON-Modell zu integrieren.

## Wie kann durch klimagerechtes Bauen die Hitzebelastung in Städten minimiert werden?

Petra Seibert and Herbert Formayer

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Meteorologie, Wien, Österreich

Als Folge des Klimawandels hat die Hitzebelastung in mitteleuropäischen Städten deutlich zugenommen. Als besonders problematisch sind länger anhaltende Hitzewellen und die verringerte nächtliche Abkühlung einzustufen. In Wien ist nicht nur die Anzahl der Hitzetage ( $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) markant angestiegen, auch die Anzahl der Tropennächte ( $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ) hat sich im Vergleich zu den 1970er Jahren mehr als verdoppelt. An der Station Wien Hohe Warte kamen in den 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts nur etwa jedes zweite Jahr überhaupt Tropennächte vor, seit 1996 gab es nun kein Jahr mehr ohne Tropennächte. 2015 wurden sogar 23 Tropennächte erreicht, dabei liegt diese Station am Stadtrand. Im Mittel sind in Wien die Minimumtemperaturen innerstädtisch um gut 2 K wärmer als im unverbauten Umland, in etwa 7 % der Nächte beträgt dieser Temperaturunterschied sogar mehr als 5 K.

Im Hinblick auf die Tatsache, dass Menschen sich in der Stadt überwiegend in Gebäuden aufhalten, wird das Innenraumklima als der entscheidende Parameter angesehen. Um dieses erträglich zu halten, muss das Eindringen von Wärme in die Gebäude minimiert werden. Wichtigste Maßnahmen dazu sind außenliegende Abschattungseinrichtungen, korrektes Lüftungsverhalten (Fenster bei hohen Außentemperaturen geschlossen halten) und eine Gebäudehülle mit guter Wärmedämmung. Weiters ist nächtliche Lüftung wichtig. Diese wird aber durch die verminderte nächtliche Abkühlung in der städtischen Wärmeinsel in ihrer Effektivität beeinträchtigt. Die massive Zunahme der Anzahl der Tropennächte, insbesondere auch in Folge (Wien BOKU-Met Sommer 2018: 13 Tropennächte in Folge), ist daher ein Alarmzeichen. Die verringerte nächtliche Abkühlung ist zugleich der wichtigste Unterschied des städtischen Klimas im Vergleich zu ländlichen Regionen. Sie ist durch die erhöhten Speichermassen des Hochbaus, aber auch der Straßeninfrastruktur (die sowohl durch ihre Albedo als auch die effektive Wärmekapazität negativ Wirkungen hat) und die geringere Verdunstung verursacht.

Effektive Wärmedämmung ist daher als Gegenstrategie zum Wärmeinseleffekt sehr wichtig. Selbstverständlich sollten auch Maßnahmen zur Maximierung der Albedo gesetzt werden. Es ist unverständlich, warum noch immer Fassaden in schwarz oder anderen dunklen Farben, sowie Fenster und großflächige Glasfassaden ohne Abschattung erlaubt sind. Statt dessen fokussiert sich die öffentliche Diskussion stark auf Begrünungsmaßnahmen. Wenngleich diese zweifellos vor allem für das Freiraumklima vorteilhaft und wünschenswert sind, kann eine Lösung der Problematik allein dadurch nicht erreicht werden, zumal die aus Sicht der Energiebilanz erforderliche Wassermenge für die Transpiration nicht leicht bereitzustellen sein wird. Eine quantitative Abschätzung ergab, dass eine substanzielle Umleitung von fühlbarer in latente Wärme den städtischen Wasserverbrauch verdoppeln könnte!

## Large-Eddy Simulationen des Durch- und Zusammenbruchs von Föhn

Lukas Umek, Alexander Gohm, Maren Haid, Helen C. Ward, Thomas Muschinski, Lukas Lehner, and Mathias Rotach

Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck, Innsbruck, Österreich  
(lukas.umek@uibk.ac.at)

Der alpine Föhn wurde bereits in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten untersucht. Diese konzentrierten sich jedoch mehrheitlich auf die voll entwickelte Phase, während die turbulente Anfangs- und Endphase von Föhnereignissen weit weniger Aufmerksamkeit erhielten. Die genauen Prozesse, welche zum Eindringen und Zusammenbruch von Föhn in Täler führen, sind daher immer noch unzureichend erforscht. In vorangegangenen Studien wurden hierzu folgende Prozesse erwähnt: (I) großskalige differentielle Temperaturadvektion, (II) dynamische Verdrängung und Ausfließen von Kaltluftseen in Tälern, (III) turbulente Erosion des Kaltluftsees von oben, sowie (IV) tageszeitliche Erwärmung und (V) nächtliche Auskühlung der atmosphärischen Grenzschicht. Allerdings gibt es keine Einigkeit darüber, welche Prozesse dominieren.

Das Forschungsprojekt „Penetration and Interruption of Alpine Foehn“ (PIANO) versucht diese Wissenslücke zu schließen und die relevanten Prozesse zu quantifizieren. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf atmosphärischen Prozessen, welche zum Abbau des Kaltluftsees in Tallagen und damit zum Durchbruch der Föhnströmung am Talboden führen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden im Herbst 2017 im Großraum Innsbruck (Österreich) umfangreiche Messungen mithilfe unterschiedlichster Messplattformen durchgeführt. Vier Doppler Wind Lidare bildeten dabei das Herzstück der Beobachtungen. Als Ergänzung zur Feldkampagne werden mithilfe des „Weather Research and Forecasting“ (WRF) Modells mesoskalige und Large-Eddy Simulationen einzelner Föhnereignisse ausgeführt.

Die WRF Large-Eddy Simulationen werden mit einem horizontalen Gitterpunktabstand von 40 m durchgeführt. Die Methodik der numerischen Simulation in komplexem Gelände wird in diesem Beitrag vorgestellt. Des Weiteren wird die Ableitung von adäquaten Größen beschrieben, welche nötig sind, um den Abbau des Kaltluftsees zu beschreiben. Dazu zählen beispielsweise der explizit aufgelöste und subgrid-skalige Anteil der turbulenten Wärme- und Impulsflüsse. Zusätzlich werden erste Resultate einzelner Fallstudien von Föhnereignissen während der PIANO Feldkampagne präsentiert. Anhand dieser lassen sich Defizite von mesoskaligen Simulationen aufzeigen und Verbesserungen in der Simulation von Föhn im komplexen Gelände durch den Einsatz von Large-Eddy Simulationen und Assimilation von Beobachtungsdaten darlegen.



## “Science for solutions”

Irene Fischer-Bruns (1) and Daniela Jacob (2)

(1) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg, Germany (irene.fischer-bruns@hzg.de), (2) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg, Germany (daniela.jacob@hzg.de)

Der Bedarf an Informationen zu den Auswirkungen des Klimawandels, die für die unterschiedlichen Sektoren und Arbeitsbereiche relevant sind, wächst stetig. Um dieser Nachfrage entgegenzukommen, entwickelt das Climate Service Center Germany (kurz: GERICS) wissenschaftlich fundiert prototypische Produkte und Dienstleistungen, die Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft bei der Anpassung an den Klimawandel unterstützen.

GERICS' Kernaufgabe besteht im Transfer von entscheidungsrelevantem Klimawissen, basierend auf dem neuesten Stand der Wissenschaft, zu unterschiedlichen Nutzern in Form von maßgeschneiderten Produkten und Services. Im Sinne des Leitspruches „Science for solutions“ hat sich GERICS von ursprünglich einem reinen Serviceanbieter in eine kreative Ideenschmiede entwickelt. Eine wichtige durch mehr als neun Jahre Erfahrung im Bereich Klimageservice gewonnene Erkenntnis ist, dass die Entwicklung brauchbarer und nützlicher Klimageservice-Produkte eine nutzerspezifische Herangehensweise erforderlich macht. So wird die Co-Entwicklung und Co-Evaluation prototypischer Klimageservice-Produkte seit langem im GERICS umgesetzt, gemeinsam mit unterschiedlichen Praxispartnern. Es wurden zwei unterschiedliche Produktlinien entwickelt: Produkte nach dem Baukastenprinzip und datengestützte Produkte, wie verschiedene Faktenblätter. Sie alle basieren auf einer Vielzahl hochwertiger Daten, wie beispielsweise räumlich hochaufgelöste regionale oder lokale Klimadaten.

Als multidisziplinäre Einrichtung hat sich GERICS in unterschiedlichen Netzwerken zu einem zentralen Netzwerkpartner entwickelt. Als Partner in verschiedenen internationalen transdisziplinären Forschungsprojekten generiert und synthetisiert GERICS neues wissenschaftliches Wissen und trägt zu dessen Verbreitung bei. Durch verschiedene Schnittstellen macht GERICS auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene wissenschaftliche Grundlagen für strategische Entscheidungen, auch in der Klimapolitik, verfügbar und nutzbar.

## Zur Rolle des stratosphärischen Ozons im interaktiven Chemie-Klimasystem

Peter Braesicke (1), Jennifer Schröter (1), Marleen Braun (1), Shaoyin Wang (1), Michael Weimer (2), and Roland Ruhnke (1)

(1) IMK-ASF, KIT, Karlsruhe, Deutschland, (2) SCC, KIT, Karlsruhe, Deutschland

Stratosphärisches Ozon schützt das Leben vor harter ultravioletter Strahlung und ist gleichzeitig ein bestimmendes Element der thermischen Struktur unserer Atmosphäre. In klassischen Klimasimulationen gilt es als Standard, Ozon als gemittelte Klimatologie vorzugeben, obwohl, unter bestimmten Umständen, die Interaktion zwischen stratosphärischem Ozon, Strahlung und Zirkulation zentral sein kann. Prominente Beispiele in der Literatur reichen vom Einfluss des Ozonlochs auf das Antarktische Bodenklima bis hin zur Modifikation der Klimasensitivität.

In diesem Kontext nutzen wir das Chemie-Klima-Modellsystem ICON-ART, um Einflüsse des sich ändernden stratosphärischen Ozons auf das Klima in Sensitivitätsstudien zu beleuchten. Das ICON Modellsystem ist eine gemeinschaftliche Entwicklung des DWD und MPI-M und wird durch das ART Modul (für Chemie und Aerosole, inklusive stratosphärischen Ozons) des KIT ergänzt. In dieser Konfiguration kann das Modellsystem dazu genutzt werden, die Wechselwirkung des stratosphärischen Ozons mit dem Klima zu simulieren. Ein auch für Sachstandberichte bzgl. Ozon- und Klimaschutz wichtiger Beitrag.

Zunächst charakterisieren wir das ICON-ART Modell mit einer interaktiven Zeitscheibenintegration. In dieser Referenzsimulation wird das modellierte Ozon zur Berechnung der Heizraten verwendet und zahlreiche Realisierungen eines Jahres werden simuliert. Um die Rolle des stratosphärischen Ozons in der Kopplung zwischen hohen und niederen Breiten bzw. der Stratosphäre und der Troposphäre zu evaluieren, verwenden wir dann Simulationen mit wohl definierten Unterschieden. In einem Fall wird eine korrespondierende nicht-interaktive Simulationen mit der Referenzsimulation verglichen, um zu charakterisieren, wie sich das Modell ändert, wenn das Ozon nicht mehr konsistent mit der Zirkulation ist (der „klassische Fall“). In einem weiteren Fall vergleichen wir eine interaktive Simulation ohne Ozonloch mit der Referenzsimulation die ein Ozonloch enthält. Dies erlaubt uns zu verstehen, wie das modellierte (und beobachtete) Ozonloch auch das Bodenklima der Antarktis beeinflusst und welche Rolle die vertikale Kopplung spielt.

Generell gilt, dass mit diesen idealisierten Sensitivitätsstudien die im Modell wirkenden Mechanismen besser isolierbar sind, damit sie dann in Fallstudien vertieft an Beobachtungen validiert werden können, damit das Modell noch relevanter für die Wirklichkeit gemacht werden kann und auch transiente Läufe mit dem Modell besser interpretiert werden können.



## **Artificial Intelligence for Weather Prediction and Climate Research**

Gottfried Schwarz, Octavian Dumitru, and Mihai Datcu  
DLR Oberpfaffenhofen, IMF, Wessling, Germany (gottfried.schwarz@dlr.de)

During the last decade, much progress was made in the fields of artificial intelligence and machine learning. Typical applications range from production control in industrial environments to the automated analysis of scientific data. This development is a result of theoretical and practical advances mainly reached by innovative data representation, feature extraction, clustering, classification, modelling, analysis of time series, prediction techniques, machine learning, querying of relationships within data sets stored in big archives, distributed processing on the web, etc.

In the overall geophysical domain, one can see numerous artificial intelligence examples presented in conferences and journal publications; however, new weather prediction and climate research techniques are less frequent than general technical image processing approaches as, for instance, developments for autonomous driving under realistic conditions.

When we try to compare and categorize the main scientific and technical artificial intelligence approaches, one can already recognize some established techniques and their future potential that could also be exploited more routinely in weather prediction and climate research.

We will present some typical state-of-the-art artificial intelligence techniques and their potential application in geophysics, in particular, for weather prediction and climate research. These techniques have to support the reliable extraction of geophysical quantities, together with their estimated error bars.

Another important point is the required implementation effort and risk. We will demonstrate some characteristic cases where artificial intelligence software tools are already available, and we will also outline some basic lessons learnt from the perspectives of remote sensing and distributed processing.

Finally, we will try to predict future developments in artificial intelligence and their impact on weather prediction and climate research.



## Scale-Dependent Estimates of the Growth of Global Forecast Uncertainties

Nedjeljka Žagar

University of Ljubljana, Faculty of Mathematics and Physics, Department of Physics, Ljubljana, Slovenia  
(nedjeljka.zagar@fmf.uni-lj.si)

The talk discusses the error growth in global forecasts in relation to the spatial scale and quasi-geostrophic and inertia-gravity dynamics.

Scale decomposition based on the 3D orthogonal normal-mode functions facilitates the discussion of the multi-variate nature of some of the leading modes of atmospheric variability and their signatures in analysis uncertainties and forecast errors. This is especially useful in the tropics where the role of large-scale inertia-gravity modes in the initial state for NWP is still not clearly identified.

A new parametric model for the representation of the error growth in global NWP and ensemble prediction systems is introduced. In contrast to the commonly used models, the new model does not involve computation of the time derivatives of the empirical data. The asymptotic error is not a fitting parameter, but it is computed from the model constants.

The model is applied to the operational deterministic and ensemble forecasts of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Results shown that global analysis uncertainties are largest in the tropics and have biggest amplitudes at the large scales. The growth of forecast uncertainties takes place at all scales from the beginning of forecasts. The growth is nearly uniform in the zonal wavenumbers 1–5 and strongly scale dependent in the larger wavenumbers. Moreover, the growth from initial uncertainties at large scales appears dominant over the impact of errors cascading up from small scales.

The new model is easily transformed to the widely used model of Dalcher and Kalnay (1987) to discuss the scale-dependent growth as a sum of two terms, the so-called  $\alpha$  and  $\beta$  terms. Their comparison shows that at planetary scales their contributions to the growth in the first two days are similar whereas at small scales the  $\beta$  term describes most of a rapid exponential growth of errors towards saturation.



## **Skywarn Deutschland e. V. - Zielsetzung und Arbeitsweise**

Andreas Kollmohr, Uwe Haubold, Jörg Ölsner, Oliver Schlenczek, and Patrick Wagner  
Skywarn Deutschland e. V., Sien, Germany (andreas.kollmohr@skywarn.de)

Der gemeinnützige Verein Skywarn Deutschland e. V. wurde am 16. Oktober 2003 in Osnabrück gegründet. Ziel war von Anfang an, durch schnelle und genaue Meldungen lokaler Unwetterereignisse an Wetterdienste und Katastrophenschutzeinrichtungen die Akutwarnung der Bevölkerung vor Wettergefahren zu verbessern. Außerdem sollen die Meldungen den Ausbau der Europäischen Unwetterdatenbank ESWD des ESSL e. V. unterstützen.

Dazu wurde ein Netzwerk ehrenamtlicher Unwetterbeobachter - so genannter Spotter - aufgebaut. Dieses Netzwerk wird kontinuierlich erweitert und die Spotter werden durch Weiterbildungsmaßnahmen unterstützt, um möglichst exakte Meldungen zu erhalten. Insbesondere wurden in enger Zusammenarbeit mit den Wetterdiensten, allen voran dem Deutschen Wetterdienst, verbindliche Melderichtlinien erarbeitet, die den Spottern klare Definitionen der Art und Stärke der zu meldenden Unwetterereignisse liefern.

Im Laufe der Jahre gab es immer wieder technische und organisatorische Anpassungen der Arbeitsweise von Skywarn Deutschland. Dies wurde zum einen durch veränderte Anforderungen der Nutzer unserer Meldungen, zum anderen durch den Zuwachs an Spottern notwendig. Auch dem technischen Fortschritt muß Rechnung getragen werden, um nicht den Anschluß an aktuelle Entwicklungen zu verlieren. Dies alles erfordert ein großes Engagement von den ausschließlich ehrenamtlich tätigen Mitgliedern und Funktionsträgern des Vereins. Mit diesem Poster soll der aktuelle Stand und ein Ausblick auf die nächsten Schritte des Spotternetzwerks erläutert werden.



## Das Modular Earth Submodel System in der Nusschale

Patrick Jöckel and the MESSy Konsortium

German Aerospace Center (DLR), Institute for Atmospheric Physics, Oberpfaffenhofen Wessling, Germany  
(patrick.joeckel@dlr.de)

Erdsystemmodelle (ESMs) zur Simulation der Vergangenheit und Zukunft des Klimasystems gewinnen zunehmend an Komplexität, einerseits durch die Verknüpfung mehrerer Kompartments und andererseits durch die immer detailliertere Darstellung von Prozessen. Die meisten der aktuell verfügbaren ESMs wurden und werden kontinuierlich weiterentwickelt, viele davon haben bereits eine Entwicklungsgeschichte von einigen zehn Jahren hinter sich. Über die Jahre sind diese dabei zum Teil zu "monolithischen Monstern" herangewachsen, was den weiteren wissenschaftlichen Fortschritt aus mindestens zwei Gründen deutlich bremst: (1) Die Implementierung verbesserter (oder zumindest alternativer) Prozessbeschreibungen oder Parameterisierungen ist umständlich und erfordert eine tiefgehende Kenntnis vieler Details der historisch gewachsenen Programme. (2) Die verfügbare Computerinfrastruktur (high-performance computing, HPC) unterliegt, gerade zur Zeit, dramatischen Veränderungen, die eine grundlegende Überarbeitung der Programme erfordern.

Je umfangreicher und komplexer die Altlasten, desto weniger effizient und desto schwieriger sind Verbesserung und Anpassung an die neuen Herausforderungen. Im Jahr 2005 haben wir das "Modular Earth Submodel System" vorgestellt, um die genannten Schwierigkeiten mit den "historisch gewachsenen Monolithen" zu überwinden. Die damit verbundene Strategie haben wir seit dem über die Jahre kontinuierlich und konsequent weiterverfolgt. Das neue Modellsystem gewann schnell (und gewinnt immer noch) neue Nutzer und Entwickler. Die Entwicklung erlaubte uns unter anderem mit unserem Flaggschiff, dem EMAC (ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry) Modell, erfolgreich an der Chemistry Climate Model Initiative (CCMI) teilzunehmen. Die grundlegenden Ideen und Design-Konzepte des Modular Earth Submodel System werden vorgestellt.

## Unterstützende und ergänzende Modellierung im Rahmen des Smart Air Quality Networks

Ulrich Uhrner (1), Johannes Werhahn (2), Raphael Reifeltshammer (1), Andreas Philipp (3), Robert Kunde (4), Klaus Schäfer (2), and Stefan Emeis (2)

(1) Technische Universität Graz, IVT, Verkehr & Umwelt, Graz, Österreich (uhrner@ivt.tugraz.at), (2) Karlsruher Institut für Technologie, IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, (3) Universität Augsburg, Inst. f. Geographie, Augsburg, Deutschland, (4) ZAE Bayern, Garching, Deutschland

### Hintergrund und Ziele

Mit dem Forschungsprojekt SmartAQnet wird ein smarter Weg zur räumlichen und im Wesentlichen messwertgestützten Bestimmung von Feinstaub untersucht und am Modellstandort Augsburg erprobt. Ein wesentlicher Forschungsansatz ist die Erfassung und Zusammenführung unterschiedlicher Qualitäten von Feinstaubmesswerten mit Fernerkundungsdaten und auch Modelldaten. Feinstaubmesswerte können hierbei von Bürgern (z. B. mit Ultra-Low-Cost-Sensoren) bis hin zu offiziellen (präzisen) Messnetzen in die Datenarchitektur eingespeist werden.

Modellsimulationen werden dabei zur Netzwerkplanung, d.h. Platzierung von 50 Nephelometern und zur Planung von Intensivmesskampagnen genutzt. Darüber hinaus soll mittels Erhebung der Emissionen und Luftgütesimulationen im Verbund mit den zahlreichen Messungen ein hochaufgelöstes und nahezu lückenloses Abbild der Luftgüte der Luftgütesituation erstellt werden. Letztendlich soll auch untersucht werden, ob der quell- und komponentenspezifische Modellierungsansatz zur Nachkalibration der Messgeräte benutzt werden kann.

### Methodik

Anhand von hochaufgelösten lokalen Verkehrs- und Kaminkehrer Daten (Brennstoff, Heizleistung) werden PM- und Vorläufergas-Emissionen zunächst auf Jahresbasis möglichst hochaufgelöst für den Raum Augsburg berechnet und anhand von Messungen (Luftgütemessnetz und bis zu 50 Nephelometer) validiert. Unter Nutzung von Verkehrszählungen (bis zu 300 Schleifen) sowie Lastprofilen von Heizkraftwerken sollen auch die Aktivitäten, d.h. die zeitliche Freisetzung von Verkehrs- und Hausbrand Emissionen möglichst gut erfasst werden.

Die für die Ausbreitungsrechnungen benötigten Windfelder werden durch einen Multiskalen Ansatz Regional Skala (WRF), urbane Skala (100 m Auflösung GRAMM) und letztendlich unter Berücksichtigung von Gebäuden (3 m Auflösung GRAL) berechnet. Auch ein lokaler Ansatz, d.h. Antrieb mittels lokaler Messungen wird verfolgt und validiert.

Bei den Ausbreitungsrechnungen werden zwei Strategien zu Grunde gelegt, um die advehierten und sekundär gebildeten PM Komponenten berücksichtigen zu können: 1) Berechnung der PM10- und PM2.5-Belastungen mittels einem lokalen Ansatz und Beschreibung des Transport- und Sekundäraerosol dominierten Eintrags (Hintergrund) mittels Messung bzw. 2) Berechnung mit einem gekoppelten Modellansatz Chemie-Transport und Dispersion (WRF/Chem – GRAL).

### Ergebnisse

Erste WRF-GRAMM Berechnungen für eine 1 Monats Winterperiode erbrachten sehr gute Ergebnisse für die Windfeldsimulationen. Erste Berechnungen für den Jahresmittelwert für PM10 ergaben eine gute Übereinstimmung mit den Messungen des amtlichen Luftgütemessnetzes.

Im weiteren Verlauf, sind Vergleiche mit den Nephelometer Daten sowie mobilen Messungen auf Fahrrädern und zu Fuß geplant.

## Messung des Kohlendioxidausstoßes einer Mofette mittels kostengünstiger Sensoren

Kevin Hörmlle, Yann Büchau, and Jens Bange

Eberhard Karls Universität Tübingen, Center for Applied Geoscience, Environmental Physics, Tübingen, Germany

Die vorgestellte Masterarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Evaluierung einer Methode zur Messung des Kohlendioxidaustritts an einer Mofette im Neckartal zwischen Horb und Rottenburg im Schwarzwald. Im Rahmen des Projektes „Überwachung natürlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen unter Verwendung eines Netzwerks aus kostengünstigen Sensoren“ der Arbeitsgruppe Umweltphysik der Universität Tübingen wird der Kohlendioxidausstoß aus geogenen Quellen untersucht. Dabei wird unter anderem versucht, die Lücke zwischen hochpreisigen, präzisen Messsystemen zur Gasflussmessung und kostengünstigen Sensoren zur Gaskonzentration zu schließen. Die Entwicklung eines solchen Messsystems und der dazugehörigen Methodik ist von Relevanz, wenn mit einem relativ geringen Budget ein großer Messraum abgedeckt oder eine hohe räumliche Auflösung erreicht werden soll. Prinzipiell ist die entwickelte Methode auch auf die Untersuchung anderer Gase übertragbar.

Diese Arbeit hat die Vermessung der Kohlendioxidemission einer einzelnen Mofette zum Ziel. Die Schwerpunkte liegen dabei in der Entwicklung eines realitätsnahen Kalibrierungsprotokolls sowie in der Entwicklung eines Messaufbaus zur Kohlendioxidkonzentrationsmessung an einer Mofette, mit dem Rückschlüsse auf den Ausstoß getroffen werden können. Herausforderungen bestehen vor allem in der Einschätzung des Einflusses anderer Umweltfaktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Ventilation auf die Messung. Die Sensorkommunikationsinfrastruktur wurde bereits in der Arbeitsgruppe entwickelt und lässt einen Messsystemaufbau weitgehend ohne räumliche Einschränkungen zu. Im Vortrag wird näher auf die Kalibrationsmethode, den Experimentaufbau, und die gewonnenen Daten eingegangen.



## Simulation of Age-of-Air with the Global Climate Model EMAC-ATTILA

Sabine Brinkop and Patrick Jöckel

Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt, Institut fuer Physik der Atmosphaere, Wessling, Germany  
(sabine.brinkop@dlr.de)

We have extended ATTILA (Atmospheric Tracer Transport in a Lagrangian model), a Lagrangian tracer transport scheme, which is on-line coupled to the global ECHAM/MESy Atmospheric Chemistry (EMAC) Climate model, with a combination of newly developed and modified physical routines, and new diagnostic and infrastructure submodels. The new physical routines comprise a parametrisation for Lagrangian convection, a formulation of diabatic vertical velocity, and a new submodel to calculate the mixing of compounds in Lagrangian representation. We further use a new diagnostic tool to calculate on-line vertical mass-fluxes through the tropopause level.

We performed two climate simulations in free-running mode with prescribed sea surface temperatures with EMAC-ATTILA in T42L47MA resolution from 1950 to 2010, one with the diabatic and one with the kinematic vertical velocity. Mean age-of-air, the transit time of air parcels in the stratosphere, is a common metric to quantify the overall capabilities of a global model to simulate stratospheric transport. It is calculated from an inert tracer with linearly increasing emissions at the surface. Our simulated age-of-air distribution with the diabatic vertical velocity appears more in accordance with observations, whereas the simulation with the (standard) kinematic vertical velocity shows a too low mean age-of-air. We will show age spectra for different regions and their local trends in the stratosphere. The stratosphere-troposphere exchange is characterized by upward mass fluxes in the tropics and downward mass fluxes in the extra-tropics. The simulation with diabatic vertical velocity captures these typical features with a net upward flux in the tropics between 30°S and 30°N and a net downward flux from 40° to 90° north and south. However, with the kinematic vertical velocity, the mass transport unfortunately appears rather noisy.

## Entwicklung und Anwendung eines Multi-Skalen Windfeld Analyse Systems

Ulrich Uhrner (1), Johannes Werhahn (2), Renate Forkel (2), Raphael Reifeltshammer (1), and Dietmar Öttl (3)  
(1) Graz University of Technology, IVT, Traffic & Environment, Graz, Austria (uhrner@ivt.tugraz.at), (2) Karlsruher Institut für Technologie, IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, (3) Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Luftreinhaltung, Graz, Austria

### Hintergrund und Ziele

Gerade im orographisch gegliederten Gelände, als auch in städtischen Gebieten ergeben sich komplexe Strömungsregimes deren Charakterisierung eine äußerst große Herausforderung darstellt. Regional-skalige Modelle wie z.B. WRF können zwar übergeordnete Windregimes wiedergeben, haben jedoch Einschränkungen hinsichtlich der Auflösung ( $\Delta_{x,y}$  bis  $\approx 1$  km). Dazuhin weisen diese Modelle eine hohe Tendenz zur Überschätzung der Windgeschwindigkeit bei austauscharmen winterlichen Verhältnisse (Kalten und Inversionswetterlagen) in Tallagen auf. Bei hochauflösenden lokalen Windfeld Modellen stellt die Initialisierung und Festlegung der Randbedingungen eine Hauptherausforderung dar.

Ziel dieser Arbeit ist die Vorstellung eines Modellansatzes, der zum einen die Berücksichtigung unterschiedlicher Skalen ermöglicht, zum anderen aber auch austauscharme, winterliche Verhältnisse des bodennahen Windfeldes möglichst gut repräsentiert.

### Methodik

Mit dem Modell WRF wurden mit Multi-Nesting Techniken hochaufgelöste regionale Simulationen (bis  $\Delta_{x,y} \approx 1$  km) für die Untersuchungsräume Graz – Maribor, Klagenfurt und Augsburg durchgeführt. Die stündlichen Ergebnisse für Wind, Temperatur und Feuchte wurden verwendet um das Modell GRAMM (Graz Mesoscale Model, Öttl 2016) zu initialisieren. Somit kann eine deutlich feiner aufgelöster Modell Orographie und feinere Maschenweiten von 100 m bis 250 m verwendet werden. In einem weiteren Schritt wurden bei starken Abweichungen zwischen dem simulierten bodennahen Wind und der Temperatur, die Messungen verwendet, um die bodennahe Initialisierung der hochaufgelösten GRAMM Simulationen zu verbessern. Bei starker Überschätzung der WRF simulierten Temperatur wurden die auf das GRAMM Gitter interpolierten WRF Temperatur Profile korrigiert.

In einem weiteren Schritt können die GRAMM Windfelder für Ausbreitungsrechnungen durch das Modell GRAL (Graz Lagrangian Model, Öttl 2015) eingelesen werden (als First Guess) und unter Berücksichtigung von Gebäudestrukturen werden hochaufgelöste mikro-skalige Windfelder für Ausbreitungsrechnungen berechnet.

### Ergebnisse

Unabhängig vom Untersuchungsraum und der verwendeten WRF Version, zeigen die simulierten WRF Windfelder eine starke Tendenz zur Überschätzung des bodennahen Windfeldes in den Wintermonaten, auch die simulierten Windrichtungen weichen stark von den gemessenen ab.

Durch Initialisierung des feiner aufgelösten GRAMM Modells ergeben sich bereits deutliche Verbesserungen der simulierten Windfelder im Vergleich zur gröberen Auflösung. Dieser Modus wäre auch für Vorhersagen nutzbar. Durch Verwendung von Messungen und Korrektur des mit WRF simulierten Wind- und Temperaturfeldes kann die Güte der Windfeldsimulationen insbesondere in komplexen Gelände noch weiter gesteigert werden. Für Ausbreitungsrechnungen ist eine weitere Verfeinerung des Windfeldes bis auf die Ebene von Straßenschluchten möglich.

### Referenzen:

Öttl, D. (2015) 'Evaluation of the revised Lagrangian particle model GRAL against wind-tunnel and field experiments in the presence of obstacles', *Boundary-Layer Meteorol.*, No 155, pp.271-287.

Öttl, D. (2016) 'Documentation of the prognostic mesoscale model GRAMM (Graz Mesoscale Modell) Vs. 16.1, Amt d. Stmk. Landesregierung, Department 15, Air Quality Control, report No. Lu-05-2016, pp.1-120. Please fill in your abstract text.

## **Unterstützung von Messkampagnen mit dem Visualisierungstool „NinJo“**

Tobias Sebastian Finn (1,2,3), Akio Hansen (1,3), Felix Ament (1,4)

(1) Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, Hamburg, Germany (tobias.sebastian.finn@uni-hamburg.de), (2) Universität Bonn, Meteorologisches Institut, Bonn, Germany, (3) International Max Planck Research School on Earth System Modelling (IMPRS-ESM), Hamburg, Germany, (4) Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany

Die meteorologische Analysesoftware „NinJo“ wird seit mehr als 17 Jahren vom Deutschen Wetterdienst in Zusammenarbeit mit mehreren nationalen Wetterdiensten entwickelt. Operationell wird die Software für die tägliche Arbeit sowie Vorhersage eingesetzt. Daraus ergibt sich die Leitfrage unseres Vortrags: Kann „NinJo“ im wissenschaftlichen Kontext genutzt werden? In unserem Vortrag präsentieren wir, wie „NinJo“ zur Planung und Unterstützung von wissenschaftlichen Messkampagnen genutzt werden kann.

Im Vorfeld einer Kampagne können beispielsweise in „NinJo“ verschiedene Ansichten und Analysen flexibel auf die jeweilige wissenschaftliche Fragestellung hin definiert werden, auf die im Nachhinein schnell und einfach zugegriffen werden kann. Alle Ansichten können zudem im Anschluss mit Hilfe der „NinJo-Batch“ Komponente automatisiert per Internet bereitgestellt werden. Dadurch sind die Produkte direkt am Messstandort, z.B. vom Forschungsschiff oder -flugzeug, abrufbar. Darüber hinaus ermöglicht „NinJo“ bereits im Vorfeld virtuelle Flüge und Schiffsrouten, u.a. auf Basis von Querschnitten durch numerische Wettervorhersagen, zu erstellen, umso eventuelle Routen und Flugmuster weiter auf zu untersuchende synoptische Prozesse hin zu optimieren. Vor allem die Einbindung und flexible Darstellung von unterschiedlichen Vorhersagemodellen im Zusammenspiel mit Beobachtungsdaten erlaubt eine Abschätzung der Unsicherheit und der zeitlichen Entwicklung relevanter Parameter während Messkampagne.

Ebenfalls werden wir kurz anhand von Beispielen zeigen, wie „NinJo“ in der Lehre eingesetzt werden kann, um ein praktisches Prozessverständnis bei Studierenden aufzubauen. Dies ermöglicht ein selbständiges, problemorientiertes Lernen. Abschließend werden weitere Einsatzmöglichkeiten von „NinJo“ im wissenschaftlichen Alltag diskutiert.

## Sturmfluteintrittswahrscheinlichkeiten in der deutschen Bucht

Ludwig Schenk (1), Dr. Sylvin Müller-Navarra (1), and Dr. Nico Becker (2)

(1) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Gezeiten, Wasserstandsvorhersage- und Sturmflutwarndienst, Hamburg, Germany, (2) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Berlin, Germany

Von einer Sturmflut an der deutschen Nordseeküste sowie in den tideabhängigen Flüssen Elbe, Weser und Ems spricht man, wenn der Wasserstand während des durch die Gezeiten hervorgerufenen Hochwassers, hauptsächlich durch starke auflandige Winde, um mehr als 1,5 m über das mittlere Hochwasser steigt. In der deutschen Bucht geschieht das im langjährigen Mittel etwa fünfmal pro Jahr meistens zwischen Oktober und März. Da Schwere und Verlauf jeder Sturmflut von vielen Faktoren abhängen und die daraus einzuleitenden Schutzmaßnahmen im Vorfeld planerische Vorbereitungen wie Personalbereitschaft und Hochwasserschutzmaßnahmen erfordern, ist eine frühzeitige Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von zunehmender Wichtigkeit. Dies kann Kosten sparen und schafft zusätzliche Sicherheit.

Seit über einem Jahr nutzt dafür der Wasserstandsvorhersagedienst des BSH in Hamburg ein durch die FU Berlin entwickeltes System zur Abschätzung von Sturmfluteintrittswahrscheinlichkeiten. Dieses ermittelt auf Basis des probabilistischen Wettermodells ICON-EPS vom Deutschen Wetterdienst die Wahrscheinlichkeit von Windgeschwindigkeiten mit Windrichtungen aus WNW, welche in der deutschen Bucht Sturmfluten auslösen können. Um eine Bandbreite der möglichen meteorologischen Entwicklungen abzubilden, berechnet ICON-EPS zweimal am Tag für die nächsten 7,5 Tage (maximale lead time: 180 h) 40 gleichwertige Vorhersagen, auch Ensemblemitglieder genannt. Diese werden durch Variation der Modellanfangswerte und der Modellphysik erzeugt.

Auf Basis eines Trackingverfahrens identifiziert das System in jedem Ensemblemitglied die vorhergesagten Zugbahnen von Tiefdruckgebieten anhand der Windfelder. Zugbahnen die durch mehrere Ensemblemitglieder in ähnlicher Weise (räumlich und zeitlich) berechnet werden, können als unterschiedliche mögliche Realisierungen desselben Sturms interpretiert werden und werden nach festgelegten Kriterien zu Sturmclustern zusammengefasst. Betreffen die Sturmzugbahnen die deutsche Bucht, wird für jedes Ensemblemitglied ein Sturmflutschwereindex berechnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sturmflutereignis (Sturmflutschwereindex  $> 0$ ) die deutsche Bucht betrifft, wird durch die Häufigkeit und die Variation des Auftretens der Zugbahnen in den 40 Ensemblemitgliedern abgebildet und in geeigneter Weise für den Vorhersagenden dargestellt.

Das durch die FU Berlin übergebene Sturmflutwahrscheinlichkeitssystem dient dem Wasserstandsvorhersagedienst des BSH Hamburg als quantifizierte Entscheidungshilfe, um Zeitpunkt und Formulierung einer Vorabwarnung zu ermöglichen. Es schafft dadurch eine Erhöhung der Warnsicherheit auch durch das Vermeiden falscher beziehungsweise zu früher oder zu später Warnungen.



## **ScaleX: multidisciplinary intensive campaigns in the TERENO-preAlpine observatory**

Matthias Zeeman and the Scientific Teams of ScaleX Campaign 2015 & 2016

Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Germany (matthias.zeeman@kit.edu)

Observatories with long-term monitoring approaches are fundamental for the study of land surface–atmosphere interactions. They are operated with mostly automated measurement methods at few locations. However, intensive measurement campaigns are needed to help assess the gaps in the spatial, temporal and variable scope in the observatories. The TERENO-preAlpine observatory is located in the foothills of the Alps in the south of Germany, and is part of the German Terrestrial Environmental Observatories (TERENO) network. ScaleX is a collaborative campaign concept in which observational innovation and extensibility are used to bridge across spatial and temporal scales as well as research disciplines. Both TERENO and ScaleX aim to deliver measurement and modeling of land surface–atmosphere interactions of energy, water, and greenhouse gases.

Observational research campaigns within observatories offer opportunities for innovative techniques to be developed and cross-validated. ScaleX campaigns included additional instrumentation for in situ observation in- and on the ground, by mobile and airborne platforms and remote-sensing (Wolf et al., 2017; <http://scalex.imk-ifu.kit.edu>). Transects in particular allowed the spatial assessment of gradients and three-dimensional structures of atmospheric, surface, or soil variables and processes. A first campaign took place in 2015 and was extended in 2016 to host (inter-)national cooperation partners from academia and industry. A next campaign is planned for 2019, further tailored to support the testing and technical development of mobile observation systems. The campaigns and related workshops offer a rich multidisciplinary exchange on atmospheric research topics, which we will exemplify in our presentation. ScaleX campaigns are reoccurring events during the lifetime of TERENO and researchers are invited to participate in future, and to use the available data in modelling studies.

Wolf et al. (2017) “The SCALEX Campaign: Scale-Crossing Land Surface and Boundary Layer Processes in the TERENO-preAlpine Observatory”, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* DOI: 10.1175/BAMS-D-15-00277.1



## **Die Quellen von Aerosol im östlichen Mittelmeer während der A-LIFE-Feldmesskampagne 2017**

Petra Seibert (1,2), Anne Philipp (2,3), Bernadett Weinzierl (3), and Josef Gasteiger (3)

(1) Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Institut für Meteorologie, Wien, Österreich (petra.seibert /AT/ boku . ac . at),  
(2) Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, (3) Universität Wien, Aerosol- und Umweltphysik, Wien, Österreich

Im April 2017 wurde im Rahmen des Projekts A-LIFE (siehe <https://www.a-life.at/>) eine Feldmesskampagne im östlichen Mittelmeerraum durchgeführt zur Erforschung der Eigenschaften von Ruß-Aerosolen und ihrer Wechselwirkung mit Mineralstaub. Zentrale Komponente waren Flüge mit dem Forschungsflugzeug Falcon des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) vom Standort Zypern aus. Es wurden insgesamt 22 Flüge mit über 73 Flugstunden hauptsächlich über dem östlichen Mittelmeer bis in etwa 11 Kilometer Höhe durchgeführt. Parallel dazu fanden verschiedene bodengebundene In-situ- und Lidar-Messungen auf Zypern und Kreta statt.

Mit Hilfe des Lagrangeschen Partikel-Ausbreitungsmodells FLEXPART, ECMWF-Meteorologiedaten und CAMS-Emissionsdaten wurde die Menge und Herkunft von Aerosolpartikeln verschiedener Typen (Staub, Ruß, Sulfat, organische Substanz) für die Flugwege und In-Situ-Messungen berechnet. Die Herkunftsgebiete waren je nach Aerosoltyp unterschiedlich eingeteilt (z. B. Europa versus Afrika und Asien für Ruß, oder Westsahara, Ostsahara, Arabische Halbinsel und Rest für Staub). Die Methodik und die Ergebnisse dieser Berechnungen werden vorgestellt und mit Beobachtungen verglichen. Das Nildelta hat sich als dominante Quelle von Rußaerosolen in der Region herausgestellt. Wüstenstaub konnte unterschiedlichen Herkunftsgebieten, insbesondere der Arabischen Halbinsel versus Nordafrika, zugeordnet werden. Es wurden zum Teil sehr hohe Staubkonzentrationen modelliert, für Staub aus der Sahara bis zu  $1.4 \text{ mg/m}^3$  und für Staub von der arabischen Halbinsel bis zu  $0.5 \text{ mg/m}^3$ . Die modellierten Staubkonzentrationen passen generell meist gut zu den Beobachtungen, wobei es aber auch Abweichungen gibt, wie z. B. am 26. April, als in einer von der arabischen Halbinsel advehierten Staubschicht wesentlich höhere Konzentrationen beobachtet wurden als die Berechnungen zeigen.

Danksagung: A-LIFE wird vom ERC unter Nummer 640458 gefördert. Wir bedanken uns bei ZAMG sowie dem ECMWF inklusive des Copernicus-Teams für den Datenzugang und die Unterstützung, sowie beim gesamten A-Life Team.

## **Verwendung neuronaler Netze zur Vorhersage von Sichtweite und Strahlung**

Dieter Mayer and Manfred Spatzierer  
UBIMET, Model Development, Wien, Austria (dmayer@ubimet.com)

Statistische Methoden wie lineare oder logistische Regressionen erfreuen sich in der Meteorologie in Form der Model Output Statistics (MOS) schon seit längerer Zeit großer Beliebtheit. Für die Vorhersage komplexerer Größen wie Sichtweite und Strahlung zeichnet sich darüber hinaus die Verwendung künstlicher neuronaler Netze, welche die lineare und logistische Regression als einfachste Spezialfälle enthalten, als interessante und durchaus überlegene Alternative ab.

Der Vortrag behandelt konkret die sogenannten feed forward & back propagation multi layer Perzeptron Netze, welche einerseits auf den direkten Modelloutput von ECMWF-Vorhersagen und andererseits auf unterschiedliche Satellitenkanäle (in sichtbaren und infraroten Bereichen) angewendet werden. Nach einer kompakten Einführung in die Eigenschaften der hier verwendeten neuronalen Netze wird gezeigt, wie sich die Auswahl der einzelnen Modellparameter (Anzahl der Knoten, Anzahl der Hidden Layer, Verwendung von BIAS-Neuronen, unterschiedliche Verlust- und Aktivierungsfunktionen) auf die Qualität der Vorhersagen auswirkt. Die Resultate dieser speziellen künstlichen neuronalen Netze werden mit jenen aus einfacheren statistischen Methoden wie lineare Regressionen mit und ohne Ridge- und Lasso-Regularisierungen sowie mit auf Entscheidungsbäumen basierenden Modellen wie Random Forests verglichen.

Als einer der Anwendungsfälle wird die Prognose der Sichtweite für Doha (Katar) behandelt, weitere Fallstudien werden für die Globalstrahlung und deren Komponenten (diffus und direkt) für in Mitteleuropa gelegene Punkte präsentiert.

## Ein X-Band-Radar im Großraum Hamburg für Extremereignisse und Forschung

Tobias Sebastian Finn (1,2,3), Finn Burgemeister (1), Marco Clemens (1), Felix Ament (1,4)

(1) Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, Hamburg, Germany (tobias.sebastian.finn@uni-hamburg.de), (2) Universität Bonn, Meteorologisches Institut, Bonn, Germany, (3) International Max Planck Research School on Earth System Modelling (IMPRS-ESM), Hamburg, Germany, (4) Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany

Im Laufe der letzten Jahre wurde ein einfach polarisiertes X-Band-Radar im Stadtzentrum von Hamburg etabliert. Dieses Radar bietet im Vergleich zu dem C-Band-Radarnetzwerk des deutschen Wetterdienstes eine kleinere Wellenlänge und eine erhöhte zeitliche (30 s) und räumliche (60 m) Auflösung. Dadurch entstehen neue Möglichkeiten in Forschung und Erkennung von Extremereignissen, wie Starkregen und Tornados in Gebieten mit Regen. Allerdings treten auf Grund der kleineren Wellenlänge auch neue Probleme bezüglich der Dämpfung und Störsignalen hervor, welche ein anderes Muster haben als für C-Band-Radarsysteme. Daraus ergibt sich als Leitfrage für unseren Vortrag: Wie können in Echtzeit X-Band-Radarbilder gefiltert und optimiert werden?

Anhand von einem Extremereignis, einem Tornadofall in Hamburg, erklären wir, wie eine effektive Verarbeitung von Radardaten möglich ist. Dadurch können Probleme des X-Band-Radars behoben und Reflektivitätsdaten in Echtzeit bearbeitet werden. Wir beantworten auch die Frage, durch welche Bildverarbeitungstechniken X-Band- und C-Band-Radarbilder von ihren Störsignalen bereinigt werden können. Zusätzlich zeigen wir, dass X-Band- und C-Band-Radare kombiniert werden können, um die Dämpfung des X-Band-Radars zu korrigieren und so die Vorteile der beiden Radarsysteme zu vereinen.

Abschließend werden wir einen kurzen Ausblick auf die derzeitige Forschung geben: In wie weit ist es möglich die Verdriftung des Regens aus Radarbildern zu berechnen? Wie können neue Fortschritte in der Informatik die Störsignalerkennung in Radarbildern vereinfachen? Wie kann die Dämpfung aus einem X-Band-Radarnetzwerk abgeschätzt werden?

## **Multifrequenz Radaranwendungen: Ein neuer Weg zum besseren Verständnis von Schnee- und Eismikrophysik in Wolken?**

Stefan Kneifel

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Pohligstr. 3, 50969 Köln (skneifel@meteo.uni-koeln.de)

Unbestritten gehören die mikrophysikalischen Prozesse von unterkühltem Wasser, Eis- und Schneepartikeln zu den größten Herausforderungen für Modelle und Beobachtung. Gleichzeitig kommt diesen Prozessen eine enorme Bedeutung zu, betrachtet man allein die Tatsache, dass z.B. in mittleren Breiten nahezu jeder Regentropfen über die Eisphase gebildet wird.

Radaranwendungen sind heute sowohl in der bodengebundenen als auch in der satellitengebundenen Beobachtung von Wolken und Niederschlag nicht mehr wegzudenken. Neben seit langen etablierten Methoden, wie z.B. der Radarpolarmetrie, haben Kombinationen verschiedener Radarfrequenzen in den letzten Jahren ein enormes Potenzial offenbart Prozesse wie etwa Aggregation oder Bereifung mit ungekannter Sensitivität zu erfassen. Erst seit Kurzem ermöglicht die Global Precipitation Mission (GPM) Satellitenmission, globale Beobachtungen von Wolken und Niederschlag bei zwei verschiedenen Radarfrequenzen (Ku und Ka Band). Diese Beobachtungen werden in Kürze von einem W-Band Radar auf dem Satelliten EarthCare ergänzt werden. Erstmals im deutschsprachigen Raum, konnten am Jülich Observatory for Cloud Evolution (JOYCE) am Forschungszentrum Jülich bereits langzeitliche Beobachtungen bei drei Radarfrequenzen (X, Ka, W-Band) durchgeführt werden. Diese Beobachtungen sind zentral, um das konkrete Anwendungspotenzial dieser Beobachtungen genauer zu untersuchen.

In diesem Beitrag soll eine kurze Einführung in das Prinzip von Multifrequenz-Radarbeobachtungen gegeben werden, gefolgt von Messbeispielen verschiedener Schneefallereignisse, welche sowohl mit in-situ Messgeräten als auch mit Dreifrequenzradaren beobachtet wurden. Dank der seit kurzem kontinuierlichen Dreifrequenz-Messungen am Standort JOYCE, sind auch erste Statistiken der Multifrequenz-Signaturen möglich. Des Weiteren ermöglichen die nahen Forschungsradare auf der Sophienhöhe, sowie an der Universität zu Bonn, die Synergien von Radarpolarmetrie und Mehrfrequenzanwendungen zu erforschen.

## **Räumliche Analyse der herbstlichen SmartAQnet Messkampagnen im September und November 2018**

Erik Petersen, Andreas Philipp, and Johhanna Redelstein

Universität Augsburg, Institut für Geographie, Augsburg, Deutschland (erik.petersen@geo.uni-augsburg.de)

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten Projektes Smart Air Quality Network (SmartAQnet), zur Untersuchung der Verteilung urbaner Luftschadstoffe, fanden am 26. und 27. September 2018 und in den Wochen vom 12. auf den 23.11.18 zwei intensive Messkampagnen im Stadtgebiet Augsburg statt. In diesem Kontext wurden mobile Messungen meteorologischer Größen sowie Partikelkonzentration mit Hilfe von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) und Fahrrädern durchgeführt. Gemessen wurde mit zwei Hexacoptern des Typs DJI m600pro und einem Fahrrad, welches mit Messsensorik ausgestattet wurde. In beiden Fällen wurde die Partikelanzahl mithilfe des Alphasense OPC-N2 und Lufttemperatur sowie –Feuchte mit dem SHT75 von Sensirion gemessen.

Der OPC-N2 von Alphasense gibt neben der Partikelanzahl in 16 Größenklassen zudem die Partikelmasse in PM1, PM2.5 und PM10 an, welche die interne Software berechnet. Die Beste Übereinstimmung mit präzisen Partikelmasse Messsensoren kann der OPC-N2 im Bereich von PM2.5 aufweisen. Weiterführend ist ein Bias zwischen den einzelnen OPCs festzustellen. Mithilfe einer einwöchigen Kalibration und darauf aufbauender Regressionsanalyse musste deshalb eine Datenkorrektur durchgeführt werden. Die Feuchtigkeitsempfindlichkeit, vor allem über 85% relativer Luftfeuchte, wurde mithilfe eines Algorithmus korrigiert, welcher auf der Köhlertheorie beruht, die den Prozess der Kondensation von Wasserdampf bei unterschiedlicher Sättigung beschreibt.

Im vorliegenden Beitrag werden die Daten mit Fokus auf räumliche Zusammenhänge, d.h. hinsichtlich der Varianz im urbanen Raum durch verschiedene Quellen, Senken und Transportmechanismen, analysiert und die Ergebnisse diskutiert.



## **Das CarboScope inverse Modellierungssystem für regionale CO<sub>2</sub> NEE Austauschflüsse über Europa**

Frank-Thomas Koch (1), Christoph Gerbig (2), and Ute Karstens (3)

(1) Deutscher Wetterdienst, FEHP Hohenpeissenberg, Deutschland (tkoch@bgc-jena.mpg.de), (2) Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena, Deutschland, (cgerbig@bgc-jena.mpg.de), (3) ICOS Carbon Portal und Lund Universität, Lund, Schweden (ute.karstens@nateko.lu.se)

Der verstärkte Ausbau des Netzwerkes atmosphärischer Stationen für die kontinuierlichen Langzeitbeobachtungen atmosphärischer Treibhausgase in Europa ermöglicht die Durchführung der „top-down“ inversen atmosphärischen Transportmodellierung auf quasi pre-operationaler Weise. Der Hauptschwerpunkt der inversen Modellierung liegt dabei in dem Verständnis sowie der Verringerung großer Unsicherheiten in den CO<sub>2</sub> Netto-Landaustauschflüssen (NEE) auf regionaler Skala über dem europäischen Kontinent.

Das CarboScope regionale Inversionssystem besteht aus dem meso-skalierten regionalen Transportmodell STILT, biogenen Prior-flüssen aus dem diagnostischen Modell VPRM sowie anthropogenen Emissionsflüssen, basierend auf der Emissions-Datenbank EDGAR 4.3 mit jährlicher Angleichung anhand des BP-Statistikreportes der Firma British Petroleum. Das CarboScope Inversionssystem ist ein Zweischrittssystem, das die regionale Inversion in eine globale Inversion mit dem globalen Transportmodell TM3 einbettet.

Im Rahmen des EUROCOM Projektes wurden mit dem CarboScope regionale Inversionssystem für die Jahre 2006 bis 2015 Inversionen anhand von Messungen des atmosphärischen CO<sub>2</sub> an 33 atmosphärischen Stationen in Europa durchgeführt. Ein Merkmal des EUROCOM Projektes war die Schaffung und Verwendung eines einheitlichen Protokolls zur Durchführung der Inversionen über Europa, um damit eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Inversionssysteme zu schaffen. Die EUROCOM Modell-Domain umfasst dabei 33 - 73N und 15W - 33E. Weitere Eigenschaften des EUROCOM-Protokolls war der einheitliche Modellzeitraum von 2006 – 2015, eine einheitliche Auswahl der verwendeten Messungen des atmosphärischen CO<sub>2</sub>, sowie eine räumlichen Auflösung von 0.25 Grad für die Prior-flüsse und 0.5 Grad für die Flusskorrekturen nach Durchführung der Inversionen.

Mit dem Aufbau der europäischen Forschungsinfrastruktur ICOS (Integrated Carbon Observation System) und der darin eingebetteten deutschen Forschungsinfrastruktur ICOS-D hat sich das Messnetzwerk atmosphärischer Stationen insbesondere seit 2016 noch einmal stärker ausgeweitet. Ergänzend zu den Ergebnissen aus dem EUROCOM Projekt werden unter Verwendung dieser pre-ICOS Messdaten aus 2016 und 2017 erste CarboScope Inversionsergebnisse für diesen Zeitraum gezeigt.

## **Lokalisierung von Wind und Relativer Feuchte von ausgewählten EURO-CORDEX EUR-11 Szenarios**

David Leidinger, Herbert Formayer, and Imran Nadeem  
BOKU, Institut für Meteorologie, Wien, Austria (david.leidinger@boku.ac.at)

Für die Klimafolgenforschung werden räumlich hochaufgelöste Klimaszenarien benötigt. Im Zuge der Erstellung des Datensatzes ÖKS-15 wurden österreichweit 26 Szenarien des EURO-CORDEX EUR-11 Ensembles fehlerkorrigiert und statistisch auf einen 1 x 1 km Raster skaliert. ÖKS15 stellt die Parameter Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung auf Tagesbasis bereit. Für diverse Anwendungen, insbesondere die Berechnung der potenziellen Verdunstung für Impactmodellierung in Hydrologie, Agronomie, Forstwissenschaften, etc. werden jedoch auch die Parameter relative Feuchte und Windgeschwindigkeit benötigt. Für die Berechnung dieser Parameter wurden vier der 26 Szenarien ausgewählt: mittleres RCP4.5, mittleres RCP8.5, feuchtestes RCP8.5, trockenstes RCP8.5, jeweils bezogen auf die Änderung der Jahresmitteltemperatur und des Jahresniederschlags am Ende des Jahrhunderts.

Zunächst wurden die ausgewählten EUR-11 Szenarien und INCA-Beobachtungsdaten, sowohl für die Feuchte, als auch die Windgeschwindigkeit, auf das ÖKS15 Gitter interpoliert.

Die Skalierung der Relativen Feuchte wurde folgendermaßen durchgeführt:  
die mittleren monatlichen Residuen der mittleren Feuchte zwischen Klimaszenarien und INCA wurden berechnet und dann den interpolierten Klimaszenarien aufgeprägt.

Die Skalierung der Windgeschwindigkeit war komplexer:  
da INCA ein Analyse- und Nowcasting Datensatz ist und laufend weiterentwickelt wird ist er zeitlich nicht homogen. Dies trifft insbesondere auf die Windgeschwindigkeit zu, wo mehrere Diskontinuitäten entdeckt wurden. Für die Lokalisierung der Windgeschwindigkeit musste daher zunächst der INCA-Winddatensatz homogenisiert werden. Außerdem wurde eine Höhenkorrektur, die von Stationsdaten abgeleitet wurde, durchgeführt. Die Windszenarien wurden dann mittels Quantile Mapping fehlerkorrigiert.

Schließlich wurden einerseits die resultierenden Felder mit Stationsdaten und andererseits die Residuen untereinander verglichen.

Die skalierten Klimaszenarien sind im Datenzentrum des Climate Change Center Austria (<https://data.ccca.ac.at/>) abrufbar.



## **julia - Eine dynamische Sprache optimiert für die wissenschaftliche Programmierung**

Igor Kröner

Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Potsdam, Germany (igor.kroener@awi.de)

In der angewandten Programmierung erfreuen sich high-level, dynamische Sprachen, wie zum Beispiel Matlab oder Python, immer grösserer Beliebtheit, da sich mit relativ geringem Aufwand sich bereits einige Routinen schreiben und viele Probleme lösen lassen. Diese Nutzerfreundlichkeit ist jedoch nicht selten mit deutlichen Performance-Einschränkungen erkauft. Für rechenintensive Aufgaben wird daher meistens noch immer auf low-level, statische Sprachen zurückgegriffen (z.B. C, Fortran). Diese sind zwar deutlich schneller, jedoch auch deutlich aufwendiger zu lernen und programmieren.

Die Entwickler von **julia** haben sich diesen Spagat, zwischen Spezialisierung und Abstraktion, zwischen den Bedürfnissen des Programmierers und denen der Maschine, zur Herausforderung gemacht. Sie wollten eine open-source Sprache erschaffen, welche leicht zu lernen ist und dennoch die individuellen Vorteile bisher existierender Sprachen wie C, Ruby, Lisp, Matlab, Python oder R vereint.

Natürlich erlaubt sich die Frage, inwiefern es lohnt eine neue Sprache zu lernen. In diesem Workshop ähnlichen Format möchte ich eine Einführung in die Welt von julia geben. Folgende Fragestellungen sollen dabei im Fokus stehen:

1. Wie lässt es sich als programmierender Wissenschaftler mit julia arbeiten?
2. Wie lassen sich bereits bestehende Programme, Funktionen oder Pakete anderer Sprachen unkompliziert in julia Quellcode integrieren?
3. Was gilt es zu beachten, wenn mit Rücksicht auf die Ausführung optimiert in julia programmiert werden soll?

Eine Teilnahme ist auch ohne Computer möglich. Einige Beispiele können jedoch auf einem eigenen Notebook unmittelbar nachvollzogen werden.

## **20 Jahre Grenzschichtmessungen am MOL-RAO: Wind- und Temperaturverhältnisse in der bodennahen Grenzschicht**

Claudia Becker, Beyrich Frank, and Rummel Udo

Deutscher Wetterdienst, Tauche OT Lindenberg, Germany (claudia.becker@dwd.de)

Am Meteorologischen Observatorium Lindenberg – Richard-Aßmann-Observatorium wird seit 1998 ein umfangreiches Messprogramm zur operationellen Langzeit-Erfassung atmosphärischer Zustands- und Prozessgrößen in der Atmosphärischen Grenzschicht (AGS) realisiert. Es umfasst sowohl in-situ Messungen an Masten bis in 99m Höhe als auch den Einsatz von bodengebundenen Fernsondierungssystemen (Sodar, Scintillometer, seit einigen Jahren auch Doppler-Lidar). Der Beitrag gibt zunächst einen Überblick über die in Lindenberg seit nunmehr 20 Jahren gewonnenen Datensätze zur Charakterisierung der AGS.

Sodann werden einige angewandte Fragen auf der Basis der gewonnenen Datenreihen erörtert. Hierzu zählen Analysen zu Inversionen und zu den Windverhältnissen in der bodennahen Grenzschicht. Spezielles Augenmerk wird auf die vor allem für Windenergieanwendungen diskutierte Frage einer möglichen Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit über Landoberflächen auf der Nordhemisphäre in den letzten Jahrzehnten gelegt. Dieser in der Literatur auch als „Terrestrial stilling“ beschriebene Effekt wird vor allem für Beobachtungen in der Standard-Anemometerhöhe (10 m) beschrieben. Als mögliche Ursachen werden die zunehmende Oberflächenrauigkeit (Verstädterung, Waldwachstum) und Änderungen in der atmosphärischen Zirkulation diskutiert; messtechnische Aspekte werden nicht ausgeschlossen. Für Windenergie-Anwendungen sind hierbei vor allem Messwerte in Höhen zwischen 100 m und 200 m von Interesse. Am MOL-RAO werden seit 20 Jahren Windmessungen an einem 99m-Mast operationell durchgeführt, die als weitestgehend homogen angesehen werden können. Darüber hinaus werden Messdaten anderer Systeme (Radiosonden, Radar-Windprofiler) vom Standort Lindenberg und Messungen an einem 30m-Mast über einem Kiefernwald einbezogen. Die Ergebnisse dieser Messungen werden unter Berücksichtigung der Stabilitätsverhältnisse, jahreszeitlicher Unterschiede und von Landnutzungseffekten diskutiert.

## Machine learning parameterizations for ozone in climate sensitivity simulations

Peer Nowack (1,2,3), Qing Yee Ellie Ong (4), Peter Braesicke (5), Joanna Haigh (1,2), Nathan Luke Abraham (6,7), John Pyle (6,7), and Apostolos Voulgarakis (2)

(1) Imperial College London, Grantham Institute for Climate Change and the Environment, UK, (2) Imperial College London, Department of Physics - Blackett Laboratory, UK, (3) Imperial College London, Data Science Institute, UK, (4) University of Oxford, UK, (5) Karlsruhe Institute of Technology, IMK-ASF, Germany, (6) University of Cambridge, Department of Chemistry, UK, (7) National Centre for Atmospheric Science, UK

Ozone is an important feedback factor in climate simulations [1-5]. However, interactive atmospheric chemistry schemes needed for calculating changes in ozone are computationally expensive. Climate modelers therefore often use climatological ozone fields, which are neither consistent with the actual climate state simulated by each model nor with the specific climate change scenario. We suggest a novel method using a machine learning regression algorithm to model ozone in pre-industrial and abrupt  $4\times\text{CO}_2$  climate sensitivity simulations [6]. Using the atmospheric temperature field as the only input, the regression reliably predicts three-dimensional ozone distributions. In particular, the representation of stratospheric ozone variability is much improved compared with a fixed climatology. Our method requires training data covering only a fraction of the usual length of simulations and, as we show here, is transferable between generations of the UK Met Office's climate model. Our method thus promises to be an important stepping stone towards a range of new computationally efficient methods to consider ozone changes in long climate simulations.

### Short German summary:

Interaktive Ozonchemie ist eine wichtige, aber rechenzeittechnisch teure, Komponente in der Klimamodellierung. Wir zeigen hier das Algorithmen des Machinellen Lernens für viele Klimasimulationen eine effektive und schnellere Alternative zu interaktiven Atmosphärenchemieschemen darstellen können.

### **References:**

- [1] Nowack PJ, Abraham NL, Braesicke P, and Pyle JA (2018). The impact of stratospheric ozone feedbacks on climate sensitivity estimates, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **123**, 4630–4641. doi:10.1002/2017JD027943.
- [2] Silverman V, Harnik N, Matthes K, Lubis SW, and Wahl S (2018). Radiative effects of ozone waves on the Northern Hemisphere polar vortex and its modulation by the QBO, *Atmospheric Chemistry and Physics* **18**, 6637–6659, doi:10.5194/acp-18-6637-2018.
- [3] Nowack PJ, Braesicke P, Abraham NL, and Pyle JA (2017). On the role of ozone feedback in the ENSO amplitude response under global warming, *Geophysical Research Letters* **44**, 3858–3866, doi:10.1002/2016GL072418.
- [4] Chiodo G, and Polvani LM (2017). Reduced Southern Hemispheric circulation response to quadrupled  $\text{CO}_2$  due to stratospheric ozone feedback, *Geophysical Research Letters* **44**, 465–474, doi:10.1002/2016GL071011.
- [5] Nowack PJ, Abraham NL, Maycock AC, Braesicke P, Gregory JM, Joshi MM, Osprey A, and Pyle JA (2015). A large ozone-circulation feedback and its implications for global warming assessments, *Nature Climate Change* **5**, 41–45, doi:10.1038/NCLIMATE24.
- [6] Nowack PJ, Braesicke P, Haigh J, Abraham NL, Pyle J, Voulgarakis A (2018). Using machine learning to build temperature-based ozone parameterizations for climate sensitivity simulations, *Environmental Research Letters* **13**, 104016, doi:10.1088/1748-9326/aae2be.

## **Die Rolle von Wolkenprozessen für die Dynamik in extratropischen Zyklonen im Vorhersagemodell des ECMWF – Eine Lagrangesche Analyse von kohärenten Luftströmen**

Elisa Spreitzer (1), Hanna Joos (1), Maxi Boettcher (1), Richard Forbes (2), and Heini Wernli (1)

(1) ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science, Zürich, Switzerland, (2) European Centre for Medium-range Weather Forecasts, Reading, UK

Extratropische Zyklonen sind üblicherweise verantwortlich für starke Wolkenbildung und Niederschlag. Phasenänderungen von Wasser und die damit verbundene Freisetzung von latenter Wärme können wiederum einen wichtigen Faktor für die synoptisch- und mesoskalige Dynamik von extratropischen Wettersystemen darstellen, indem sie das Stabilitätsprofil beeinflussen, Anomalien in der potentiellen Vorticity (PV) verursachen und zur Umverteilung von Feuchte beitragen. Anhand einer Fallstudie einer nordatlantischen Winterzyklone wird die Rolle von bestimmten diabatischen Prozessen im globalen Vorhersagemodell des ECMWF analysiert. Die hier verwendete erweiterte Modellversion liefert alle instantanen Heizraten der einzelnen mikrophysikalischen Prozesse, die im Modell parametrisiert sind. Mittels einer Lagrangeschen Methode werden Regionen in der Zyklone untersucht, die von ausgewählten Wolkenprozessen beeinflusst werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Verdunstung von Regen und der Sublimation von Schnee, sogenannten „below-cloud-Prozessen“. Das diabatische Kühlen durch Verdunstung und Sublimation wird entlang von Trajektorien akkumuliert, um den integrierten Effekt dieser Prozesse auf ein Luftpaket zu bestimmen. Luftpakete, die auf diese Weise eine besonders starke diabatische Modifikation erfahren, bilden kohärente Luftströme. Diese treten in unterschiedlichen Regionen der Zyklone auf und werden anhand von objektiven Kriterien identifiziert und in verschiedene Luftströme klassifiziert. Es wird gezeigt, dass ihre Rolle nicht nur im diabatischen Kühlen und dem Erzeugen von PV-Anomalien besteht, sondern dass sie auch als signifikante Feuchtequelle bei der Wolkenbildung dienen. Unter den diagnostizierten kohärenten Luftströmen, die von below-cloud-Prozessen beeinflusst werden, befindet sich eine Strömung, die für die Struktur der Kaltfront relevant ist, ein Luftstrom, der unter starker Anfeuchtung vor der Warmfront Richtung Zyklonenzentrum gerichtet ist sowie ein Luftstrom, der mit einem Warm-Conveyor-Belt an der Kaltfront aufsteigt und die obere Troposphäre erreicht. Die detaillierte Lagrangesche Analyse ergibt damit, dass below-cloud-Prozesse nicht nur einen Einfluss auf die Struktur und Dynamik von extratropischen Wettersystemen in unteren Troposphärenschichten, sondern auch auf Tropopausenniveau haben können. Insbesondere deutet dies darauf hin, dass Unsicherheiten in den Parametrisierungen für Verdunstung und Sublimation zu Vorhersageunsicherheiten der großskaligen Strömung in der oberen Troposphäre führen können.

## **ICON-LEM: Verbesserung der Skalierbarkeit und hochaufgelöste Simulationen**

Catrin I. Meyer (1), Thomas Jahns (2), Moritz Hanke (2), Panagiotis Adamidis (2), Lars Hoffmann (1), and Olaf Stein (1)

(1) Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich Supercomputing Centre (JSC), Jülich, Germany (cat.meyer@fz-juelich.de), (2) Deutsches Klimarechenzentrum, Hamburg, Germany

Im Rahmen des BMBF Projektes „High definition clouds and precipitation for advancing climate prediction“ (HD(CP)<sup>2</sup>) wurde das ICON (ICOsahedral Nonhydrostatic) Modell auf die Jülicher HPC Systeme JUQUEEN, JURECA und JUWELS portiert und optimiert. Im HD(CP)<sup>2</sup> Projekt werden hind-cast Simulationen mit ultra-hoher Auflösung für das Gebiet von Deutschland berechnet, mit dem Ziel die Parametrisierung von Wolken- und Niederschlagsprozessen in Wetter- und Klimamodellen zu verbessern.

Simulationen in der Größenordnung von HD(CP)<sup>2</sup> sind rechen- und datenintensiv. Deshalb ist es wichtig die Hardware Ressourcen der HPC Systeme optimal auszunutzen. Momentane und zukünftige HPC Systeme verfügen über hunderte bis tausende von Rechenkernen. Dementsprechend ist eine sehr gute Skalierbarkeit des Modells nötig, um die Architektur effizient auszunutzen und die Simulation in einem sinnvollen Zeitfenster durchzuführen. Erste Tests 2013 zeigten, dass das ICON Modell die notwendige Skalierbarkeit nicht erfüllte, was hauptsächlich am Speicherverbrauch pro Prozess lag. Dieses Problem konnte behoben werden und der Modellcode wurde zusätzlich optimiert, so dass jetzt erfolgreich Simulationen durchgeführt werden.

Auf JUQUEEN wurden starke Skalierungstests mit horizontalen Auflösungen von 924m bis 120m für das HD(CP)<sup>2</sup> Setup durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass die LEM (Large Eddy Model) Physik und der dynamische Kern mit einer horizontalen Auflösung von 120m sehr gut skalieren und das komplette JUQUEEN System effizient genutzt werden kann. Das gesamte JUQUEEN System verfügt über 450000 Rechenkern. Da JUQUEEN im Mai 2018 abgeschaltet wurde, ist das ICON Modell erfolgreich auf die HPC Systeme JURECA und JUWELS portiert worden. Dort konnte ebenfalls eine gute Skalierbarkeit nachgewiesen werden. Momentan wird das ICON Modell regelmäßig im Rahmen von HD(CP)<sup>2</sup> mit zwei verschachtelten Gittern mit einer horizontalen Auflösung von 624m und 312m über Deutschland für projektspezifisch ausgewählte Tage und zusätzlich für Sensitivitätsstudien betrieben.



## **Meteorologische Dissertationen von Frauen in Deutschland: Schlaglichter aus einem vollen Jahrhundert**

Hans Volkert

DLR-IPA, Institut für Physik der Atmosphäre (IPA), Oberpfaffenhofen, Germany (hans.volkert@dlr.de)

Auf die Einführung des Wahlrechts für Frauen in Deutschland im November 1918, im Zusammenhang mit den revolutionären Umwälzungen zum Ende des ersten Weltkriegs, wird gegenwärtig häufig hingewiesen. Kaum bekannt ist dagegen, dass vor 100 Jahren zwei Frauen am Geophysikalischen Institut der Universität Leipzig, gegründet im Januar 1913 mit rein atmosphären-physikalischer Ausrichtung durch Vilhelm BJERKNES, zu Doktorinnen der Philosophie promoviert wurden: Marie DIETSCH (1918; nn=571894402) und Luise LAMMERT (1919; nn=364967218).

Als weitere Stützstellen der Zeitreihe über ein volles Jahrhundert wurden gewählt: Katharina DÖRFFEL (1935, Univ. Leipzig; verheiratete LETTAU; nn=363921621), Karin LABITZKE (1962, FU Berlin; nn=452668190), Gisela HARTJENSTEIN (1977, Univ. München; nn=790665089), Katja FRIEDRICH (2002, Univ. München; nn=964987481) und Linda SCHNEIDER (2018, Univ. Karlsruhe [KIT]; Projekt im SFB „Waves to Weather“, Dissertation eingereicht, Verteidigung im Dez.). Genaue Referenzen findet man bei der Deutschen Nationalbibliothek via <http://d-nb.info/<nn>>.

Die Darstellung (Vortrag bevorzugt) erläutert kurz die Themenstellung der ausgewählten Arbeiten von Datenanalysen, Geräteentwicklung, Studien mit numerischen Modellen und der Entwicklung komplexer Retrieval-Techniken. Sie zeigt eine durchlaufende Tradition von Frauenförderung an meteorologischen Instituten in Deutschland lange bevor dieser Begriff Allgemeingut wurde. Ganz nebenbei widerlegt sie die öfters verbreitete Aussage, dass Joanne Malkus Simpson mit einer Dissertation 1949 bei Herbert Riehl an der University of Chicago, die „weltweit“ erste promovierte Meteorologin gewesen sei (vgl. [https://de.wikipedia.org/wiki/Joanne\\_Malkus\\_Simpson](https://de.wikipedia.org/wiki/Joanne_Malkus_Simpson)).

## **EPISODES - eine Empirisch-Statistische Downscaling Methode für Klimaprojektionen und -vorhersagen**

Philip Lorenz and Frank Kreienkamp

Deutscher Wetterdienst, Abt. Klima- und Umweltberatung, Stahnsdorf, Germany (philip.lorenz@dwd.de)

EPISODES ist eine empirisch-statistische Methode zum Downscaling (ESD), die in den letzten Jahren am DWD entwickelt worden ist (<http://www.dwd.de/episodes>). EPISODES realisiert das Downscaling von Modellsimulationen von globalen Klimamodellen (GCMs) mit einem Zwei-Schritt Verfahren: im ersten Schritt werden mit einer Analogmethode, die auf dem „Perfect-Prog“-Ansatz beruht, durch lineare Regression Zwischenergebnisse berechnet. Im zweiten Schritt werden synthetische lokale Zeitreihen in täglicher Auflösung erzeugt, die räumlich und intervariabel konsistent sind. EPISODES ist eine vergleichsweise einfache Methode, die relativ wenig Rechenzeit benötigt. Dadurch können große Ensembles mit vielen Mitgliedern bearbeitet werden.

Eine Auswahl von 35 CMIP5 GCM Projektionen wurden für den Zeitraum 1950 – 2100 für das Gebiet Deutschland mit EPISODES bearbeitet. Das Zielgitter entsprach hierbei der feinen EURO-CORDEX Auflösung von  $0,11^\circ$  ( $\sim 12$  km). EPISODES nutzte hierbei die DWD-Beobachtungsdatensätze HYRAS und TRY, welche ebenfalls auf dem Zielgitter aggregiert vorlagen.

Evaluationsexperimente zeigen zufriedenstellende Übereinstimmungen zwischen verschiedenen EPISODES Ergebnissen und Beobachtungen. Zum Beispiel ist der auf einzelne Gitterzellen bezogene Bias der mittleren Jahreswerte kleiner als  $0,1^\circ\text{C}$  für Temperatur, und kleiner als 10 % für Niederschlag.

Vergleiche der aus den EPISODES Ergebnissen abgeleiteten Klimaänderungssignale mit anderen Downscalingmethoden, wie zum Beispiel regionalen Klimamodellen (RCMs), zeigen insgesamt eine hohe Übereinstimmung.

In der Präsentation wird die EPISODES-Methodik zusammen mit Evaluationsergebnissen kurz vorgestellt. Außerdem werden die mit EPISODES erzielten Klimaänderungssignale für 35 bearbeitete CMIP5 Projektionen in das Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland (ReKliEs-De) eingeordnet und mit diesem verglichen. Weitere Anwendungen von EPISODES für saisonale Klimavorhersagen werden vorgestellt.

Referenz:

Kreienkamp, F., Paxian, A., Früh, B., Lorenz, P., Matulla, C. 2018: Evaluation of the Empirical-Statistical Downscaling method EPISODES, *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4276-2>

## Werden plötzliche Stratosphärenwärmungen durch verstärkte vertikale Wellenflüsse aus der Troposphäre erzeugt?

Thomas Birner (1,4), John Albers (2), Alvaro de la Cámara (3), and Hella Garny (4)

(1) Ludwig-Maximilians-University Munich, Meteorologisches Institut, München, Germany (thomas.birner@lmu.de), (2) Cooperative Institute for Research in the Environmental Sciences, University of Colorado Boulder, Boulder, CO, USA, (3) Dept. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Spain, (4) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Germany

Plötzliche Stratosphärenwärmungen sind ein Beispiel von starken beidseitigen Wechselwirkungen zwischen aufwärts propagierenden planetaren Wellen und der stratosphärischen Grundströmung. Die Bedeutung von genügend starken vertikalen Flüssen von Wellenaktivität aus der Troposphäre sowie des vorausgehenden Zustands der stratosphärischen Zirkulation für die Erzeugung solcher Ereignisse ist lange bekannt. Basierend auf idealisierten numerischen Simulationen haben frühere Forschungsarbeiten nahegelegt, dass der Zustand der Stratosphäre einen größeren Einfluss auf die Erzeugung von plötzlichen Stratosphärenwärmungen haben kann, als erhöhte vertikale Wellenflüsse aus der Troposphäre. Andere Studien haben die Rolle von troposphärischen Vorbotenereignissen hervorgehoben.

Hier wird die Sensitivität von plötzlichen Stratosphärenwärmungen auf den vorhergehenden Zustand der Stratosphäre analysiert. Hierzu wurden spezifisch konstruierte Simulationen solcher Ereignisse mit einem Klimamodell durchgeführt. Es wird gezeigt, dass eine gegebene, mit dem Ereignis gleichzeitig stattfindende, troposphärische Entwicklung das Auftreten des Ereignisses nicht eindeutig bestimmt. Der vorhergehende Zustand der stratosphärischen Zirkulation ist maßgeblich an der Entwicklung hin zu einer plötzlichen Stratosphärenwärmung beteiligt, selbst wenn der troposphärische Ablauf in den Simulationen fest vorgeschrieben wird.

Außerdem werden Ereignisse starker Abbremsung der stratosphärischen Grundströmung (plötzliche Stratosphärenwärmungen sind davon eine Untermenge) Ereignissen von stark erhöhten vertikalen Wellenflüssen aus der unteren Troposphäre gegenüber gestellt. Obwohl die Wellenflüsse, die zu den stratosphärischen Extremereignissen führen, letztendlich in der unteren Troposphäre entstehen, sind die anomal verstärkten Wellenflüsse oft auf die Stratosphäre beschränkt. Die entscheidenden dynamischen Vorgänge zur Erzeugung von stratosphärischen Extremereignissen scheinen innerhalb einer “Kommunikationsschicht” direkt oberhalb der Tropopause stattzufinden. Anomal erhöhte vertikale Wellenflüsse aus der unteren Troposphäre scheinen dagegen nur für wenige stratosphärische Extremereignisse eine Rolle zu spielen.

## Mikrowellenbasierte Fernerkundung für den Flugbetrieb

Harald Czekala, Gerrit Maschwitz, Emiliano Orlandi, and Thomas Rose  
RPG Radiometer Physics GmbH, Meckenheim, Germany

Für einen sicheren Flugbetrieb ist die genaue Kenntnis der lokalen meteorologischen Variablen von großer Bedeutung. Die moderner Fernerkundung mit Mikrowellentechnologie kann dabei einen wertvollen Beitrag leisten, indem sie eine allwettertaugliche Erfassung wichtiger Informationen auch bei Wolken und Regen ermöglicht. Der grundsätzliche Vorteil der Mikrowellen besteht in der Fähigkeit, gerade durch Wolken und Niederschlag hindurch blicken zu können, womit sich diese (aktiven und passiven) Verfahren prinzipiell von Laser-basierten optischen Systemen unterscheiden.

Die passiven Mikrowellenradiometer zur Bestimmung der vertikalen Verteilung von Wasserdampf und Temperatur erlauben eine sehr präzise und schnelle Erfassung gerade der unteren Atmosphäre. Die tiefliegenden Temperaturinversionen („Low Level Temperature Inversions“, LLTI) sind dabei von großem Interesse für den Flugbetrieb: Die Bildung von Nebel, starke Konvektion, das Verhalten von Wirbelschleppen oder das Auftreten von Windscherungen werden vom Verlauf der Temperatur im untersten Kilometer der Atmosphäre beeinflusst.

Noch wichtiger ist das Auftreten von LLTI allerdings für die Performance-Kalkulation, bei der die von der Temperatur direkt abhängende Luftdichte ein wichtiger Eingabeparameter zur Errechnung der kritischen Startgeschwindigkeiten ist. Üblicherweise wird hier nur mit dem Bodenwert der 2-m Temperatur gearbeitet, so dass für alle eventuell auftretenden Inversionen in der Startphase Sicherheitsmargen berücksichtigt werden müssen. Mit einem Mikrowellenradiometer können Inversionen unterhalb von einem Kilometer sehr gut detektiert werden und somit in die Start- oder Landevorbereitungen mit einbezogen werden. Im Gegensatz zu Wetterballons sind die Radiometer störungsfrei für den Flugbetrieb, andauernd verfügbar und kostengünstiger.

Weiterhin spielen Wolken allein wegen der Sichteinschränkung, aber auch aufgrund ihrer internen Dynamik und des Niederschlages eine wichtige Rolle für den Flugbetrieb. Moderne Wolkenradargeräte arbeiten mit kleinen Leistungen (1,5 Watt) und hohen Frequenzen (94 GHz) und erreichen damit durch Wolken und Regen hindurch eine Detektion bis 16 km Radial-Abstand. Durch die hohe Frequenz ergibt sich durch Doppler-Auswertung und Doppelpolarisationstechniken eine sehr zuverlässige Klassifikation der Wolken und Niederschlagspartikel nach Größenspektrum, Phase und Typen.

Im Gegensatz zur Lidar-Messungen lassen sich beliebig viele Wolkenschichten erfassen und ihre internen mikrophysikalischen Prozesse beurteilen. Die Kenntnis über Hagel, unterkühltes Wasser und die Ausdehnung von Wolken insgesamt ist ebenso von Interesse wie die ebenfalls mögliche Bestimmung von Windstärke und Richtung in alle Schichten mit Rückstreuung. Das Wolkenradar liefert die Windinformationen auch und vor allem in solchen Situationen, in denen scannende Wind-Lidar-Systeme durch die Streuung an Wolken- und Regentropfen in ihren Fähigkeiten beschränkt werden.

## **Co-Design von Klimafolgenkarten für österreichische Regionen - Ergebnisse und Anwendungsbeispiele aus dem Projekt CLIMA-MAP**

Benedikt Becsi (1), Daniela Hohenwallner-Ries (2), and the CLIMA-MAP project team

(1) University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Institute of Meteorology, Department of Water-Atmosphere-Environment, Austria (benedikt.becsi@boku.ac.at), (2) alpS GmbH

Effektive Anpassung an den Klimawandel erfordert lokale, sektorspezifische, und vor allem für Entscheidungsstragende nutzbare Informationen über die erwarteten Auswirkungen der Veränderung. Das Projekt CLIMA-MAP hatte den Anspruch, die Brücke zwischen den state-of-the-art Klimaszenarien, die für Österreich verfügbar sind, und den realen Anforderungen der AkteurInnen in der regionalen und lokalen Anpassung an den Klimawandel herzustellen. Im Co-Design mit den potentiellen NutzerInnen wurden Klimafolgenkarten entwickelt, welche die verschiedenen Gesichter der Klimaänderung in Form von sektorspezifischen Indikatoren übersichtlich darstellen. Dabei wurden einerseits kommunikationstheoretische Erkenntnisse über das Verständnis und die Vermittelbarkeit von Klimakarten gewonnen, andererseits ein umfassender Datensatz generiert, der Interessierten, BeraterInnen und natürlich der Forschungscommunity frei zur Verfügung steht.

Die Nutzbarkeit der Karten wurde anhand von Befragungen mit potentiellen AnwenderInnen (z.B. GemeindeberaterInnen, ExpertInnen der Landesverwaltungen) und ExpertInnen für Klimakommunikation erhoben. Dabei wurde das Verständnis der Karten getestet, aber auch die ästhetische Präferenz sowie die Eignung zur Weitervermittlung der Klimainformation bewertet. Es zeigt sich eine hohe Übereinstimmung zwischen den Kartendarstellungen, die gut verstanden werden, und jenen, die für eine Weitervermittlung als geeignet empfunden werden. Aufbauend auf den Ergebnissen dieses kooperativen Prozesses wurde ein Set aus drei nach Detailliertheitsgrad gegliederten Karten gewählt. So kann die zur jeweiligen Anwendung passende Karte gewählt und bei Bedarf mit zusätzlichen Details unterfüttert werden.

Seit Projektabschluss wurden die Karten für zahlreiche Beratungs- und Bewusstseinsbildungsaktivitäten eingesetzt, unter anderem bei Gemeindeforschungen in den Bundesländern Tirol und Salzburg, deren TeilnehmerInnen sich aus unterschiedlichsten Bereichen (z. B. BürgermeisterInnen, VertreterInnen von Vereinen, der Feuerwehr, WaldaufseherInnen, WassermeisterInnen oder der Verwaltung) zusammensetzten. Basierend auf dem Kartenmaterial, aber auch auf Ergebnissen der Anpassungsstrategien von Tirol und Salzburg, wurde eine Risiko- und Klimafolgenanalyse auf lokaler Ebene durchgeführt. Einige der Landesverwaltungen arbeiten zudem daran, die Karten in die GIS-Systeme ihres Bundeslandes einzubinden.

Diese praktischen Anwendungen demonstrieren das Potential von gemeinsam mit NutzerInnen entwickelten Karten für die Kommunikation von Klimafolgen auf lokaler Ebene. Eine weitere wesentliche Erkenntnis aus der Arbeit mit den Gemeinden ist jedoch, dass laufende zusätzliche Beratung ein Schlüsselfaktor dafür ist, dass die Inhalte der Karten auch in wirksame Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (und ebenso zum Klimaschutz) übersetzt werden.



## **Modellierung von regionalen CH<sub>4</sub> Emissionen aus Kohleminen in Oberschlesien mit MECO(n).**

Anna-Leah Nickl (1), Mariano Mertens (1), Anke Roiger (1), Andreas Fix (1), Axel Amediek (1), Alina Fiehn (1), Christoph Gerbig (2), Michal Galkowski (2), Astrid Kerkweg (3), and Patrick Jöckel (1)

(1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Germany, (2) Max Planck Institut für Biogeochemie, Jena, Germany, (3) Meteorologisches Institut, Universität Bonn, Germany

Methan gehört neben Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf zu den wichtigsten Treibhausgasen. Die Methankonzentration in der Atmosphäre ist in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen und hat sich seit Beginn der Industrialisierung mehr als verdoppelt. Der globale mittlere Anstieg beträgt seit 2007 ca. 6 ppb/Jahr. Neben natürlichen Quellen kann dieser auch menschlichen Tätigkeiten, wie zum Beispiel dem Verbrauch fossiler Brennstoffe oder landwirtschaftlichen Aktivitäten, zugeschrieben werden. Fast 60 % der globalen Methanemissionen stammen geschätzt aus anthropogenen Quellen. Quantitative Aussagen zu spezifischen Methanquellen und -senken sind jedoch zum heutigen Zeitpunkt immer noch mit vielen Ungenauigkeiten behaftet. Zur Reduzierung dieser Unsicherheiten ist es vor allem wichtig genaue Messungen durchzuführen. Die CoMet 1.0 Kampagne (Mai - Juni 2018) kombiniert flugzeuggetragene und bodengestützte in-situ Messungen, sowie passive und aktive Fernerkundung. Die Kampagne fand in Oberschlesien (Upper Silesian Coal Basin (USCB)) statt, wo aufgrund von Steinkohleförderung jährlich mehrere hundert kt Methan emittiert werden. Zur Unterstützung der Flug- und Messplanung wurden für den gesamten Kampagnenzeitraum Vorhersagen bereitgestellt. Dafür haben wir das globale/regionale online gekoppelte dreifach "nested" Klima-Chemie-Modell System MECO(n) verwendet. Drei COSMO/MESSy Instanzen werden hierbei bis zu einer räumlichen Auflösung von 2,8 km über Polen ineinander verschachtelt. Erste Vergleiche von Modellergebnissen und Beobachtungen zeigen, dass das Modell in der Lage ist die Methanverteilung räumlich und zeitlich gut vorherzusagen.

## **From correlation to causality: Investigating a QBO teleconnection with causal effect networks**

Verena Schenzinger (1), Jakob Runge (2), Lesley Gray (3), and Scott Osprey (3)

(1) University of Vienna, Meteorology & Geophysics, Austria, (2) DLR Institute of Data Science, Climate Informatics Group, Jena, Germany, (3) Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, University of Oxford, UK

The Quasi-Biennial Oscillation (QBO) in the equatorial stratosphere is thought to influence the Northern Hemisphere winter stratospheric vortex, and in extension, the North Atlantic Oscillation. However, most studies investigating this phenomenon, also known as the Holton-Tan effect, use correlation or composite analysis, which cannot distinguish between causes and consequences, nor whether there is a third process acting as common driver.

A new method based on graphical networks and information theory promises to separate driving and driven processes and hence is applied to investigate the teleconnection between the QBO and the Northern Hemisphere winter circulation.

This approach has already been successfully implemented in a study investigating Arctic drivers of the NAO, which vary on a daily-weekly timescale (Kretschmer et al. 2016); looking at the Quasi-Biennial Oscillation as another possible driver extends the view to the tropical stratosphere, and longer timescales (months compared to weeks). Influences confounding the QBO-Vortex interaction, such as the El Niño Southern Oscillation, varying solar irradiance, and volcanic eruptions can easily be accounted for with this framework. Furthermore, potential interaction routes (via troposphere/stratosphere/both) and their relative importance can be analysed.

As the QBO has a long intrinsic period of about 28 months, medium range weather forecast of the European winter weather could be improved by a more accurate understanding of this long-range interaction.

## **Untersuchung atmosphärischer Prozesse in orographisch gegliedertem Gelände mit hochaufgelösten, genesteten WRF Simulationen: Beispiele ausgewählter Fälle**

Hans-Stefan Bauer, Shavan Muppa, Florian Späth, Andreas Behrendt, and Volker Wulfmeyer  
Universität Hohenheim, Institut für Physik und Meteorologie, Stuttgart, Deutschland (hans-stefan.bauer@uni-hohenheim.de)

Numerische Modelle werden schon lange als Werkzeuge verwendet um atmosphärische Prozesse und ihre Entwicklung besser zu verstehen. Dabei wurden in den letzten Jahren Simulationen mit immer feinerer Gitterweite und verbesserter Modellphysik verwendet um immer detailliertere Phänomene zu simulieren.

Zur Verbesserung des Prozessverständnisses und zur Evaluierung der Modellsimulation wird das Weather Research and Forecasting (WRF) Modell in einer genesteten Konfiguration mit Gitterweiten von der Mesoskala bei 2500 m bis hinunter zu 100 m oder weniger verwendet. In der inneren Domäne wird das WRF dabei im „Large-Eddy“-Simulations-Modus betreiben. Dabei wird die auf der Mesoskala notwendige Parametrisierung der Turbulenz abgeschaltet und nur noch die kleinsten auftretenden turbulenten Wirbel parametrisiert. Eine solche genestete Simulation erlaubt, im Gegensatz zu traditionellen „Large-Eddy“-Simulationen mit periodischen Randbedingungen, die Untersuchung realer Fälle mit einer realistischen unteren Randbedingung, angetrieben durch die meteorologische Analyse des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersage (EZMW).

Als Fallstudien werden die Entwicklung der konvektiven Grenzschicht an einem wolkenfreien Tag und der Lebenszyklus einer kräftigen Gewitterzelle über Südwestdeutschland am 30.06.2012 dargestellt um das Potential der verwendeten Modellkette zu demonstrieren.

Die Ergebnisse sind für beide Phänomene sehr vielversprechend. Die interne Struktur und die zeitliche Entwicklung der Turbulenz in der konvektiven Grenzschicht werden realistisch simuliert. Vergleiche mit Lidar Beobachtungen zeigen, dass auch die beobachtete Turbulenzstatistik wiedergegeben wird. Die Struktur und die zeitliche Entwicklung der Gewitterzelle werden ebenfalls realistisch simuliert.



## Lokale Verbesserungen der Heliosat-Methode durch Ceilometer-Messungen

Norman Noske (1), Annette Hammer (1), and Thomas Schmidt (2)

(1) Institut für Physik AG Energiemeteorologie, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Deutschland, (2) DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme e.V., Oldenburg, Deutschland

Mit dem immer weiter fortschreitenden Ausbau der Photovoltaik steigt auch das Interesse an flächendeckenden Daten für die Solarstrahlung. Diese werden vor allem für Planung, Vorhersagen und zur Überwachung der Anlagen benötigt. Als Alternative zu der relativ geringen Zahl von Bodenmessungen, die zudem kosten- und wartungsinintensiv sind, hat sich die Berechnung der Solarstrahlung aus Satellitenbildern etabliert. Eines der dafür gängigen Verfahren ist die Heliosat-Methode, welche Cloud-Index-Bilder in Kombination mit einem geeigneten Clearsky-Modell zur Berechnung der Global- und Diffusstrahlung verwendet. Bei der Berechnung der Globalstrahlung ist eine Korrektur für die geometrische Anordnung von Satellit, Sonne und Wolken notwendig. Bei dieser wird ausgehend von der Position der Wolke die räumliche Verschiebung des Schattenwurfs am Boden berechnet. Die Verschiebung hängt maßgeblich von der geographischen Lage, dem Sonnenstand und der Wolkenhöhe über dem Boden ab. Ungenauigkeiten entstehen insbesondere durch Fehler in der Bestimmung der Wolkenhöhe. Somit ist die Kenntnis über die konkrete Wolkenhöhe von großer Bedeutung für eine möglichst genaue Berechnung der Globalstrahlung. In vielen Fällen werden Wolkenhöhen aus statistischen Modellen verwendet. Im Gegensatz dazu wird in dieser Arbeit der Einfluss von Ceilometer-Messungen und deren direkte Anwendung für die geometrische Korrektur untersucht. Dafür werden Zeitreihen der Mehrschicht-Höhenmessungen am Standort Oldenburg mit unterschiedlichen Abtastverfahren in verschiedenen Zeitfenstern verarbeitet und die obere Einhüllende extrahiert. Diese Daten werden dann in die Berechnung der Globalstrahlung für diesen Standort eingearbeitet. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die Wolkenhöhe sich in einem Zeitraum von 30 Minuten, aufgrund des nahezu gleichen Höhenprofils in der Region Nordwestdeutschland nicht wesentlich ändert. Die Ergebnisse werden zur Analyse mit Pyranometerdaten aus Oldenburg verglichen. Die Auswertung der Daten zeigt im Messzeitraum von April 2018 bis einschließlich August 2018 für alle getesteten Verfahren eine Reduzierung des RMSE relativ zur bisherigen Strahlungsberechnung. Das beste Verfahren liefert gegenwärtig (Stand 02.11.2018) für den Messzeitraum eine Reduzierung des RMSE von 3.4% relativ zur Referenzrechnung. Die Arbeit zeigt eine generelle Verbesserung der lokalen Globalstrahlungswerte durch die Anwendung von Ceilometer-Messungen im Vergleich zu statistischen Höhenmodellen.

## **LiDAR-Korrektur in komplexem Gelände mittels FITNAH-3D**

Linda Voß, Johannes Becker, and Christian Wetzel  
GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Germany (voss@geo-net.de)

Im Bereich der Windenergie ist die Genauigkeit von Messungen von großer Bedeutung. Kleine Unterschiede in der für einen Windenergieanlagen-Standort prognostizierten Windgeschwindigkeit oder eine hohe Unsicherheit der Ergebnisse können darüber entscheiden ob ein Projekt wirtschaftlich ist oder nicht realisiert werden kann. Durch ihre kleine, portable Größe und Messhöhen bis über 200 m werden zunehmend Doppler-LiDAR-Geräte für die Bestimmung der Windverhältnisse an einem potentiellen Standort eingesetzt. Viele Standorte mit aussichtsreichen Windbedingungen befinden sich allerdings in komplexem Gelände, sodass die Annahme von homogenen Strömungsbedingungen innerhalb des Messvolumens verletzt wird. Der dadurch entstehende Fehler kann bestimmt und korrigiert werden, wenn die Strömungsverhältnisse bekannt sind. Hierfür lässt sich ein Strömungsmodell wie beispielsweise FITNAH-3D einsetzen.

Neben dem Verfahren für die Bestimmung und Korrektur des Geländefehlers mittels des Strömungsmodells FITNAH-3D liegt der Fokus auf der Validierung des Verfahrens. Diese erfolgt anhand von kalibrierten Anemometer-Messungen an typischen Mittelgebirgsstandorten zu denen parallele LiDAR-Messungen durchgeführt wurden. Verglichen werden die Mast-Messungen sowohl mit den unkorrigierten LiDAR-Messungen als auch mit den, über richtungsabhängige Korrekturfaktoren, korrigierten LiDAR-Messungen. An allen analysierten Standorten führt die Anwendung der Korrektur zu einer Verringerung der Differenz zwischen Mast- und LiDAR-Messung und damit zu einer Verringerung der Unsicherheit der LiDAR-Messung. Dies zeigt, dass bei Verwendung der dargestellten Geländefehlerkorrektur Messungen mit LiDAR-Geräten auch in komplexem Gelände möglich sind.



## **Klimawandel und regionale Landwirtschaft - ein Projektbericht**

Andreas Gericke (1), Marisa Matranga (1), and Peter Carl (2)

(1) Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin, Germany, (2) ASWEX - Applied Water Research, Climate Dynamics & Signal Analysis Project, Berlin, Germany (pcarl@aswex.de)

Das vom BMU geförderte Projekt B.A.U.M ("Klimawandel und Wetteranomalien: Bewertung von Agrar-Umwelt-Maßnahmen", 10/2015-06/2018) arbeitete an der Schnittstelle von Landwirtschaft und Gewässerökologie in zwei Brandenburger Landkreisen (Oder-Spree und Havelland), um den Einfluß von Veränderungen im Klimasystem in der Region zu erfassen und die Reaktion der Akteure vor Ort (Landwirte, Verwaltungen etc.) kennen zu lernen, zu analysieren und zu unterstützen. Aus klimatischer Sicht waren die landwirtschaftlich unmittelbar wichtige intrasaisonale und die dekadische Zeitskala Gegenstand von Datenanalysen und Prognoseversuchen anhand der Beobachtung. Ergebnisse regionaler Klimamodelle wurden für die längerfristige Perspektive bis Mitte des Jahrhunderts ausgewertet, die eher für Verwaltungen und Politik von Interesse ist.

Intrasaisonal wurde das Konzept einer teilweisen tropisch-subtropischen Steuerung des Regionalklimas anhand von Stationsdaten auf seine Tragfähigkeit hin untersucht und für relevant befunden. Auf dekadischer Zeitskala wurden überregionale dynamische Strukturen in CRU-Daten erkundet, um ein vierdimensionales Bild dieser Vorgänge zu erhalten (hemisphärische Temperaturen und dynamische Indices NAO, SO). Einflüsse auf Faktoren wie Boden-erosion und Gewässerqualität wurden aus Klimamodelldaten abgeleitet. Mit ökologisch-hydrologischen Modellen wurde schließlich der Effekt von Agrar-Umwelt-Maßnahmen unter verschiedenen Szenarien untersucht, um deren Potential für die Klima-Anpassung zu bewerten. Methodisch bietet der Beitrag neben profunden Zeitreihenanalysen u.a. eine iterative Hauptkomponentenanalyse, um raum-zeitliche Muster in regionalen Klimadaten möglichst klar heraus zu präparieren und die 'niederfrequenten' intrasaisonalen Moden mit interessantem Prognosepotential zu isolieren.



## **Flex\_extract: Aufbereitung meteorologischer Daten des ECMWF zur Verwendung als Eingabedaten im atmosphärischen Transport Model FLEXPART**

Anne Philipp (1,2), Leopold Haimberger (1), and Petra Seibert (3)

(1) Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien, Wien, Österreich, (2) Aerosolphysik & Umweltphysik, Universität Wien, Wien, Österreich, (3) Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich

Flex\_extract ist eine Software die meteorologische Felder aus dem MARS Archiv des European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) extrahiert und für die Nutzung als Eingabedaten des atmosphärischen Transportmodellierungssystems FLEXTRA / FLEXPART aufbereitet. Die Eingabedaten beschreiben die für die Transportsimulation relevanten Aspekte des Zustands der Atmosphäre. Flex\_extract nutzt sogenannte "Control"-Dateien, um die Rahmenbedingungen für die zu extrahierenden Daten festzulegen und daraus entsprechende "MARS requests" zu erstellen. Diese folgen einer ECMWF-eigenen Syntax und unterliegen Zeit- sowie Datenmengenlimits. Flex\_extract teilt deshalb selbstständig die angeforderten Daten in kleinere Portionen auf und fügt anschließend jeweils alle Felder zusammen, die in eine der FLEXPART Eingabedateien (Dateinamen <prefixYYMMDDHH). Dabei kann "prefix" frei gewählt werden. Eine weitere Besonderheit sind die Flussdaten wie Niederschlag und Oberflächenflüsse, die nur akkumuliert und als Vorhersagedaten im Archiv gespeichert sind und eine gesonderte Behandlung zur Deakkumulation und Disaggregation auf das zu verwendende Gitter erfordern.

Flex\_extract wurde ursprünglich 2003 entwickelt und seitdem immer wieder an die Entwicklung des ECMWF-Modellsystems (Verbesserung der vertikalen, horizontalen und zeitlichen Auflösung, neue meteorologische Felder, neue Reanalysen, etc.) und die Bedürfnisse der FLEXPART-Nutzergemeinschaft angepasst.

Flex\_extract kann als lokale Version (direkt auf eigenem Computer/Server), Gateway Version (Jobskript wird von lokalem Computer an die ECMWF Server geschickt) oder als Remote Version (wird direkt auf den ECMWF-Servern betrieben) genutzt werden. Bis vor kurzem war die Verwendung nur autorisierten Nutzern aus Mitgliedsstaaten vorbehalten, die über einen Zugang über den nationalen Wetterdienst bzw. ein "special project" verfügen. Mit der neuen Version wird nun die Extraktion von öffentlichen Reanalysedaten für nicht autorisierte Nutzer über den vom ECMWF neu eingerichteten öffentlichen Zugang zu MARS über ein python-framework ermöglicht. Zeitgleich wurde die Liste der möglichen Datensätze zur Extraktion um CERA und ERA5 Reanalyse Daten ergänzt.

Durch die Vielfalt der verfügbaren Datensätze und deren unterschiedliche Zusammensetzung aus Vorhersage- und Analysedaten sowie den verschiedenen verfügbaren meteorologischen Feldern und Auflösungen sind die Kombinationsmöglichkeiten zur Extraktion zu vielfältig für eine vollständige Abdeckung mit Flex\_extract.

Um Flex\_extract noch anwendungsfreundlicher zu machen und mehr Datensätze extrahieren zu können wurde eine umfassende Sanierung der Software vorgenommen. Die neue Version 7.1 beruht überwiegend auf Python2, mit einer Komponente in Fortran. Sie wurde durch ein umfassendes Code Review, eine ausführliche Code-Dokumentation und eine grundlegende Testumgebung, basierend auf Unit Tests, Integrationstests, Abnahmetests und spezifischen Regressionstest relativ zur vorherigen Version, evaluiert. Eine umfassende Dokumentation von Flex\_extract wurde erstellt und ist über die FLEXPART community Webseite <https://www.flexpart.eu> unter dem Link "FLEXPART input data" erreichbar.

Im Download-Bereich der Webseite kann ein tarball der Software heruntergeladen werden, und unter "Browse source" kann das git-Repository zu Flex\_extract eingesehen werden.

## Wechselwirkungen zwischen Bodenfeuchteanomalien auf verschiedenen Skalen und der Dynamik der unteren Troposphäre

Florian Baur, Christian Keil, and George C. Craig

Ludwig-Maximilians-University Munich, Meteorological Institute, Bruckmühl, Germany (florian.baur@lmu.de)

In hochauflösenden, Ensemble basierten Vorhersagesystemen werden bereits verschiedene Unsicherheiten berücksichtigt. Nichtsdestotrotz befindet sich die Forschung zu Unsicherheiten in den unteren Randbedingungen noch in den Kinderschuhen. Sowohl die gegensätzlichen Vorzeichen in der Koppelung von Bodenfeuchte und Atmosphäre, als auch deren Skalenabhängigkeit sind komplexe Aspekte der Boden Atmosphäre Interaktion. Diese Studie untersucht den kombinierten Einfluss von Bodenfeuchteheterogenität und -bias auf die Niederschlagsvorhersage in realen Szenarien über Zentraleuropa.

Wir nutzen das Model des „Consortium for Small-scale Modeling“ (COSMO, DWD) mit einer Auflösung von 2.8km in dieser Studie und betrachten diverse Fallstudien mit konvektivem Niederschlag bei schwachem synoptischen Antrieb. Unter solchen synoptischen Bedingungen stellt die Bodenfeuchte Atmosphäre Interaktion einen wichtigen Einflussfaktor für die Grenzschicht dar. Wir untersuchen diesen Einfluss mittels expliziten Störungen der Bodenfeuchte auf verschiedenen Skalen. Dabei wurde auf die Anfangsbedingungen eine schachbrettartige Störung mit Längenskalen zwischen 30 und 110km und mit einem Bias von  $\pm 25\%$  überlagert.

Unsere Experimente in synoptisch schwach angetriebenen Wettersituationen zeigen eine positive Korrelation zwischen einem Bias in der Bodenfeuchte und dem mittleren Niederschlag in der Modelldomäne. Im Gegensatz dazu fanden wir lokal eine negative Koppelung zwischen Bodenfeuchte und Niederschlag. Insbesondere kommt es dabei über trockenen Feldern des Schachbrettes zu reduziertem Niederschlag. Diese negative räumliche Koppelung kann auf die Interaktion zwischen thermisch induzierten Zirkulationen und dem mittleren Wind in der mittleren Troposphäre zurückgeführt werden. Somit bildet sich ein persistenter Aufwind nahe den stromabwärtigen Seiten trockener Felder. Diese verstärkte Zirkulationszellen zeigen sich am besten bei Schachbrettgrößen zwischen 50 und 80km und führen zu einer präferierten Auslösung von Konvektion. Bei anderen Skalen ist diese räumliche Überlagerung weniger dominant.



## Satelliten-basierte Klimadaten der Globalstrahlung und der Sonnenscheindauer

Jörg Trentmann, Uwe Pfeifroth, and Steffen Kothe

Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach, Germany (joerg.trentmann@dwd.de)

Daten meteorologischer Satelliten (geostationäre und polar-umlaufende) stehen seit Beginn der 1980er Jahre zur Verfügung; die Auswertung dieser Roh-Daten erlaubt somit die Erstellung von Klimadaten geophysikalischer Parameter. Allerdings erschwert die limitierte spektrale Information, die die ersten Satellitengenerationen erfasst haben, die Nutzung von Ableitungsverfahren, die auf heutigen Satelliteninstrumenten mit deutlich mehr spektralen Informationen beruhen. Statt dessen ist es notwendig, adäquate Ableitungsverfahren zu entwickeln und anzuwenden.

Die EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) erstellt und verbreitet satelliten-basierte Klimadatensätze unterschiedlicher geophysikalischer Variablen. Dazu zählen u.a., Wolken, die Strahlung am Oberrand der Atmosphäre sowie am Erdboden, der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre und die Bodentemperatur. Alle Datensätze des CM SAF sind kostenlos im netcdf-Format verfügbar ([www.cmsaf.eu](http://www.cmsaf.eu)).

In dieser Präsentation werden zwei Datensätze der bodennahen Strahlung näher vorgestellt. Der SARAH Datensatz (10.5676/EUM\_SAF\_CM/SARAH/V002) basiert auf Messungen der Meteosat Satelliten und umfasst die bodennahe solare Strahlung (global und direkt) sowie die Sonnenscheindauer in hoher zeitlicher (30-min, täglich, monatlich) und räumlicher ( $0.05^\circ$ ) Auflösung. Aufgrund des Blickwinkels der Satelliteninstrumente liegen diese Daten nur für Europa, Afrika und Teile Südamerikas vor. Der globale CLARA Datensatz (10.5676/EUM\_SAF\_CM/CLARA\_AVHRR/V002) der Globalstrahlung basiert auf Messungen polar-umlaufender Satelliten; aufgrund der geringeren Beobachtungsfrequenz ist die zeitliche (täglich, monatlich) und räumliche ( $0.25^\circ$ ) Auflösung gegenüber dem SARAH Datensatz etwas reduziert.

Hier werden die beiden Datensätze sowie unterschiedliche klimatologische Anwendungen vorgestellt.

## **Bestimmung der Grenzschichthöhe mit Unbemannten Luftfahrtsystemen und Ceilometer**

Johanna Redelstein, Erik Petersen, and Andreas Philipp

University of Augsburg, Institute of Geography, physical geography, Augsburg, Germany  
(johanna.redelstein@geo.uni-augsburg.de)

Als Wechselwirkungsschicht zwischen Freier Atmosphäre und Erdoberfläche ist die Grenzschicht bedeutsam für die Lufthygiene. Luftschadstoffe, die in Bodennähe emittiert werden, bleiben in der Grenzschicht gefangen, da der Austausch mit der freien Atmosphäre sehr gering ist. So nimmt die Feinstaubkonzentration bei Abnahme der Grenzschichthöhe und ohne turbulenten Austausch mit der freien Atmosphäre zu.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten Projektes Smart Air Quality Network (SmartAQnet) wird ein Messnetz zur Untersuchung der Luftqualität in Augsburg aufgebaut. Neben stationären Messungen werden auch mobile Messungen mit Fahrrädern und Unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) durchgeführt, sowie Fernerkundungsmessgeräte wie Ceilometer und SODAR-RASS eingesetzt. Täglich wird morgens bei geeignetem Wetter ein Aufstieg bis in eine Höhe von 500 m mit einem UAS auf dem Sportgelände der Universität Augsburg durchgeführt. Hierbei werden vertikale Profile von Temperatur, Feuchte (SHT75), Wind und Feinstaub (Alphasense OPC-N2) gemessen. Ein Ceilometer (CI51, Vaisala) wird in direkter Nähe des Sportplatzes betrieben.

Die Grenzschichthöhe kann mithilfe verschiedener Methoden bestimmt werden. Beispielsweise über ein Temperaturprofil oder auch mit optische Verfahren. Hierzu gibt es schon Vergleiche zwischen Radiosondenaufstiegen und Ceilometer Messungen. Oftmals befinden sich Radiosonden aber nicht in unmittelbarer Nähe zu Ceilometern. In dieser Ausarbeitung werden Vergleiche zwischen der Berechnung der Grenzschichthöhe aus den Temperaturprofilen der UAS-Aufstiege und der Berechnung über einen Algorithmus der BL-View Software von Vaisala für das Ceilometer angestellt, sowie der Einfluss der Grenzschicht auf das Feinstaubprofil analysiert.

## **Klimawandel im Alpenraum – Klimavergangenheit und Klimazukunft in unterschiedlichen Höhenstufen**

Andreas Gobiet (1) and Sven Kotlarski (2)

(1) ZAMG - Austrian Central Office for Meteorology and Geodynamics, Graz, Austria (andreas.gobiet@zamg.ac.at), (2) MeteoSchweiz, Zürich, Schweiz (sven.kotlarski@meteoswiss.ch)

Der Alpenraum mit seiner komplexen Orographie und seinen unterschiedlichen großräumigen Wetter-Einflüssen stellt eine besondere Herausforderung für die Klimaforschung dar. Gleichzeitig hat das sich wandelnde Klima hier starke sozioökonomische und ökologische Auswirkungen (z.B. auf die Landwirtschaft, Wasserkraft, Tourismus, Naturgefahren, verschwindende Lebensräume, ...). Während das Wissen über den Klimawandel auf globaler Ebene bereits gefestigt ist, sind seine regionalen und saisonalen Ausprägungen im Alpenraum teils immer noch Diskussionsgegenstand.

Dieser Beitrag gibt daher einen aktuellen Überblick über den Stand des Wissens über den Klimawandel im Alpenraum. Die zeitliche Perspektive reicht dabei von der Vergangenheit (etwa 150 Jahre zurück) bis in die Zukunft (bis zum Ende des 21. Jahrhunderts), wobei die aktuellsten Beobachtungsdatensätze und Klimasimulationen als Informationsgrundlage herangezogen werden. Dieser Ansatz der nahtlosen Betrachtung von der Vergangenheit bis in die Zukunft eröffnet die Möglichkeit Klimaszenarien, die ja als Ergebnisse von Modellen größere Unsicherheiten aufweisen anders interpretiert werden müssen als Beobachtungsdatensätze, besser einordnen und interpretieren zu können. Neben den üblichen klimatologischen Grundgrößen wie Temperatur und Niederschlag wird auf saisonale Unterschiede und praxisrelevante Größen wie Extremereignisse, die Schneedecke und einige für den Tourismus relevante Indikatoren eingegangen. Im Detail werden insbesondere die für den Alpenraum so typischen unterschiedlichen Höhenstufen analysiert und diskutiert, inwiefern Klimawandel unterschiedliche Höhenstufen unterschiedlich betrifft.



## **Der Einfluss von latentem Heizen auf die Dynamik von blockierenden Hochdruckgebieten**

Daniel Steinfeld (1), Maxi Boettcher (1), Richard Forbes (2), Stephan Pfahl (1,3)

(1) Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich, Zürich, Switzerland, (2) European Centre for Medium-range Weather Forecasts, Reading, UK, (3) Institute of Meteorology, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

Blockierende Hochdruckgebiete (atmospheric blocking) sind ein wichtiger Bestandteil der atmosphärischen Zirkulation in mittleren Breiten und können zur Entstehung verschiedener Wetterextreme beitragen. Lange war die vorherrschende wissenschaftliche Meinung, dass man die Dynamik von solchen blockierenden Hochdrucklagen mit Hilfe von Konzepten der trockenen Dynamik verstehen kann, aber neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass auch Feuchteprozesse, insbesondere die Freisetzung von latenter Wärme bei der Wolkenbildung, eine große Rolle für diese Systeme spielen können.

Um diesen Einfluss von Feuchteprozessen besser zu verstehen, wurden modellbasierte Fallstudien von blockierenden Hochdruckgebieten durchgeführt. Dazu wird eine Referenzsimulation mit dem globalen Wettervorhersage-Modell des ECMWF mit einem Experiment verglichen, in dem das latente Heizen in einer begrenzten Region stromaufwärts des Hochdruckgebiets unterdrückt wird. Der Vergleich zeigt, dass Feuchteprozesse wesentlich zur Intensivierung und Langlebigkeit der blockierenden Hochdruckgebiete beitragen. Latentes Heizen verstärkt das Aufsteigen der Luft, die in der oberen Troposphäre nahe der Tropopause auströmt. Dadurch wird dort die Rückenbildung verstärkt und der Jetstream nach Norden verschoben. Das Heizen findet bevorzugt in kohärenten Luftströmungen im Zusammenhang mit extratropischen Tiefdruckgebieten statt.

Ein besseres Verständnis der komplexen Interaktionen zwischen Feuchteprozessen und der großskaligen Luftströmung ist insbesondere im Kontext des anthropogenen Klimawandels wichtig, um langfristige Änderungen der Zirkulation in den mittleren Breiten und der dadurch entstehenden Wetterextreme besser zu verstehen.

## **Die Stabilität bodengebundener Messungen stratosphärischer Ozonprofile im Netzwerk NDACC (Network for Detection of Atmospheric Composition Change)**

Michael Hess (1), Wolfgang Steinbrecht (1), Sophie Godin-Beekmann (2), Thierry Leblanc (3), Daan Swart (4), Richard Querel (5), Eliane Maillard-Barras (6), Klemens Hocke (7), Gerald Nedoluha (8), and Ian Boyd (9)

(1) DWD, FEHPC, Hohenpeißenberg, Germany (michael.hess@dwd.de), (2) Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Guyancourt, Frankreich, (3) Table Mountain Facility, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Wrightwood, CA, USA, (4) National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, Niederlande, (5) National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Lauder, Neuseeland, (6) MeteoSwiss, Payerne, Schweiz, (7) Institute of Applied Physics and Oeschger Centre for Climate Change Research, University of Bern, Bern, Schweiz, (8) Naval Research Laboratory, Washington, D.C., USA, (9) BC Scientific Consulting LLC, Stony Brook, NY, USA

Innerhalb von NDACC werden seit mehr als 25 Jahren Differentielle Absorptions-Lidars und Mikrowellenradiometer verwendet, um kontinuierlich stratosphärische Ozonkonzentrationen zu messen. Diese Messungen sind ein wertvolles Hilfsmittel zur Untersuchung von zeitlichen Trends des stratosphärischen Ozons. Sie sind aber auch unverzichtbar für die Validierung von Satellitenmessungen stratosphärischen Ozons, wie sie zum Beispiel seit 2007 von den Instrumenten GOME-2 und IASI auf den Metop Satelliten geliefert werden. In dieser Untersuchung betrachten wir die langzeitliche Stabilität und Konsistenz der NDACC-Zeitreihen von Monatsmittelwerten der stratosphärischen Ozonkonzentration durch Vergleich von Messungen nah beieinander liegender NDACC Stationen. Dazu verwenden wir die Stationen Lauder (Neuseeland, 45.0\_S, 169.7\_E, Mikrowelle seit 1992, Lidar seit 1994) und Mauna Loa (Hawaii, 19.5\_N, 155.6\_W, Lidar seit 1993, Mikrowelle seit 1995), die jeweils gleichzeitig Lidar und Mikrowellenradiometer betreiben. Ausserdem vergleichen wir die vier mitteleuropäischen Stationen Haute Provence (Frankreich, 43.9\_N, 5.7\_E, Lidar seit 1985), Bern (Schweiz, 46.9\_N, 7.5\_E, Mikrowelle seit 1994), Payerne (Schweiz, 46.8\_N, 7.0\_E, Mikrowelle seit 2000) und Hohenpeißenberg (Deutschland, 47.8\_N, 11.0\_E, Lidar seit 1987), die jeweils nur wenige hundert Kilometer auseinander liegen. Gute Übereinstimmung findet sich vor allem in Höhen zwischen 25 und 40-45 km. Oberhalb von 40 oder 45 km werden die meisten Lidars weniger zuverlässig. Am besten passen die Messungen zusammen, die am selben Ort gemacht wurden, also mit Lidar und Mikrowelle in Mauna Loa bzw. Lauder. Hier liegen die Unterschiede zwischen 5 und 10% bei einer nicht signifikanten Drift unter 3% pro Dekade. Die Unterschiede zwischen den mitteleuropäischen Stationen liegen in den meisten Fällen zwischen 5 und 15% bei Drifts zwischen den Instrumenten, die im Allgemeinen nicht signifikant sind und unter 5% pro Dekade liegen. Wir versuchen, Zeitbereiche zu identifizieren, die problematisch hinsichtlich der Genauigkeit sind, und die konsistent einem bestimmten Instrument zugeordnet werden können.

## **Die Kooperation der nationalen Wetterdienste Deutschlands und Österreichs zur Weiterentwicklung des empirisch-statistischen Downscaling-Verfahrens EPISODES**

János Tordai (1), Christoph Matulla (1), Philip Lorenz (2), and Frank Kreienkamp (2)

(1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), KLFOR / CIT, Wien, Österreich (janos.tordai@zamg.ac.at),  
(2) Deutscher Wetterdienst (DWD), Abt. Klima- und Umweltberatung, Stahnsdorf, Deutschland

Dieser Beitrag stellt eine neue Zusammenarbeit zwischen den nationalen Wetterdiensten Deutschlands (DWD) und Österreichs (ZAMG) in Bezug auf die am DWD entwickelte Empirisch-Statistische Downscaling-Methode (ESD), EPISODES‘ (Kreienkamp et al. 2018) vor.

Abgesehen von den Zielen der Kooperation werden die Leistung des Verfahrens in Validierungsexperimenten sowie erste Ergebnisse der gemeinsamen Entwicklung in Form von, mit verschiedenen RCPs (Representative Concentration Pathways, RCPs) angetriebenen, Projektionen vorgestellt.

Die Generierung umfangreicher Ensembles an regional-skaligen Klimaänderungsprojektionen ist eine der Stärken von ESD Verfahren. In Kombination mit Klimaänderungsentwicklungen, welche mit Regionalen Klimamodellen (RCMs) erstellt worden sind (z.B. Produkte der CMIP5 Initiative, Taylor et al. 2012), stellen sie für die Impaktforschung eine statistisch robuste Basis zur Ableitung von künftig möglichen Korridoren hinsichtlich der betrachteten Auswirkungen dar.

Konkret wurden in engem Austausch mit den deutschen Partnern alle Software-Module an der ZAMG implementiert, aufeinander abgestimmt und die Äquivalenz von EPISODES zwischen Berlin/Potsdam und Wien im operationellen Betrieb gezeigt. Darüber hinaus gelang (vorerst rein technisch) durch die Integration des E-OBS Datensatzes (Haylock et al. 2008) die Ausdehnung der EPISODES-Produktions-Domäne auf ganz Europa.

Die nächsten Ziele der gemeinsamen Entwicklung betreffen einerseits die Sicherstellung der für Deutschland gezeigten Leistung von EPISODES auch im komplex gegliederten Gelände des Europäischen Alpenraums, sowie andererseits die Verkürzung der Projektionszeiträume auf dekadische und saisonale Horizonte. Die Realisierung dieser Vorhaben ist über DACH10 auch international abgebildet.

### Referenzen

- Kreienkamp, F., Paxian, A., Früh, B., Lorenz, P., Matulla, C. 2018: Evaluation of the Empirical-Statistical Downscaling method EPISODES, *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4276-2>
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485–498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201

## **R-Paket zur Schätzung physikalisch konsistenter IDF-Kurven**

Jana Ulrich, Carola Detring, Christoph Ritschel, and Henning Rust

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Statistische Meteorologie, Germany (jana.ulrich@met.fu-berlin.de)

Intensität-Dauer-Frequenz (IDF) -Kurven beschreiben den Zusammenhang zwischen der Überschreitungswahrscheinlichkeit (oder Überschreitungsfrequenz) einer gegebenen Niederschlagsintensität für verschiedene Dauerstufen und sind eine in der Hydrologie sehr verbreitete Methode um die Eigenschaften extremer Niederschlagsereignisse abzuschätzen. Ein typisches Verfahren zur Abschätzung dieser Kurven basiert auf zwei hintereinander geschalteten, separaten statistischen Modellen: zum einen die Beschreibung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten für feste Dauerstufen mittels Extremwertstatistik und zum anderen eine nachfolgende statistische Modellierung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von den Dauerstufen. Dabei können physikalisch inkonsistente Ergebnisse auftreten, beispielsweise können mit größerer Wahrscheinlichkeit höhere Intensitäten für längere Dauerstufen überschritten werden ("Kreuzung von Quantilen").

Auf Basis einer simultanen statistischen Modellierung beider Schritte mittels einer dauerstufenabhängigen Verallgemeinerten Extremwertverteilung (GEV, nach Koutsoyannis et al., 1998) kann eine konsistente Schätzung der IDF-Beziehungen erreicht werden. Dieses Verfahren ist im Paket 'IDF' für die statistische Programmierumgebung R implementiert. Um eine einfache Handhabung zu gewährleisten, bietet das Paket eine Funktion zur Berechnung von Ereignissen verschiedener Dauerstufen aus vorhandenen Niederschlagszeitreihen. Die Akkumulation der Zeitreihe lässt sich dabei für beliebige Dauerstufen berechnen. Daraus können Block-Maxima (z.B. Jahresmaxima oder Maxima für ausgewählte Monate) der verschiedenen Dauerstufen ermittelt werden. Die Verteilung der Block-Maxima wird mit Hilfe einer von den Dauerstufen abhängigen GEV modelliert. Darauf basierend können physikalisch konsistente IDF-Kurven für beliebige Wiederkehrzeiten dargestellt werden. Die verwendete Herangehensweise zur Schätzung der IDF-Kurven erlaubt zusätzlich die Integration räumlicher oder zeitlicher Kovariaten für die Parameter der von der Dauer abhängigen GEV. Mit Hilfe einer Plot-Funktion lassen sich die berechneten Größen in einer übersichtlichen Grafik darstellen, um die Analyse zu vereinfachen.

Die Handhabung sowie Anwendungsmöglichkeiten des 'IDF' Pakets sollen vorgestellt werden, mit dem Ziel die Benutzerfreundlichkeit zu diskutieren und zu verbessern.



## **Kommunikation probabilistischer Wettervorhersagen an Katastrophenschützer**

Nadine Fleischhut (1,3), Martin Göber (2,3), Stefan M. Herzog (1), and Ralph Hertwig (1)

(1) Max Planck Institut für Bildungsforschung, Berlin, (2) Deutscher Wetterdienst, Offenbach, (3) Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung (HErZ)

In den letzten Jahrzehnten hat die Meteorologie große Fortschritte bei der Erstellung zuverlässiger probabilistischer Vorhersagen gemacht. Vorhersagen und insbesondere Wetterwarnungen werden aber weiter fast ausschließlich deterministisch kommuniziert. Dass probabilistische Information nicht kommuniziert wird, behindert nicht nur die gemeinsame Entscheidungsfindung zwischen Meteorologen, Organisationen und der Öffentlichkeit. Diese Praxis berücksichtigt auch nicht, dass probabilistische Information durchaus auch von Laien bevorzugt wird (Morss et al., 2008), das Vertrauen in Vorhersagen erhöhen (LeClerk & Joslyn, 2015) und zu besseren Entscheidungen führen kann (z.B. Roulston et al., 2006).

Eine Hürde um diese Praxis zu ändern besteht in der Schwierigkeit, probabilistische Vorhersagen verständlich zu kommunizieren. In dieser Präsentation zeigen wir Resultate einer Langzeitstudie, in der wir untersuchen, welche Darstellungen die Nutzung probabilistischer Vorhersagen im operationellen Umfeld fördern. Dazu haben wir verschiedene Darstellungsformate im Online-Informationssystem für Feuerwehr und Katastrophenschutz (FeWIS) des DWD implementiert. Durch die Analyse der aufgerufenen Informationen und des Suchverhaltens können wir messen, 1) welche Darstellungen unter operationellen Bedingungen genutzt werden, sowie 2) welche Darstellungen den Nutzern bei ihren Entscheidungen helfen. Wir präsentieren hierzu zwei Fallstudien während Unwettern sowie eine Statistik über 2 Jahre.

Darüberhinaus zeigt eine Online-Umfrage unter Nutzern, wie gut sie die Darstellungen verstehen, wie diese ihre Erwartungen beeinflusst, sowie wie die probabilistischen Vorhersagen genutzt und akzeptiert werden.

## **Mikrowellenszintillometer und die gleichzeitige Messung von sensiblen und latenten Wärmeflüssen auf der Kilometerskala**

Gerrit Maschwitz, Martin Philipp, Thomas Rose, and Harald Czekala

RPG Radiometer Physics GmbH, Remote Sensing Instruments, Germany (gerrit.maschwitz@radiometer-physics.de)

Windreibung und Strahlungskühlung/-erwärmung erzeugen eine turbulente Strömung, welche die vertikalen Wärmeflüsse in der atmosphärischen Oberflächenschicht dominiert. Die erzeugte Turbulenz transportiert Energie in Form von Temperatur – der sensible Wärmefluss – und in Form von Feuchte - der latente Wärmefluss (Evapotranspiration).

Die Beobachtung von Wärmeflüssen mittels Szintillometrie wird schon seit Jahrzehnten betrieben. Optische Szintillometer, die im nahen Infrarotbereich arbeiten, sind seit langer Zeit auf dem Markt verfügbar. Bei den optischen Wellenlängen wird das Szintillationssignal vor allem durch Temperaturfluktuationen entlang des Messpfades bestimmt. Aus Messungen dieser Fluktuationen kann der sensible Wärmefluss bestimmt werden. Um auch den zweiten Teil des Wärmeflusses, den latenten Wärmefluss bestimmen können, ist eine zweite Beobachtungsfrequenz im Mikrowellenbereich notwendig. Das Konzept der 2-Frequenz-Szintillometrie ist theoretisch schon seit den 1980er Jahren bekannt. Seitdem wurden einige nichtkommerzielle Systeme gebaut, keines davon war jedoch zuverlässig genug.

In dieser Ausgangslage hat Radiometer Physics GmbH (RPG), in Kooperation mit der Universität Wageningen, ein Mikrowellenszintillometer entwickelt. Das System arbeitet bei 160.8 GHz. Größe, Gewicht und Leistungsaufnahme wurden für den Betrieb im Feld optimiert. In Kombination mit einem kleinen Antennenöffnungswinkel von  $0.5^\circ$  (HPBW) können Pfadlängen von bis zu 10 km abgedeckt werden. Das Mikrowellenszintillometer wird in Kombination mit einem optischen Large Aperture Scintillometer (LAS) betrieben.

Zur Datenverarbeitung wird das LAS Signal direkt in die Empfangseinheit des Mikrowellenszintillometers eingespeist. Darin werden beide Signale synchron digitalisiert. Die synchrone Datenaufnahme ist essentiell, weil nicht nur die Signalvarianzen des optischen und des Mikrowellensignales berechnet werden, sondern auch die Kovarianz beider Signale. Letztere liefert zusätzlich Informationen über die Stabilität der Oberflächenschicht und damit über die Vorzeichen der Wärmeflüsse - ohne zusätzlich Messung des Gradienten oder Annahmen über die Korrelation der beiden Signale.

Das 2-Frequenz liefert pfadintegrierte Beobachtungen des sensible und des latenten Wärmeflusses auf der Kilometerskala. Die zweite Beobachtungsfrequenz ermöglicht es, die Evapotranspiration entlang eines Pfades in hoher zeitlicher Auflösung zu bestimmen. Damit eröffnen sich für die Szintillometrie ganz neue Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel im Bewässerungsmanagement, in der Überwachung von Wasserreservoirs, zur Abschätzung der Waldbrandgefahr, oder als Referenz am Boden für meteorologische oder hydrologische Modelle.

Die Autoren werden einen Überblick über das technische Design des Mikrowellenszintillometers geben und Messergebnisse des kombinierten Szintillometersystems präsentieren.

## **Klimawandelfolgen und Transport - Exposition der mitteleuropäischen Verkehrsinfrastruktur gegenüber Extremereignissen und Naturgefahren**

Matthias Schlögl (1,2) and Christoph Matulla (1)

(1) Climate Impact Team, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien (matthias.schloegl@zamg.ac.at), (2) Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien

Extreme Wetterereignisse und damit einhergehende gravitative Naturgefahren stellen – vor allem im alpinen Raum – eine erhebliche Bedrohung für die Transportinfrastruktur dar. Jüngste Berichte über Felsstürze, Hangrutschungen und Murgänge in West- und Südösterreich und die daraus resultierenden Straßensperren (z.B. Lesachtal, Bezirk Landeck, Valsertal, Fernpassstraße, Reschenstraße) unterstreichen die Wichtigkeit resilienter Infrastruktur für Bevölkerung und Wirtschaft.

Im Zuge voranschreitender klimatischer Änderungen ist zu erwarten, dass Starkregenereignisse (als möglicher auslösender Faktor von gravitativen Naturgefahren) sowie Hitzewellen europaweit zunehmen werden. Robuste und zuverlässige Informationen über das Ausmaß des Klimawandels und seine prognostizierten künftigen Auswirkungen auf die Verkehrsinfrastruktur sind daher für eine proaktive Vorgehensweise sowie die Planung und Durchführung von Schutzmaßnahmen unerlässlich.

In dieser Studie analysieren wir so genannte Klimaindizes – also Indikatoren, welche konkrete Einwirkungen auf das Infrastrukturnetz quantitativ wiedergeben – bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Dazu wurden die abgeleiteten Klimaindizes (welche sich – je nach Fragestellung – sowohl die Dauer als auch die Intensität von Niederschlagsereignissen sowie die Temperatur beziehen), bis zum Ende des 21. Jahrhunderts untersucht und mit den gegenwärtigen Bedingungen verglichen. Die Berechnungen basieren dabei auf einem Ensemble von 17 downgescalten und bias-korrigierten Klimamodellläufen für das A1B-Emissionsszenario des IPCC. Die daraus resultierenden regional-skaligen Projektionen wurden dann auf das Straßen- und Schienennetz in Mitteleuropa umgelegt.

Die Resultate zeigen dabei, dass die Exposition der Transportinfrastruktur gegenüber de facto allen natürlichen Bedrohungsszenarien zunehmen wird. Diese generellen Muster unterscheiden sich jedoch in Bezug auf ihre unterschiedliche Intensität, sowohl was die räumliche Verteilung als auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Naturgefahren betrifft. Die Inhomogenität zeigt sich etwa anhand von Starkregenereignissen, welche potentiell Hangrutschungen auslösen können. Obwohl von einem grundsätzlichen Anstieg in ganz Mitteleuropa auszugehen ist treten dabei starke räumliche Unterschiede sowie Unterschiede bezüglich des Ausmaßes auf. Während flache, tiefliegende Regionen nur eine geringe Zunahme aufweisen, sind höher gelegene, hügelige bis gebirgige Regionen deutlich stärker betroffen. Diese generelle räumliche Verteilung zeigt sich bereits in der nahen Zukunft (2021–2050), tritt in der ferneren Zukunft (2071–2100) jedoch noch deutlicher zutage. Besonders betroffene Gebiete dürften etwa das Oberrheintal, die Vogesen, das Juraengebiet, der Schwarzwald, die Schwäbische Alb, der Böhmerwald und das Alpenvorland sein.

Derartige – auf Klimaindizes basierende – Ergebnisse geben Aufschluss darüber, welche Teile des europäischen Transportnetzes voraussichtlich besonders von einer Zunahme an Extremwetterereignissen betroffen sein werden. Aus diesem Grund sind diese Ergebnisse besonders für eine proaktive Adaptation gegenüber Klimawandelfolgen relevant. Dies betrifft konkret die Entwicklung von Leitlinien in Bezug auf Design, Wartung und Instandhaltung von Infrastruktur, sowie die vorausschauende Weiterentwicklung eines intermodalen Transportnetzwerks.

## **SNOWGRID – A distributed operational snow cover model for the eastern Alps**

Jutta Staudacher (1), Marc Olefs (2), and Roland Koch (2)

(1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Innsbruck, Austria (jutta.staudacher@zamg.ac.at), (2) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Wien, Austria (snowgrid@zamg.ac.at)

The spatial and temporal evolution of snowpack properties play an important role for a wide range of applications, especially in mountainous regions. There is a great demand for high-resolution snowpack data regarding road maintenance, water resource management or avalanche forecasting, for example. Since the combination of topographic effects and climatic conditions mainly determines the local and regional snowpack variability, reliable estimates of the snow cover are essential for snow analyses and forecasts.

The Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) and the Hydrographical Central Bureau of Austria are operating together lots of daily manual and automatic ground-based snow observing stations across Austria. The regional avalanche warning services have many automatic snow depth measurement stations too, particularly in higher elevated alpine regions. In order to meet the demand of detailed spatial snow cover information, the ZAMG runs a very high resolution, physically based snow cover model on a model domain (roughly 400 x 700 km) which is currently focused on the eastern Alps. The spatial and temporal resolution are 100 m and 15 minutes, respectively. The model uses gridded meteorological data from INCA (Integrated NowCasting and Analysis system; Haiden et al. 2011) to produce hourly analysis of various snow quantities. Since ground-based stations deliver meteorological information at irregularly spaced locations, SNOWGRID makes an important contribution to monitoring snow cover. In addition, SNOWGRID uses the forecast output of NWP models to predict, for instance, the accumulated fresh snow and the temporal evolution of the total snow depth for 72h in advance.

SNOWGRID can also be used to estimate the maximum potential of net snow drift amounts during historical extreme storm events. The operational implementation of this snow drift model is currently in process. Snow extent from SNOWGRID together with satellite data is also operationally used to initialize the numerical weather prediction model AROME (Seity et al. 2010) with 2.5 km spatial resolution at ZAMG using a real snow distribution instead of climatological estimates (as it is traditionally done).

Furthermore a climate version of SNOWGRID was used to derive daily grids of snow depth and snow water equivalent at a spatial resolution of 1x1 km. This analysis data for Austria goes back to the year 1961 and was produced by using gridded datasets of air temperature and precipitation at same temporal and spatial resolution that take into account the high variability of these variables in complex terrain (Hiebl and Frei, 2016).

## **Ein Verfahren zur Etablierung optimaler Strategien zum nachhaltigen Schutz exponierter Sektoren vor künftigen, klimawandelinduzierten Schadereignissen – und seine Anwendung im Bevölkerungsschutz**

Christoph Matulla (1), Franz Schmid (3), Katharina Enigl (2), Matthias Schlögl (1), Fabian Frank (2), Andreas Mansberger (2), and Ingo Schnetzer (3)

(1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, KLFOR/CIT, Wien, Österreich (christoph.matulla@zamg.ac.at), (2) Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, (3) Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), Wien, Österreich

Dieser Beitrag folgt dem roten Faden durch drei Masterarbeiten (siehe DACH2019-323,-324,-325) und zeigt durch Anwendung wie diese zusammen ein Verfahren für die Planung nachhaltiger Strategien im Umgang mit den zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels darstellen. Das betrachtete Projekt ist eines der bisher komplexesten der im österreichischen Bevölkerungsschutz realisierten. Abgesehen davon kamen in diesem Fall die bei solchen Vorhaben verwendeten Methoden zur Unterstützung der Entscheidungsträger zu keinem Resultat.

Die Aufgabe ist für dieses Projekt jene Strategie zu finden, die optimal (cost-benefit) geeignet ist, das gegenwärtige hohe Schutzniveau in der Zukunft unter Klimawandel sicherzustellen. Dabei sind ‚floodings‘, zwei Zeithorizonte (bis 2065, bis 2100) und drei Schutzmaßnahmen (Absiedlung ‚A‘, Retention ‚R‘ und Linearer Verbauung ‚L‘) zu betrachten.

Die Präsentation zeigt die Konzeptidee im Ablauf. Schlaglichtartig: Detektion der in der Zielregion charakteristischen Kopplung des betrachteten Prozesses an die ihn auslösenden Wetterentwicklungen (aka ‚Climate Indices‘, CIs). Das Problem dabei ist der geringe Umfang physikalisch konsistenter Beobachtungen beider Sphären am Ereignisort. Das wurde unter dem Dach des BMNT durch die erstmalige Zusammenführung der größten Ereignis-Kataster nachgeordneter Dienststellen behoben.

Auf dieser Basis kann die gegenwärtige Widerstandsfähigkeit des bestehenden Schutzkonzepts (= das in Zukunft zu gewährleistende Schutzniveau) vom Raum der Schadprozesse in den Zustandsraum der regionalen Wetterdynamik transformiert werden, auf den dann der Klimawandel abgebildet wird.

Zur Bestimmung künftiger, vom Klimawandel getriebener ‚hazard-development-corridors‘ werden für verschiedene Pfade der Menschheit Ensembles von GCM Szenarien downscaled und analysiert. Die Korridore zeigen potentielle Entwicklungen der künftigen Verletzlichkeit (‚threat levels‘) aus denen sich, durch Vergleich mit dem gegenwärtigen Zustand, die zu erwartenden Veränderungen ergeben. Diese fallen i.d.R. für verschiedene Pfade der Menschheit unterschiedlich aus.

Die Veränderungen transformieren sich nicht-linear (in Abhängig ihres Umfangs ggfls. unstetig sowie in komplexen Wechselbeziehungen) in die, für die Aufrechterhaltung des gegenwärtigen Schutzniveaus, zu bewältigenden Herausforderungen, welche sich i.d.R. wiederum nicht-linear in die Investitionen übersetzen, die je nach Schutzmaßnahme (hier: A, L, R) zur Erreichung der Vorgaben erforderlich sind.

Sind die erforderlichen ‚Projektionen‘ zu den ‚threat levels‘ (Zeithorizont und Pfade mit Eintrittswahrscheinlichkeit) sowie zu den Schutzmaßnahmen (notwendige Investments) etabliert, wird mit Verfahren der Entscheidungstheorie die Eignung der Maßnahmen für alle ‚threat levels‘ einzeln bewertet. Im Anschluss daran wird mit einem Set an Regeln eine Reihung erstellt, die die Maßnahmen entsprechend ihrer Leistungen bezogen auf das eingangs gestellte Optimierungsproblem anordnet. Die Voraussetzungen für die Integration des Verfahrens werden derzeit am BMNT geprüft.

## **Einfluß der Position und der Stärke des subtropischen Jets auf Zirkulation und Transport in der unteren Stratosphäre**

Hella Garny

DLR, Institute for Atmospheric Physics, Oberpfaffenhofen-Wessling, Germany (hella.garny@dlr.de)

Die „Breite der Tropen“ wurde in der Vergangenheit durch verschiedene Metriken bestimmt. Kürzlich wurden diese in zwei Klassen eingeteilt die jeweils miteinander aber nicht untereinander korrelieren, die sogenannten „unteren“ und „oberen“ troposphärischen Metriken (entsprechend der Region ihrer Definition, Waugh et al, 2018). Zu den oberen Metriken gehört die Position des Subtropenjets (STJ), zu den unteren die Position des „Eddy-driven“ Jets (EDJ).

Basierend auf inter-annuale Korrelationen von saisonalen Mitteln wird hier gezeigt, dass die Stärke des Subtropenjets mit den sogenannten "unteren" Metriken korreliert, d.h. der Position des eddy-driven Jet. Die Position und Stärke des Subtropenjets sind somit zwei (nahezu orthogonale) Variabilitätsmoden der troposphärischen Zirkulation. Durch Regression wird hier die Ko-variabilität dieser Moden mit der Zirkulation in der unteren Stratosphäre untersucht. Es wird gezeigt, dass die Stärke der meridionalen Zirkulation in der unteren Stratosphäre besser mit der Stärke des STJ (d.h. mit den "unteren" Metriken) korreliert als mit dessen Position. Die Zirkulationsanomalien wirken sich über Transport auf Spurenstoffanomalien aus, wie anhand von passiven Spurenstoffen („Alter der Luft“) und Ozon gezeigt wird (basierend auf Klima-Chemie-Modelldaten). Die Spurenstoffanomalien können genutzt werden, um Metriken für die zwei Variabilitätsmoden zu definieren: Die stärkste Steigung einer Spurenstoff-isolinie in der unteren Stratosphäre korreliert mit der STJ Stärke, während die Position der stärksten Steigung mit der Position des STJ korreliert. Diese Zusammenhänge können genutzt werden, um Zirkulationsmetriken aus beobachteten Spurenstoffkonzentrationen abzuleiten.

## **Sondierung der planetaren Grenzschicht mit unbemannten Luftfahrtsystemen**

Andreas Philipp (1), Christoph Beck (1), Alexander Groos (2), Martin Roith (1), Matthias Schörner (1), Annette Straub (1), Erik Petersen (1), and Johanna Redelstein (1)

(1) University of Augsburg, Geography, Physical Geography and Quantitative Methods, Augsburg, Germany (andreas.philipp@geo.uni-augsburg.de), (2) University of Bern, Institute of Geography

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS, engl. Unmanned Aerial Systems) stellen eine flexible und kostengünstige Alternative bzw. Ergänzung zu herkömmlichen Methoden der Sondierung der planetarischen Grenzschicht, wie Fesselballon oder meteorologische Türme dar. Im Gegensatz zu bemannten Plattformen sind Messungen bis in das Bodenniveau möglich, während Vorteile gegenüber der Fernerkundung im Einsatz von In-Situ-Messverfahren zu sehen sind. Im Vergleich zu meteorologischen Messtürmen, erlauben sie jedoch wiederum eine deutlich höhere Vertikalerstreckung und bieten eine höhere Vertikalauflösung als Radiosonden. Auf der anderen Seite ist die Aufnahme von Sensorik hinsichtlich der Traglast begrenzt und Vorbereitung und Durchführung der Messflüge zur Zeit noch personalintensiver als z.B. bei etablierten Fernerkundungsverfahren, was besondere Herausforderungen hinsichtlich Planung und Datenverarbeitung mit sich bringt.

So stellt z.B. die Sensorträchtigkeit für Luftfeuchte und Temperatur bei hohen Geschwindigkeiten ein ähnlich großes Problem wie beim Radiosonden dar und muss im Rahmen von Postprocessingroutinen entsprechend abgebildet werden. Ebenso sind Strahlungsschutz, Schutz vor Sensoreigenwärme und Ventilation zu berücksichtigen. Hinsichtlich der rechtlichen Rahmenbedingungen ist insbesondere durch die letzte Änderung der Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten der Einsatz für Behörden deutlich erleichtert worden.

Insgesamt eröffnet die Sondierung mit UAS neue Beobachtungsmöglichkeiten, sowohl in Intensivmesskampagnen als auch operationell, die alternative Einsichten in Prozesse der ruralen und urbanen Grenzschicht erlauben. Anhand von Beispielen aus Messkampagnen wie ScaleX, Stadtklima im Wandel und SmartAQnet sowie operationeller Sondierungsroutinen mit Starr- und Drehflüglern werden Herausforderungen und Chancen diskutiert.

## **Etablierung der umfassendsten nationalen Datenbank wetterinduzierter Schadprozesse für Österreich und Ableitung kanonischer Niederschlags-sequenzen für Hangrutschungen und Überflutungen in komplexem Gelände**

Katharina Enigl (1), Christoph Matulla (2), Franz Schmid (3), Matthias Schlägl (2), and Ingo Schnetzer (3)

(1) Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, (2) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), KLFOR/CIT, Wien, Österreich, (3) Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), Wien, Österreich

Überflutungen und gravitative Massenbewegungen gehören weltweit zu den gefährlichsten Schadprozessen, wobei topographisch stark gegliederte Regionen besonders betroffen sind. Beobachtungen zeigen, dass das damit verbundene Risiko mit dem Klimawandel zunimmt. Deswegen bekommt die Identifikation der auslösenden Wetterentwicklungen (aka ‚Climate Indices – CIs‘), insbesondere wegen deren signifikantem Potential für kurzfristige Warnungen sowie mittel- bis langfristige Anpassungsstrategien, wachsende Aufmerksamkeit.

Tatsächlich wird dieses Ziel (CI-Detektion) schon lange verfolgt. Die Entwicklung war jedoch, wegen fehlender Beobachtungen von Schadprozessen wie Wetterentwicklungen an Ereignisorten, bisher höchst aufwendig und von großen Unsicherheiten geprägt. Die hier präsentierten Ergebnisse profitieren außerordentlich von den hochwertigen, räumlich hochaufgelösten meteorologischen Tagesdaten (Hiebl and Frei 1996, 1997) sowie von Qualität und Umfang der erstmalig, im Rahmen dieser Kooperation unter dem Dach des Ministeriums für Tourismus und Nachhaltigkeit, zusammengeführten Ereignis-Kataster nachgeordneter Dienststellen, die die umfangreichsten in Österreich sind. Der aus diesen sorgfältig erstellte „Event Space“ erstreckt sich über sieben Jahrzehnte und umfasst mehr als 20.000 Ereignisse, die nun hinsichtlich Überflutungen und Massebewegungen in fünf internationale Prozesskategorien gegliedert sind.

Die erfasste Periode, der außerordentliche große Umfang des ‚Event Space‘ und seine Qualität gestatten, sogar für die einzelnen Prozesskategorien in orographisch unterschiedlichen Regionen in den Europäischen Alpen (Matulla et al. 2003), statistisch robuste Analysen zur Detektion von CIs. Das gelingt mit multivariaten EOF Analysen (von Storch und Zwiers, 1999) für jede Paarung aus Prozesskategorie und Region. Dabei betrachten wir an den Ereignisorten Niederschlagstotale an acht Tagen bis (inklusive) Prozessbeginn und fassen die Entwicklungen zu ihrer quadratischen Form zusammen. Die Zeitkoeffizienten der Eigenrichtungen (EOFs, kanonische Muster) beschreiben die beobachtete Physik und die Eigenwerte deren Signifikanz.

Die Ergebnisse zeigen für jede Prozesskategorie und Region eindeutige, charakteristische Niederschlags-Sequenzen, die eine neue, detaillierte Sicht auf die auslösenden Wetterentwicklungen (CIs) erlauben. Diese CIs haben (siehe oben) signifikantes Potential im Bevölkerungsschutz, für die Planung von Katastropheneinsätzen sowie im Rahmen der gerade aufkommenden ‚impakt-orientierten‘ Wettervorhersage. Dieselbe Bedeutung haben die CIs auch bei der vorausschauenden Planung nachhaltiger Adaptionstrategien überall, wo Extremereignisse mit starken Auswirkungen auf Natur, Ökonomie wie Gesellschaft verbunden sind – d.h. von der biologischen Vielfalt über die Versorgungssicherheit bis in die Versicherungs- und Finanzindustrie durch alle Sektoren.

## **Entscheidungstheorie zur optimalen Planung nachhaltiger Projekte im Bevölkerungsschutz basierend auf Ensembles künftiger Überflutungskorridore bis 2100 getrieben von drei Entwicklungspfaden der Menschheit**

Fabian Frank (1), Christoph Matulla (2), Franz Schmid (3), Katharina Enigl (1), Ingo Schnetzer (3), and Matthias Schlögl (2)

(1) Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, (2) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), KLFOR/CIT, Wien, Österreich, (3) Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), Wien, Österreich

Weltweit wird, im Zusammenhang mit dem anthropogenen Klimawandel, von einer Zunahme extremwetterinduzierter Schadereignisse berichtet. Diese geht mit signifikanten Auswirkungen auf Natur wie Gesellschaft einher, welche sich von der biologischen Vielfalt über die Versorgungs-sicherheit in die Versicherungs- und Finanzindustrie durch alle Sektoren deklinieren.

Die vorliegende Arbeit entstammt einer Kooperation mit Verantwortungsträgern im österreichischen Bevölkerungsschutz und beschreibt die Etablierung eines, auf Entscheidungstheorie beruhenden, Verfahrens zur vorrausschauenden Planung nachhaltiger Strategien mit dem Ziel der Schadensvermeidung. Die hier gezeigte Anwendung im Zivilschutz soll die Verantwortlichen bei der Wahl jener Maßnahmen unterstützen, die optimal die Erhaltung des gegenwärtigen Schutzniveaus in den kommenden Jahrzehnten gewährleistet.

Dieses Verfahren basiert auf (i) dem, auch aus dem Portfoliomanagement bekannten, Bernoulli Prinzip, welches die Behandlung des Nutzens von Handlungsoptionen anstatt nur deren monetäre Aspekte gestattet, sowie (ii) einem Set an Entscheidungsregeln. Dieser, jedenfalls im vorliegenden Kontext, neue Ansatz wird durch Anwendung auf eines der ressourcenintensivsten und umfangreichsten Bevölkerungsschutzprojekte in Österreich (für das die herkömmlichen Verfahren keine Unterstützung im Entscheidungsprozeß boten) evaluiert. Dabei geht es um Hochwasserschutz, zu dessen nachhaltiger Gewährleistung drei Maßnahmen (Lineare Verbauung, Retention, Absiedlung) zur Verfügung stehen.

Da bereits jetzt ein Großteil der Mittel im Bevölkerungsschutz für die Erhaltung bestehender Infrastruktur aufgewendet wird, ist der vorrausschauenden Planung nachhaltiger Konzepte besonders hoher Stellenwert beizumessen. Eine notwendige Voraussetzung für eine derartige Planung ist die Ableitung künftiger Gefahrenpotentiale in der Projektregion. Daher werden die Entwicklungen des künftigen Hochwasserrisikos für drei Ensembles downgescalter Klimaprojektionen, die verschiedenen Entwicklungspfaden der Menschheit (van Vuuren et al., 2011) entsprechen, physikalisch konsistent berechnet. Diese Analysen beruhen auf Wetterprozessen, die Hochwasserereignisse auslösen (Enigl et al., 2018).

Resultierende Risiko-Entwicklungs-Korridore bis zum Ende des Jahrhunderts sowie zu erwartende Aufwendungen für die Schutzmaßnahmen werden von dem hier gezeigten Verfahren verarbeitet. Die erzielten Ergebnisse zeigen ein klares Ranking der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung, das aktuelle Schutzniveau auch in den kommenden Dekaden zu gewährleisten. Gegenwärtig werden am, für den Bevölkerungsschutz verantwortlichen, Ministerium die für die Integration des Verfahrens notwendigen Anpassungen erhoben. Mit dem Forum der ‚European Freight and Logistics Leaders‘ wird, angesichts der in den letzten Jahren wiederholten Ausfällen intermodaler Verbindungen, die Anwendung des Verfahrens auf Europäische Transportkorridore diskutiert.

## **Optimizing the Analog Method's synoptic sector under boundary conditions for projecting ensembles of flood-occurrences driven by three pathways of mankind**

Andreas Mansberger (1) and Christoph Matulla (2)

(1) Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, (2) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), KLFOR/CIT, Wien, Österreich

In order to allow anticipatory planning achieving statistically robust strategies, all necessary calculations involved in setting them up have to draw on well occupied ensembles of loss projections. If, aside from that, such ensembles are also available for different pathways of mankind, resulting strategies are not only statistically robust but refer on top of that to corridors, which jointly encompass sufficient parts of potential future developments (e.g. of future threat-occurrences).

Both features enhance the validity and significance of in such way established strategies, which are - in case of civil protection and the defense of critical infrastructure against damaging events - evidently worth striving for. Therefore, the goal we present here is the generation of - statistically as well as in terms of mankind's evolution - robust ensembles in the European Alps, where they are much required.

This goal is achieved by an ESD technique termed Analog Method, which rests on capturing synoptic dynamics and the grading of similarity between observed and projected patterns ('analogs') whereby physically consistent loss weather conditions are assigned to GCM patterns.

In order to ensure optimal quality of the derived ensembles as well as coherence amongst weather conditions in all considered loss regions, we have to solve two optimization problems. One of these refers to the dimensions of the atmospheric window used for analog-detection and is a problem under two boundary conditions imposed by von Storch et al. (1993) and van den Dool (1994). The first pertains to GCMs' skillful scale and, hence, sets an infimum to the space dimensions to be considered, whilst the latter claim corresponds to a supremum stating it's outstandingly unlikely to identify proper analogs at high dimensions.

The other optimization problem is associated with the determination of the most suitable geographical position within a large sector over the North Atlantic, the continent and the Mediterranean, on which the atmospheric window best has to be centered. Findings are presented, discussed and put into context.



## **Altimeter in der Assimilation des Seegangs**

Oliver Sievers, Thomas Bruns, and Jens Kieser

Deutscher Wetterdienst, Schiffsroutenberatung, Hamburg, Germany (oliver.sievers@dwd.de)

Zur Erfüllung seiner gesetzlichen Aufgaben betreibt der Deutsche Wetterdienst unter Anderem seit weit über 20 Jahren ein Vorhersagemodell für Seegang. Wie bei allen numerischen Prognoseverfahren stellt die möglichst genaue Kenntnis des Anfangszustandes eine wesentliche Grundlage für einen erfolgreichen Modelllauf dar. Hierzu dient ein dem eigentlichen Hauptlauf des Modells vorgeschalteter Assimilationslauf. Unter Berücksichtigung möglichst vieler zuvor unbekannter Messungen und/oder Analysen wird ein Teil des vorhergehenden Modelllaufs wiederholt, um so am Ende des Assimilationslaufes, gleichbedeutend mit dem Beginn des bevorstehenden Hauptlaufes, dem realen Zustand möglichst weit angenähert zu sein. Bei der Assimilation des Seegangmodells im Deutschen Wetterdienst kommen zum Einen im Vergleich zum Vorlauf verbesserte Windfelder, zum Anderen Messungen des Seegangs zum Tragen. Erstere stammen aus den Assimilationsläufen des numerischen Wettervorhersagemodells und beinhalten so eine Vielzahl von In Situ Messungen diverser Parameter und umfangreiche Fernerkundungsdaten. Gleichzeitig werden mit Hilfe von Altimeterdaten globale Messungen des Seegangs in den Assimilationslauf eingebracht und modifizieren so das Seegangsfeld während des Laufes. Dabei konnte die Anzahl der in die Assimilation eingehender Altimeter im Laufe der Zeit weiter erhöht werden. Anhand umfangreicher Vergleichsrechnungen und der anschließenden Validation der Vorhersagen gegen Bojendaten kann gezeigt werden, dass das auf diese Weise verbesserte Anfangsfeld des Seegangs positive Auswirkungen über größere Bereiche des Vorhersagezeitraumes hat. Es werden die Ergebnisse für verschiedene Regionen der Erde vorgestellt und gezeigt, welche der verwendeten Altimeter einen besonders großen Einfluss haben.

## Verfahren zur Verdunstungsmessung von freien Wasserflächen

Armin Raabe (1) and Peter Holstein (2)

(1) LIM Leipziger Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3 04103 Leipzig, (2) STZ TAAN Margarethenweg 9a, 04425 Taucha

Aktuell besteht ein bestimmtes Interesse, die Verdunstung von Gewässeroberflächen in das Management der Wasserversorgung einzubeziehen, vor allem dort, wo zu bestimmten Jahreszeiten wenig Niederschlag fällt und die Versorgung dann mit Wasser vollständig über Wasserreservoirs erfolgt. Dabei sollen die Verdunstungsverluste durch Abschattungsmaßnahmen oder ähnliches minimiert werden. Für die Kontrolle des Erfolgs solcher Maßnahmen wird eine Messmethode benötigt, die für das Bestimmen der Verdunstung von Ausschnitten von Wasserflächen genutzt werden kann.

Eine direkte Messung der Verdunstung von einer Seeoberfläche wurde in der Vergangenheit u.a. mit Verdunstungsbehältern durchgeführt, die auf Flößen installiert waren [1]. Die Bestimmung der Verdunstungsmengen erfolgte dabei durch Beobachter per Hand u.a. unter Verwendung von mechanischen Mikrometer-Messgeräten. Für die Anordnung einer solchen Messung auf einem Floß gibt es eine WMO Empfehlung [2].

Hier wird ein Messverfahren vorgestellt, das aus der akustischen Füllstandsüberwachung stammt und das nach dem Echolotprinzip funktioniert. Die Empfindlichkeit der Messanordnung reicht für den Nachweis von Verdunstungshöhen von 0,1mm, was empfindlich genug ist um den Tagesgang der Verdunstung direkt für eine Wasserfläche zu bestimmen. Beispiele werden gezeigt.

[1] Richter, D., 1975: Vergleichende Betrachtung verschiedener Methoden zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen, Zeitschr. f. Meteorol, Bd. 255 (12) 117-121, 1975,

[2] Vietinghoff H., 2002: Die Verdunstung freier Wasserflächen – Grundlagen, Einflussfaktoren und Methoden der Ermittlung, Ufo Naturwissenschaft Band 201 (2002)

## **Phänomen "Framing": Forschung und Journalismus beim Thema Klimawandel – wer beeinflusst wen?**

Christian König

Agentur Wetter-Klima-Umwelt, Erding, Germany

Technologien und global agierende Plattformen verwischen im Zeitalter von Digitalisierung und Social Media als neue Referenzen für Informationserstellung und -verbreitung die Grenzen von fakten-basierter Wahrheit und interessensgesteuerten, emotionsbeladenen „Fake News“. Dieser weltweit zu beobachtende Schwenk in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft macht auch vor bislang vermeintlich unantastbaren Codices der Wissenschaften nicht Halt.

Selbst im Bereich der Klimaforschung und deren Kommunikation des Klimawandels für den Journalismus und die Medien-Nutzer rückt mehr denn je die Aufgabe in den Vordergrund, sich in der Veröffentlichung von Daten-Interpretationen stringent entlang von unverrückbaren Leitplanken zu bewegen. Selten zuvor in der jüngeren Geschichte der Naturwissenschaften war die Strategie von Interessensgruppen jedweder Couleur, scheinbar unumstößliche Fakten zu eigenen Zwecken zu entfremden, boykottieren oder mit vermeintlichen Fakten zu konterkarieren, so auffallend, wie derzeit.

An dieser Stelle wird versucht, anhand des Oberbegriffs „Framing“ beispielhafte Auswirkungen sowie potenzielle Gefahren bei Begriffsbildungen und Fakteninterpretationen im Bereich Meteorologie und Klimaforschung aufzuzeigen. Der Fokus richtet sich auf mögliche Handlungsoptionen für wissenschaftliche Akteure mit Außenwirkung; dies auf Basis langjähriger Praxiserfahrung im Umgang mit Medien im Daily Business.

Es wird der Versuch unternommen, mit verändertem Blickwinkel Polarisierungsansätze bei der Meinungsbildung aufzuzeigen und mögliche Auslöser zu Voreingenommenheit zu entlarven. Vor dem Hintergrund breiter Öffentlichkeitswirkung der Klimaforschung gilt es, das Bewusstsein für einen verantwortungsvollen und transparenten Diskurs zum Megathema Klimawandel im 21. Jahrhundert zu fördern und zu bewahren.

## **Eine detaillierte Trajektorien-basierte Untersuchung eines Alpenen Warm Conveyor Belts mit Flugzeug- und Lidar-Messungen**

Maxi Böttcher (1), Michael Sprenger (1), Andreas Schäfler (2), Donato Summa (3), Paolo di Girolamo (3), Stefan Kaufmann (2), Christiane Voigt (2), and Heini Wernli (1)

(1) ETH Zürich, Schweiz, (2) DLR Oberpfaffenhofen, Deutschland, (3) Università degli Studi della Basilicata Potenza, Italien

Warm conveyor belts (WCBs) sind rasant aus der Grenzschicht bis in die obere Troposphäre baroklin aufsteigende feuchte Luftströmungen in außertropischen Zyklonen, die im Tiefdruckgebiet einen Großteil des Niederschlags verursachen und durch ihre starke diabatische Wärmefreisetzung die Dynamik verstärken können, wie z.B. die Intensität des Bodentiefs oder auch Rossby-Wellen an der Tropopause. Mit ihrem Feuchtetransport und den folglich stattfindenden wolkenbildenden Prozessen werden sie als eine der Hauptfehlerquellen in numerischen Wettervorhersagen angesehen.

Die Flugzeugmesskampagne T-NAWEX-Falcon im Oktober 2012 mit der DLR Falcon war auf Messungen der Feuchte in verschiedenen Phasen von WCBs über Mitteleuropa ausgelegt. Die präsentierte Fallstudie stellt den WCB vom 14./15. Oktober 2012 vor, der sich vom Mittelmeer über die Alpen bis zur Ostsee erstreckte. Die in situ Messungen erfolgten in diesem Fall in der Region des stärksten Aufstiegs des WCBs und danach in der oberen Troposphäre über Deutschland. Um den gesamten Weg des WCBs mit Messungen abzudecken werden außerdem Daten des Wasserdampf-Lidars BASIL hinzugezogen, welches nahe der französischen Mittelmeerküste im Rahmen der HyMeX-Kampagne aktiv war. In operationellen Ensembleanalysen des ECMWF werden die Messungen mittels Lagrangescher Trajektorien verbunden.

Die Studie beschreibt die Geschichte von mehrfach vermessener Luftmasse in diesem WCB und dessen Umgebung. Besonderes Augenmerk wird auf den Vergleich von Wasserdampf in Mess- und Modelldaten gelegt, sowie dessen Entwicklung entlang der verschiedenen Äste des WCBs, der vom Mittelmeer über die Alpen zur Ostsee aufgestiegen ist.

Die feuchte, in den WCB einströmende Luft in Bodennähe wurde vom BASIL Lidar vermessen. Diese Einströmung erfolgte aus 2 verschiedenen Richtungen, wobei bei der kontinentaleren ein Feuchteüberschuss von etwa 30% in den bodennahen Schichten im Modell festgestellt wird. Die vermessenen Luftmassen trennen sich an den Alpen in drei Zweige auf. Obwohl diese verschiedenen dynamischen Prozessen ausgesetzt sind, durchlaufen sie gleichermaßen starke Wolkenbildungsprozesse. Insbesondere wird die Feuchte auch durch Niederschlag aus darüber liegenden WCB-Schichten beeinflusst. Die in situ Messungen der DLR Falcon stimmen gut mit dem Wasserdampf im Modell überein, jedoch wird (lokal) der kondensierte Wasseranteil deutlich unterschätzt. Diese Studie zeigt durch eine Kombination bodengestützter und Flugzeug-Messungen mit probabilistischen Auswertungen von Trajektorien in Ensembleanalysen einerseits das komplexe Verhalten eines WCBs im Wechselspiel mit den Alpen und erlaubt es andererseits, den Feuchtetransport und die Wolkenbildung im ECMWF Modell in einer für das lokale Wetter zentralen Strömungssituation zu validieren.



## **Energiemeteorologisches Wolkenkameranetzwerk für die hochaufgelöste Kurzfristprognose der solaren Einstrahlung**

Thomas Schmidt (1), Detlev Heinemann (1,2), Niklas Blum (3), Bijan Nouri (3), Stefan Wilbert (3), and Pascal Kuhn (3)

(1) DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme e.V., Oldenburg, (2) Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, (3) Institut für Solarforschung, DLR e.V., Köln/Almeria

Im Zuge der fortschreitenden Integration von stark fluktuierenden Energiequellen wie insbesondere der Photovoltaik entsteht ein wachsender Bedarf an hochwertigen Erzeugungsdaten, wobei zunehmend Informationen zur zeitlich und räumlich hochaufgelösten Struktur und zur Variabilität der Erzeugung benötigt werden.

In diesem Zusammenhang entsteht derzeit in der nordwestdeutschen Weser-Ems-Region ein neuartiges Messnetz bestehend aus 34 Wolkenkameras sowie mehreren Einstrahlungs- und Wolkenhöhenmessungen. Das in einem Gebiet der Größe von ca. 60 x 80 km verteilte Netzwerk dient der Entwicklung und Anwendung einer regionalen Kurzfristprognose der solaren Einstrahlung in einer sehr hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung auf Basis von lokalen Messungen, Wolkenkameras und Satellitenbildern. Das Netzwerk bietet erstmals die Möglichkeit, kurzfristig präzise Prognosen der lokalen Bewölkung und der daraus resultierenden bodennahen Einstrahlung zu generieren. Das Netzwerk aus Kameras ermöglicht die großräumige Abdeckung von größeren Städten und Regionen. Bei einer räumlichen Auflösung von wenigen Metern und einer zeitlichen Auflösung von weniger als einer Minute können sowohl kleinskalige Bewölkungsstrukturen aufgelöst als auch kurzfristige Wolkenentwicklungen erkannt und vorhergesagt werden. Insbesondere Betreiber von Photovoltaikanlagen, Stromhändler und Stromnetzbetreiber können von diesen Vorhersagedaten profitieren. Der Beitrag stellt das Netzwerk, die verwendete Methodik und mögliche Anwendungsfälle für die Grundlagenforschung und Akteure der Energiewirtschaft vor. Erste Messergebnisse aus dem Netzwerk zeigen exemplarisch das Potential dieser neuartigen Infrastruktur.

## Wolkenmakro- und Mikrophysik aus spektraler Fernerkundung auf dem Forschungsflugzeug HALO

Tobias Kölling (1), Lucas Höppler (1), Felix Gödde (1), Tobias Zinner (1), Bernhard Mayer (1), Florian Ewald (2), Manuel Gutleben (2), Silke Groß (2), and Marek Jacob (3)

(1) Ludwig-Maximilians-Universität, Meteorologisches Institut, München, (2) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, (3) Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Mit dem Ziel verschiedene Aspekte der Wolkenphysik zu beleuchten, flog das abbildende Spektrometer specMACS der LMU während der HALO Kampagnen ACRIDICON 2014 über Brasilien, NARVAL-2 2016 über dem tropischen Atlantik und NAWDEX 2016 über dem Nordatlantik an Bord von HALO. Weitere Einsätze sind für die kommenden HALO Kampagnen EUREC4A, CIRRUS-HL und AC3 in den kommenden Jahren geplant.

Die möglichst vollständige Charakterisierung der Wolken im Raum war das Ziel dieser Einsätze. Bedeckungsgrad, Wolkenoberkanten-Höhe genauso wie Phasenunterscheidung, optische Dicke und Effektivradius der Wolkenpartikel in verschiedenen Höhen kann auf Basis dieser Daten vorgenommen werden. Gemeinsam mit weiteren Messungen der parallel auf HALO geflogenen aktiven Messungen mit Radar und Lidar sowie dem passiven Mikrowellenradiometer lassen sich weitere Parameter eingrenzen: z.B. die Flüssigwasserverteilung oder die Tröpfchenkonzentration. Basierend auf dieser Wolkencharakterisierung lassen sich jetzt wissenschaftliche Fragestellungen untersuchen: z.B. die Wechselwirkung von Aerosol-Wolkenverteilung-Wolkenmikrophysik-Strahlungsbilanz oder auch die Rückkopplung der Wolkenentstehung auf die atmosphärische Dynamik durch diabatische Strahlungserwärmung und -abkühlung.

Bei Ableitungsverfahren basierend auf hochaufgelösten solaren Messdaten ist die Berücksichtigung dreidimensionaler (3D) Strahlungstransporteffekte unerlässlich. Ein wichtiger Teil der 3D Unsicherheit wird durch unbekannte Wolkengeometrie verursacht. Aus diesem Grund ist die Ableitung der Wolkenoberflächegeometrie ein wichtiger methodischer Schritt, der mit Hilfe von stereographischen und spektralen Auswertungen erreicht wird. Die optimale Kombination von vertikal sondierenden Messungen (Radar, Lidar, MWR) und horizontal abbildenden solaren Messungen wird durch die Ausnutzung der gesamten spektralen Information erzielt. Es entsteht eine 3D Verteilung der Wolkenmikrophysik für den gesamten durch die HALO Fernerkundungs-Instrumentierung abgedeckten Messbereich. Es werden Methoden und Beispielpunkte präsentiert.



## **Datenverarbeitung mit Python – Eine Einführung**

Eckhard Kadasch and Klaus Pankatz

Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland (eckhard.kadasch@dwd.de)

In der Meteorologie nimmt die Verarbeitung von Beobachtungs- und Simulationsdaten eine zentrale Rolle ein. Traditionell wurden für die verschiedenen Teile des wissenschaftlichen Workflows unterschiedliche quelloffene oder kommerzielle Werkzeuge verwendet: Kompilierte Sprachen für komplexe Simulationen und Datenanalyse, Shell-Skripting zur Prozessautomatisierung sowie Darstellungs-orientierte Skriptsprachen und Programmpakete für das Erzeugen wissenschaftlicher Darstellungen in Publikationsqualität.

Python bietet eine quelloffene Alternative zu diesen Werkzeugen und vereint sie in einer Umgebung. Als interpretierte Hochsprache mit einem breiten Ökosystem von wissenschaftlichen Bibliotheken verbindet Python die Lesbarkeit von Skriptsprachen mit hoher Recheneffizienz, die mit kompilierten Sprachen vergleichbar ist.

Dieser Workshop gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Python zur wissenschaftlichen Datenverarbeitung und stellt eine Auswahl von Bibliotheken vor. Anhand von Beispielen wird gezeigt, wie netCDF- und CSV-Daten gelesen und geschrieben, Daten zwischen verschiedenen Geo-Referenzsystemen transformiert und dargestellt, und wie wissenschaftliche Darstellungen erzeugt werden können. Der Workshop richtet sich an Studenten und Wissenschaftler mit allgemeinen Programmierkenntnissen, setzt aber keine Python-Kenntnisse voraus.



## **Temperatur und Feuchteverhalten in zwei parallelen Straßen mit unterschiedlichen Baumarten während der IOP III und IV 2018 in Berlin**

Ines Langer, Elham Fakharizade, Jochen Werner, and Sahar Sodoudi  
Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin

Das ‚Stadtklima im Wandel‘, ein BMBF-Verbund Projekt hat u.a zum Ziel, Messdaten für die Evaluierung des PALM-4U Modells zu erheben, welches im Teilprojekt, **Dreidimensionale Observierung atmosphärischer Prozesse in Städten** (3DO), erfolgt. Dazu wurden im Jahr 2018 Intensivmessungen in Berlin unter Bäumen durchgeführt. Zwei parallele Straßenzüge mit unterschiedlicher Breite und Baumtypen wurden im Bezirk Steglitz ausgewählt, die im Einzugsgebiet des Evaluierungsgebietes des Modells PALM-4U (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>) liegen. Der Messzeitraum erstreckte sich von Januar 2018 bis Oktober 2018. Gemessen wurden die Temperatur und Feuchte in einer Strahlenschutzhütte in einer Höhe von 3 Metern am Baumstamm. Die Messergebnisse wurden mit den Daten der WMO-Station 10381 (Berlin-Dahlem), die sich in einer Entfernung von 1.5 km Luftlinie befindet, verglichen. Im Ergebnis zeigt sich, dass die belaubten Bäume mit unterschiedlicher Kronengröße nur während der Hitzeperiode vom 31.07.2018 bis zum 09.08.2018 Temperaturunterschiede aufzeigten. Nachts ist die Station Berlin-Dahlem bis zu 5K kälter, tagsüber ist diese allerdings nur geringfügig um 1.5K wärmer. Diese Daten werden zur Validierung des Modells verwendet, da das Modell stadtspezifische Strukturen wie auch Straßen mit Bäumen auflöst.

## Dürre in Sachsen – ein zunehmend relevantes Phänomen

Thomas Pluntke (1), Johannes Franke (2), and Stephanie Hänsel (3)

(1) Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, (2) Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie, (3) Deutscher Wetterdienst, Offenbach

Eine allgemeingültige Definition für Dürre bzw. Trockenheit existiert nicht. Allen Definitionen gemein ist das Vorhandensein einer selten vorkommenden Wassermangelsituation. Die Zeitdauer der Akkumulation des Feuchtedefizits beeinflusst maßgeblich die Auswirkungen auf die sozioökonomischen Bereiche der Gesellschaft und ist somit eine multi-skalige Phänomen. Ein Niederschlagsdefizit, ggfls. verbunden mit verdunstungsfördernden Witterungsbedingungen, führt nach wenigen Wochen zu einer meteorologischen Dürre. Sinken die Bodenwasservorräte bei länger anhaltenden Dürren, so wirkt sich dies auf die Land- und Forstwirtschaft aus. Von einer hydrologischen bzw. Grundwasserdürre spricht man bei signifikanten Verlusten für das Oberflächen- und Grundwasser. Die Auswirkungen von Dürren können enorme ökologische und wirtschaftliche Schäden hervorrufen, können aber durch ein entsprechendes Management der Wasserressourcen und eine angepasste Flächenbewirtschaftung minimiert werden.

Im Freistaat Sachsen kam es in den vergangenen Jahrzehnten zu einer Umverteilung des Niederschlages. Hervorzuheben ist ein zunehmendes Niederschlagsdefizit in der Vegetationsperiode VP 1 (Apr-Jun). Mengemäßig fiel zwar in der VP 2 (Jul-Sep) mehr Niederschlag. Jedoch sorgte eine Häufung und Intensivierung von Starkniederschlägen für verstärkte Trockenperioden zwischendurch. Die Häufung von besonders trockenen Perioden in den letzten 15 Jahren (2003, 2015, 2018) sorgte für eine Sensibilisierung der Öffentlichkeit.

Vor diesem Hintergrund soll eine Einordnung des trockenen Sommerhalbjahrs 2018 in die Entwicklung der letzten Jahrzehnte für Sachsen vorgenommen werden. Anhand von Indikatoren, die unterschiedliche Wirkzeiträume berücksichtigen, werden potentielle sozioökonomische Auswirkungen aufgezeigt. Vorläufige Analysen zeigen, dass die Kombination von hohen Temperaturen und Sonneneinstrahlungen sowie geringen Niederschlägen zu einer flächenhaften, extremen Dürre geführt haben. Im Mittelgebirge erreichte die klimatische Wasserbilanz (Differenz aus Niederschlag und Potentieller Verdunstung) einmalige Tiefstwerte.

## Analyse der Veränderungen des Risikos aus Hagelunwettern in Europa

Anja Rädler (1), Christopher Castellano (2), Pieter Groenemeijer (2), Tomáš Púčik (2), and Eberhard Faust (1)

(1) Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München, Deutschland, (2) European Severe Storms Laboratory e.V. (ESSL), Weßling, Deutschland

Schergewitter verursachen in Europa jährlich Schäden in Höhe von fast 3 Milliarden Euro. Hagelstürme sind für einen erheblichen Anteil sowohl der teuersten Einzelereignisse als auch der durch Gewitter verursachten Gesamtschäden verantwortlich. Trotz des großen Schadenpotentials sind die klimatologischen Aspekte von großem Hagel und der Zusammenhang zwischen Extremwetterereignissen und Klimaveränderungen in Europa nur unzureichend verstanden. Die Entwicklung eines Hagelrisikomodells dient dazu, das Risiko eines Hagelsturms in Europa besser zu bewerten. Das Risiko setzt sich aus den drei Komponenten Gefährdung, Werte und Vulnerabilität zusammen.

Im ersten Schritt haben wir uns auf die Gefährdung konzentriert und ein probabilistisches Modell in Form einer additiven logistischen Regression für das Auftreten von konvektiven Extremwetterereignissen (AR-CHaMo) entwickelt. Die prognostizierte Wahrscheinlichkeit für eine Gefährdung folgt aus dem Produkt der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Gewitters und der Wahrscheinlichkeit, dass ein bereits existierendes Gewitter eine Gefährdung wie z.B. großer Hagel hervorbringt. Die Modelle wurden anhand von EUCLID Blitzdaten und ESWD Unwetterdaten für Zentraleuropa für den Zeitraum 2008-2016 entwickelt und auf ERA-Interim Reanalyse-Daten im Zeitraum von 1979 bis 2016 angewandt, um vergangene Veränderungen abzuschätzen. Weiterhin ermöglicht AR-CHaMo die Analyse der zukünftigen Veränderungen der Auftrittswahrscheinlichkeit und Intensität von Extremwetterereignissen. Hierfür wurde ein Klimaensemble, bestehend aus 14 EURO-CORDEX Ensemblemitgliedern, für den historischen Zeitraum 1971-2000 verwendet, sowie für drei „Repräsentative Konzentrationspfade“ (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5) für zwei zukünftige Zeiträume (2021-2050 und 2071-2100). Zunahmen sowohl für Gewitter und alle betrachteten Gefährdungen wurden für Zentral- und Osteuropa identifiziert. Grundsätzlich wird prognostiziert, dass Gewitter in der Zukunft mit größerer Wahrscheinlichkeit Gefahren wie Hagel oder Windböen hervorbringen.

Im zweiten Schritt wurde ein historisches Hagel-Eventset erstellt. Hierfür wurden jüngste Hagelzüge im Zeitraum von 2015 bis 2017 objektiv aus hochaufgelösten Radardaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ermittelt, indem kontinuierliche Bereiche identifiziert wurden, in denen der Wert für das über 6h akkumulierte vertikal integrierte Eis (VII) die Kriterien für Mindestintensität (25 kg m<sup>-3</sup>) und Fläche (25 km<sup>2</sup>) erfüllt. Mit Hilfe von Bildverarbeitung wurden Hagelzugellipsen erzeugt und die dazugehörigen Eigenschaften wie Fläche, Länge und Orientierung identifiziert. Schließlich wurde für jedes 6-Stunden-Intervall im Zeitraum 1979-2017 das AR-CHaMo Modell auf ERA-Interim-Reanalyse-Daten angewandt, um das Auftreten / Nicht-Auftreten von Hagel und die Anzahl der Hagelzüge in jeder Reanalyse-Gitterzelle zu modellieren. Für jeden simulierten Hagelzug wurde die Fläche, Länge und Orientierung basierend auf den räumlichen Eigenschaften der VII-Hagelzugellipsen abgeschätzt.

Im letzten Schritt wurde der mögliche Schaden pro Hagelereignis unter Berücksichtigung der getroffenen Werte und deren Vulnerabilität berechnet und der Schaden für verschiedene Wiederkehrperioden abgeschätzt.

## **METRAS-PCL 5.0 - die neue Anwenderversion des prognostischen mesoskaligen Modells METRAS**

David Grawe (1), Ronny Petrik (1,2), and K. Heinke Schlüenzen (1)

(1) CEN, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, (2) Helmholtzzentrum Geesthacht (HZG)

In der gutachterlichen Anwendung wird zur Windfeldberechnung seit langem das prognostische mesoskalige Modell METRAS-PCL eingesetzt. METRAS-PCL ist die Anwenderversion des wissenschaftlichen Modells METRAS. Für die in 2018 fertig gestellte Version METRAS-PCL 5.0 wurden viele Aktualisierungen der wissenschaftlichen Version aufgenommen. Eine wichtige Neuerung betrifft die Berücksichtigung von mehr Oberflächenbedeckungsklassen, wodurch eine deutliche feinere Klassifizierung und realitätsnähere Berücksichtigung der Oberflächeneigenschaften möglich ist. Das Modell unterscheidet über 50 verschiedene Oberflächenbedeckungsklassen und berücksichtigt zudem in jeder Gitterzelle auch subskalige Flächennutzungen, deren Effekte über eine Flussmittelungsmethode in die Modellrechnungen eingehen. Damit ist ein breiterer Einsatzbereich des Modells möglich. METRAS-PCL wurde evaluiert nach VDI 3783 Blatt 7.

Damit das Modell in der Praxis einfach anwendbar ist, wird ein Präprozessor zur Aufbereitung der Topographie bereit gestellt sowie ein fein aufgelöster topographischer Datensatz für Deutschland. Dieser basiert auf dem Datensatz LBM-DE 2012. Damit diese Daten allgemein verfügbar gemacht werden konnten, mussten sie aufbereitet werden. LBM-DE enthält sowohl fein aufgelöste ATKIS-Informationen, als auch frei verfügbare aber gröbere CORINE-Informationen. Diese Datensätze wurden so verschnitten, dass die Oberflächenanteile des ATKIS Datensatzes zur Charakterisierung der Oberflächeneigenschaften jeder CORINE-Klasse verwendet werden kann. Verfügbar ist inzwischen auch ein Programm zur Orographiefilterung, das diese in Übereinstimmung mit VDI 3783 Blatt 16 glättet. Die Datenaufbereitung der Topographiedaten wird in diesem Beitrag verdeutlicht. Ergebnisse verschiedener Modellanwendungen werden diskutiert.

## **Meteorologische und ozeanographische Daten für den weiteren Ausbau der Windenergie in der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands**

Birger Tinz (1), Olaf Outzen (2), Frank Kasper (1), and Michael Gehrke (2)

(1) Deutscher Wetterdienst, Climate Monitoring, Hamburg, Germany (birger.tinz@dwd.de), (2) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg

Mit dem Windenergie auf-See-Gesetz (WindSeeG) sollen ab 2021 in einem neuen Verfahren jährlich Windparkflächen in der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands (AWZ, Deutsche Bucht und Westliche Ostsee) versteigert werden. Das BSH hat die Aufgabe, die Teilnehmer dieser von der Bundesnetzagentur durchgeführten Flächen-Ausschreibungen mit Informationen über die Umweltbedingungen an den geplanten Offshore-Windparkstandorten zu versorgen. Dazu gehört auch die Erstellung von Berichten über die Wind- und ozeanographischen Verhältnisse, wobei bei Ersterem der DWD das BSH unterstützt.

Für die Beschreibung der meteorologischen und ozeanographischen Verhältnisse werden sowohl vor Ort gemessene („in-situ“) Daten, als auch Modelldaten aus Simulationen benötigt. Beide sind unabdingbar für die Erstellung von Statistiken meteorologischer und ozeanographischer Parameter wie Windgeschwindigkeit und -richtung, Turbulenz, Seegang, Wasserstand und Strömung. Die in-situ-Daten stammen von den FINO-Stationen (Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee), vom Marinen Messnetz des BSH (MARNET) und aus Messkampagnen mit LiDAR-Systemen, Bojen und mit ozeanographischen Geräten ausgestatteten Bodengestellen.

Die Modellierungen umfassen mehrere Bereiche: Beim Wind betrifft dies die Erstellung eines Ensembles von Reanalysen, um auch ein Maß für die Unsicherheit zu erhalten. Für die sich als immer relevanter erweisende Veränderung der Windverhältnisse im Lee von Windparks sollen hoch aufgelöste Modellierungen durchgeführt werden, um einen klimatologischen „Fußabdruck“ von Windparks zu bestimmen. Weitere Aspekte betreffen die Bereitstellung von Informationen über Wetterfenster und die Analyse der (multi-)dekadischen Variation des Windes.

Reanalysen der Atmosphäre sind langjährige Datensätze, die unter Verwendung der Verfahren der Wettervorhersage in Kombination mit archivierten Beobachtungsdaten erstellt werden und eine realitätsnahe Simulation der vergangenen Wetterverhältnisse darstellen. Sie können daher Informationen über die Windverhältnisse, wie auch für den Antrieb der Ozean-Modellanalyse liefern. Aus diesen Simulationen werden zeitlich hochaufgelöste Zeitserien der relevanten meteorologischen und ozeanographischen Parameter an allen für die Ausschreibung in Frage kommenden Flächen herausgeschrieben. In den letzten Jahren zudem auf Basis des DWD-Modells COSMO eine hochaufgelöste regionale Reanalyse erstellt (COSMO-REA6). Die Qualität wird durch den Vergleich mit unabhängigen Datenquellen sowie zu anderen europäischen Reanalysen bewertet.

Die potentiellen Bieter erhalten im Jahr 2021 die vom BSH erstellten Daten und Berichte, um ohne eigene Messungen Gebote für die Flächen N-3.7 und N-3.8 sowie O-1.3 abgeben zu können. N-3.7 und N-3.8 liegen in der südlichen Deutschen Bucht nahe Borkum, O-1.3 nahe der Grenze zur schwedischen AWZ nordwestlich des Arkona-Beckens. Die genaue Lage der Flächen kann dem Entwurf des Flächenentwicklungsplans auf der Website des BSH entnommen werden (dieser stellt einen Planungsstand dar, welcher sich bis zum 30.06.2019 noch ändern kann). Die Windparks auf diesen Flächen sollen dann in den Jahren 2024/25 gebaut und im Jahr 2026 in Betrieb genommen werden. Dieses Verfahren wiederholt sich dann in den Folgejahren für weitere Flächen.

## **Stürme in der Deutschen Bucht und der Westlichen Ostsee in globalen und regionalen Reanalysen der Atmosphäre**

Birger Tinz (1), Natacha Fery (2), Anette Ganske (3), Friederike Bégué (4), Frank Kaspar (1), Tina Leiding (1), Lydia Gates (1), and Thomas Möller (1)

(1) Deutscher Wetterdienst, Climate Monitoring, Hamburg, Germany (birger.tinz@dwd.de), (2) Danish Hydraulic Institute Hørsholm, (3) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg, (4) UL International Wilhelmshaven

Stürme und damit verbundene Sturmfluten bzw. –hochwasser sind im Küstenbereich besonders relevante Ereignisse mit einem hohen Schadenspotenzial. Die Beurteilung der Schwere von Stürmen kann im Bereich der Deutschen Bucht und der Westlichen Ostsee durch Messungen von Windgeschwindigkeit und –richtung an Messstationen z.B. des Deutschen Wetterdienstes, des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie sowie an den Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee (FINO123) erfolgen. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von globalen und regionalen Reanalysen, die im Rahmen ihrer jeweiligen Auflösung räumlich und zeitlich komplette Datensätze der Atmosphäre bereitstellen. Die sich hier stellende Frage der Güte dieser Reanalysen während historischer Stürme soll in diesem Beitrag untersucht werden.

Die Stürme Britta (2006), Kyrill (2007), Tilo (2007), Christian (2013) und Xaver (2013) wurden für detaillierte Untersuchungen ausgewählt. Als Referenzmessungen dienen FINO1 nördlich von Borkum, FINO<sub>2</sub> nördlich von Rügen und FINO 3 westlich von Sylt. Deren Messungen im Höhenbereich von 30-100 m wurden kürzlich im BMWi-Verbundprojekt FINO-Wind mit einem automatischen Verfahren einer standardisierten Qualitätskontrolle unterzogen. Des Weiteren wurde der richtungsabhängige Einfluss des Messmastes auf die gemessene Windgeschwindigkeit sektorenweise korrigiert. Für den Vergleich mit Modelldaten standen die Reanalysen NOAA CIRES 20CR, ERA-Interim, ERA5 und COSMO REA6 zur Verfügung.

Als ein Ergebnis zeigt sich, dass alle Reanalysen in der Lage sind langsam ziehende, großräumige Sturmtiefs zu repräsentieren. Kleinräumige, schnell ziehende Tiefs können nur von der zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Reanalyse COSMO REA6 (DWD und Uni Bonn) hinreichend gut beschrieben werden. Ein weiterer Aspekt ist, dass die im Projekt FINO-Wind erfolgte Korrektur der Windgeschwindigkeit aufgrund des durch den Messmasten induzierten Windschattens erfolgreich ist, wie es sich während des Orkans XAVER an FINO1 deutlich zeigt.

Die Untersuchungen erfolgten im BMBF-Forschungsprojekt EXTREMENESS, das eine Laufzeit von 2016-2019 hat.

## **Maßgeschneiderte MET-Dienste zur Klima-Optimierung von Flugzeugtrajektorien**

Sigrun Matthes and Volker Grewe

DLR e.V., Institute of Atmospheric Physics, Wessling, Germany (sigrun.matthes@dlr.de)

Die Nutzung von maßgeschneiderten und verlässlichen MET-Informationendiensten (advanced MET information services) für die Trajektorienplanung hat ein hohes Potential um die Effizienz von Flugzeugbewegungen zu erhöhen. In dieser Arbeit werden insbesondere innovative meteorologische Informationen zur Klima-Optimierung im Hinblick auf einen nachhaltigen Luftverkehr vorgestellt.

Eine verbesserte Information über die Situation, und die Nutzung von aktueller, hochauflösender graphischer oder strukturierter meteorologischer Information, wird zu einer genaueren Beschreibung der dynamischen Flugumgebung für die Besatzung beitragen, in dem Schlüsselinformationen für der Key Performance Areas (KPA) Umwelt bereitgestellt werden. Durch die verbesserte Beschreibung werden bessere strategische Entscheidungen gefällt. Es wird davon ausgegangen, dass solche Verbesserungen durch verbesserte Information eine Erhöhung der Effizienz und entsprechend der Nachhaltigkeit haben. In dieser Studie stellen wir insbesondere die Erhöhung der Nachhaltigkeit im Hinblick auf die Klimawirkung vor.

Für den Anwendungsfall der Klima-optimierten Flugzeugtrajektorie und für das Assessment der umweltrelevanten Leistungsparameter der Trajektorien werden meteorologische Informationsdienste benötigt, die ein Maß oder eine Metrik zur Verfügung stellen um die Umweltwirkung einer Trajektorie zu berechnen. Wir stellen in dieser Arbeit vor, wie eine solche Schnittstelle mit den sogenannten Environmental change Functions (ECFs) hergestellt werden kann, in dem diese die globale Wirkung einer Flugzeugemission als Funktion des Emissionsortes und des Zeitpunktes angeben. Diese ECFs werden mit Hilfe von umfassenden Klima-Chemie-Modellen berechnet, bzw. mit algorithmischen Ansätzen aus den meteorologischen Parametern abgeleitet.

Die vorgestellte Arbeit zu einem maßgeschneiderten meteorologischen Informationsdienst (MET service) für die Effizienz und die Umwelt stellt eine Fortsetzung von Arbeiten aus dem Rahmen von SESAR1 zur Trajektorienplanung

und –management dar. Sie sind Teil des Projektes PJ18 4DTM welches Förderung aus dem SESAR Joint Undertaking under grant agreement No. 734161 im Forschungsrahmenprogramme Horizon 2020 der Europäischen Union.



## **What controls reactive species in the upper troposphere and lower stratosphere: aircraft measurement and EMAC modelling**

Sigrun Matthes (1), Mariano Mertens (1), Helmut Ziereis (1), Patrick Jöckel (1), Andreas Zahn (2), and Astrid Kerckweg (3)

(1) DLR e.V., Institute of Atmospheric Physics, Wessling, Germany (sigrun.matthes@dlr.de), (2) Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 76021 Karlsruhe, Germany, (3) Meteorologisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 53121 Bonn, Germany

Reaktive Spezies spielen eine wichtige Rolle in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre (UTLS), da eine geänderte chemische Zusammensetzung zu einer Veränderung des Strahlungsgleichgewichts führt. Aus dem Vergleich von Flugzeugmessungen mit einer umfassenden chemischen Modellierung können Rückschlüsse über die Beschreibung der Prozesse gewonnen werden, die im Hinblick auf ein verbessertes Verständnis des atmosphärischen Beitrags von Luftverkehrsemissionen wesentlich sind. Im Rahmen dieser Arbeit werden Messungen reaktiver Spezies, Ozon und Stickoxide, mit Werten aus einem skalenerübergreifenden, regional-globalen Atmosphärenmodell, MECO(n), verglichen.

Wir verwenden das atmosphärische Modell MECO(n), welches globale Modellierung in EMAC (ECHAM5) mit regionaler Modellierung (nesting) in COSMO verbindet. MECO(n) entspricht einer Modellierung in der MESSy-Infrastruktur, die die Modelle ECHAM und COSMO n-Mal ‚nested‘ und umfassende Chemie und Diagnostiken umfasst. Es wurde u.a. eine Reanalyse-Simulation für die ML-CIRRUS Kampagnenperiode (März und April 2014) durchgeführt, die auf ECMWF Reanalysedaten beruht. Zentraler regionaler Fokus der Analyse ist die UTLS über Europa und im Nordatlantischen Flugkorridor und dort die Bedeutung der meteorologischen Wetterlagen auf einer synoptischen Skala.

Die Arbeit wird zunächst die atmosphärischen Mischungsverhältnisse des MECO(n)-Hindcast mit den Flugzeugmessungen vergleichen. Hierbei werden sowohl Beobachtungen mit HALO als auch von CARIBIC2/IAGOS systematisch verglichen. Die Analyse zeigt, dass je nach synoptischer Situation die beobachteten Variationen wiedergegeben werden. Teils gibt bereits die globale Modellinstanz die beobachteten Variationen wieder, teils ist erst durch die höherauflösende, regionale Modellierung die beobachtete Variation nachzuvollziehen. Zusätzlich werden einzelnen synoptische Situationen vorgestellt, die eine Herausforderung für die Wiedergabe der meteorologischen Parameter darstellen. Abschließend werden Ideen vorgestellt, wie das Signal des Luftverkehrs in der Atmosphäre gemessen werden könnte.

Die Arbeit wird vom DLR-Projekt Eco2Fly unterstützt und nutzt Messdaten von CARIBIC/IAGOS. Die High-Performance Computing Simulationen mit EMAC und MECO(n) wurden am Deutschen Klima-Rechenzentrum (DKRZ) in Hamburg durchgeführt.



## **Der Einfluss der atmosphärischen Zirkulation auf das Vorkommen heißer Nächte in Mitteleuropa**

Arkadiusz Tomczyk

Abteilung für Klimatologie, Adam Mickiewicz Universität in Poznań, Polen (atomczyk@amu.edu.pl)

Das Hauptziel der Untersuchung war die Analyse des Vorkommens von heißen Nächten und ihrer Zirkulationsursachen. Das Ziel wurde auf der Grundlage von Daten aus den Jahren 1966-2015 realisiert. Die Daten stammen aus dem polnischen Institut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (Institut für Meteorologie und Wasserwirtschaft - Nationales Forschungsinstitut), dem Deutschen Wetterdienst und dem National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR) (Nationales Zentrum für Umweltvorhersage / Nationales Zentrum für Atmosphärenforschung). Als heiße Nacht gilt ein Tag, an dem minimale tägliche Lufttemperatur  $>18 [U+25E6] C$  beträgt. In den untersuchten Jahren wurde ein Anstieg der Anzahl von heißen Nächten festgestellt, der im vorherrschenden Gebiet statistisch signifikant war. Ein starker Anstieg der heißen Nächte war im 21. Jahrhundert, dessen Manifestation das Vorkommen der maximalen saisonalen Anzahl heißer Nächte nach 2000 war. Die Studie zeigt, dass das Auftreten heißer Nachtwellen in Mitteleuropa im Durchschnitt mit einem Hochdruckkeil verbunden ist, innerhalb dessen sich ein lokaler Hochdruck entwickelt. Während der heißen Nachtwellen wurden über dem Untersuchungsgebiet die positiven Anomalien der isobaren Oberflächenhöhe mit einem Maximum in der oberen Troposphäre festgestellt. Die größten Anomalien der Lufttemperatur wurden bei den niedrigsten Isobaren (bis zu  $6 [U+25E6] C$ ) registriert. In der oberen Troposphäre waren die Anomalien negativ.



## **Ein streulichtkorrigiertes Array-Spektrometer für komplexe hochdynamische Messungen im UV-Spektralbereich**

Ralf Zuber (1), Peter Sperfeld (2), Saulius Nevas (2), Meelis Sildoja (2), and Stefan Riechelmann (2)

(1) Gigahertz-Optik GmbH, Türkenfeld / München, Deutschland, (2) Physikalisch Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig & Berlin, Deutschland

Ein kompaktes Array-Spektralradiometer, das hochgenaue Messungen im UV-Spektralbereich ermöglicht, wird vorgestellt. Sein Design ermöglicht verschiedene Anwendungen wie die Risikoeinschätzung von Quellen und Messung der Sonneneinstrahlung. Das interne Streulicht, das häufig vorherrscht und der begrenzende Faktor im UV-Spektralbereich ist, wird physikalisch reduziert, so dass keine anderen Streulicht-Reduktionsverfahren notwendig sind, z. mathematische Korrekturen. Das Instrument und seine aufwendigen Komponenten wurden in der PTB ausführlich charakterisiert und die hohe Qualität der Anwendbarkeit konnte durch Messungen der direkten Sonneneinstrahlung während eines internationalen Ringvergleichs demonstriert werden.



## **Qualitätssicherung atmosphärischer NO<sub>2</sub>-Messungen für ACTRIS/GAW im Rahmen des MetNO<sub>2</sub>-Projekts**

Annika Kuß (1), Dagmar Kubistin (1), Robert Holla (1), Christian Plaß-Dülmer (1), Dave Worton (2), David Hemfrey (2), and Maitane Iturrate-Garcia (3)

(1) Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, (2) Chemical, Medical and Environmental Science Department, National Physical Laboratory, UK, (3) Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Labor Gasanalytik, CH

Als toxisches und reaktives Gas beeinflusst Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) die Luftqualität und Gesundheit, die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre und die photochemische Smogbildung. Die Beobachtung von NO<sub>2</sub> gewinnt zunehmend an Bedeutung, um die atmosphärische Zusammensetzung vorherzusagen und um über ein unabhängiges Maß zur Überprüfung der Emissionsinventare zu verfügen. Verlässliche wissenschaftliche Daten mit hoher Qualität und Vergleichbarkeit sind für nationale und internationale Entscheidungsträger erforderlich. Am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg werden Hintergrundkonzentrationen von NO<sub>2</sub> im Rahmen der World Meteorological Organization (WMO) und Global Atmosphere Watch (GAW) und des europäischen ACTRIS Programms kontinuierlich gemessen, um Trends zu bestimmen und die Beziehung zwischen Umwelt und Klima zu analysieren. Während NO<sub>2</sub> in der Vergangenheit indirekt über chemische Lumineszenz (CLD) gemessen wurde, ermöglichen technische Entwicklungen die direkte und selektive Messung von NO<sub>2</sub> über optische Verfahren. Die Qualität der NO<sub>2</sub>-Messungen ist hierbei entscheidend von der Güte der Kalibrierstandards abhängig. Um die von ACTRIS (European Research Infrastructure for the observation of Aerosol, Clouds and Trace Gases) und GAW geforderten Qualitätsziele zu erreichen, werden innerhalb des MetNO<sub>2</sub> Projekts im Rahmen des EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) Programms akkurate und stabile NO<sub>2</sub>-Kalibrierstandards für den Einsatz an Bodenmessstationen entwickelt und NO<sub>2</sub>-Messverfahren auf Artefakte und Performance untersucht. Das etablierte Kalibrierungskonzept der Gasphasentitration von NO wird mit neu entwickelten Standards und dynamischen Kalibriermethoden verglichen. Der DWD entwickelt eine spektroskopische Methode zur Analyse von Verunreinigungen in NO<sub>2</sub> Gasstandards, die auf dem Prinzip der Thermal Dissociation - Cavity Attenuated Phase Shift (TD – CAPS) basiert. Diese Methode dient der Bestimmung von Peroxynitrat-, Alkylnitrat- und Salpetersäureverunreinigungen in NO<sub>2</sub>-Gasstandards. Erste Ergebnisse des Vergleichs eines tragbaren dynamischen NO<sub>2</sub>-Gasstandard-Generators (ReGaS1) und der am Hohenpeißenberg angewandten Kalibriermethoden werden vorgestellt.