



















WISSENSCHAFTLICHE RESULTATE 2011/2012





Herausgeber: Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH

Zugspitzstr. 5; 82475 Zugspitze

Internet: www.schneefernerhaus.de

Druck: StMUV

Stand: 2. Auflage Januar 2018

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung, Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zu Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird die Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

Umweltforschungsstation Schneefernerhaus auf der Zugspitze: Wissenschaftliche Resultate 2011 / 2012

| Inhaltsverzeichnis: | | Seite: |
|---------------------|---|--------|
| 1. | Beitrag zur Verbesserung von Klimamodellen Projekt BHEA: Bedeutung von Hochgebirgszügen für den Energie- Transport in der Atmosphäre Sabine Wüst ¹ , Verena Wendt ² und Michael Bittner ^{1,3} ¹ DLR Oberpfaffenhofen, ² UFS Zugspitze, ³ Universität Augsburg | 06 |
| 2. | Beobachtung des OH-Nachtleuchtens im Alpenraum im Rahmen des Projektes GRIPS Backup Sabrina Wildner ¹ , Carsten Schmidt ¹ , Paul Wachter ² , Sabine Wüst ¹ und Michael Bittner ^{1,2} ¹ DLR-DFD, Oberpfaffenhofen, ² Universität Augsburg | 08 |
| 3. | Modellierung der alpinen Schneedecke im Bereich des Zugspitzplatts M. Bernhardt, S. Härer, K. Schulz LMU München | 10 |
| 4. | Messung radioaktiver Spurenstoffe in der Atmosphäre im Rahmen des Global Atmosphere Watch Programmes der WMO Gabriele Frank ¹ , Joseph Salvamoser ² , Thomas Steinkopf ¹ Deutscher Wetterdienst Offenbach, ² Institut für angewandte Isotopen-Gas- und Umweltuntersuchungen Wörthsee | 12 |
| 5. | Einflüsse des Hochgebirgsklimas auf Allergien und Umweltkrankheiten an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus Eberlein B. ¹ , Fischer R. ² , Behrend H. ³ , Huber R. ² , Ring J. ¹ ¹ Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Allergologie am Biederstein, TU München, ² Medizinische Klinik Innenstadt, Fachbereich Pneumologie, LMU München, ³ Zentrum für Allergie und Umwelt, TU München und HelmholtzZentrum München | 14 |
| 6. | Aktueller Stand und Ergebnisse der vegetationskundlichen Untersuchungen auf dem Zugspitzplatt Oliver Korch und Arne Friedhelm Universität Augsburg, Institut für Geographie | 16 |
| 7. | Kosmische Strahlung W. Rühm, A. Ackermann, F.Bergmeier, G. Donth, T. Maczka, V. Mares, C. Pioch, M. Wielunski Institut für Strahlenschutz, HelmholtzZentrum München | 18 |

| 8. | CO₂-Isotopologe in der Atmosphäre <i>Michael Leuchner¹, Florian Soutschek¹, Chen Wei¹, Christian Schunk¹, Marvin Lüpke¹, Ludwig Ries², Annette Menzel¹</i> ¹ Ökoklimatologie, TU München, ² Umweltbundesamt | 20 |
|-----|--|----|
| 9. | Permafrost-Messungen des LFU im Zugspitzgipfel: Kommt die Klimaerwärmung bereits im Feld der Zugspitze an? Dr. Andreas von Poschinger und Thomas Gallemann Bayerisches Landesamt für Umwelt, München | 22 |
| 10. | Temperatur-Sensitivität der Phänologie und des Stammwachstums ausgewählter Baumarten des Bergmischwaldes im Zugspitzgebiet Christina Schuster, Annette Menzel Fachgebiet für Ökoklimatologie, TU München | 24 |
| 11. | Stickstoffeinträge in montane und subalpine Fichtenwälder Gert Jakobi und Manfred Kirchner HelmholtzZentrum München | 26 |
| 12. | Untersuchung der mikrohysikalischen Eigenschaften von Schneefall am Schneefernerhaus mit Hilfe von Mikrowellenradiometern Stefan Kneifel ¹ , Xinxin Xie ¹ , Ulrich Löhnert ¹ , Martin Hagen ² und Susanne Crewell ¹ ¹ Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, ² DLR-IPA, Oberpfaffenhofen | 28 |
| 13. | DZUG – Downscaling Projekt Zugspitze: Statistische Modellierung an der Zugspitze mithilfe von Wetterlagenklassifikationen und neuronalen Netzen Andreas Philipp, Christoph Beck und Jucundus Jacobeit Institut für Geographie, Universität Augsburg | 31 |
| 14. | Differenzen bei der Extremtemperaturmessung im Zugspitzgebiet zwischen verschiedenen Sensoren Klaus Hager, Esther Oßwald und Jucundus Jacobeit Institut für Geographie, Universität Augsburg | 34 |
| 15. | Tracerhydrologische Untersuchungen im Zugspitzgebiet – Abgrenzung des Partnachgebietes im Osten Georg Strobl und Karl-Friedrich Wetzel Institut für Geographie, Universität Augsburg | 36 |
| 16. | Radioökologie bei Schnee Kerstin Hürkamp, Felix Bernauer, Stefanie Tafelmeier und Jochen Tschiersch HelmholtzZentrum München, Institut für Strahlenschutz | 38 |

| 17. | Ein neuer Ansatz zur Abschätzung des Schadenspotentials von Vb-Wetterlagen: CESAR Charakterisierung des differentiellen Energiegehaltes von Vb-Zyklonen über die Quantifizierung abgestrahlter Schwere-und Infraschallwellen in der Atmosphäre Sabine Wüst, Ricarda Kramer, Christoph Pilger und Michael Bittner DLR-DFD, Oberpfaffenhofen | 40 |
|-----|---|----|
| 18. | UFS-DAZ: Datenanalysezentrum für die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) durch das ICSU/WMO Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre (WDC-SAT) Séverine Bernonville, Oleg Goussev und Michael Bittner DLR-DFD, Oberpfaffenhofen | 42 |
| 19. | Entwicklung der Software PRACTISE zur Beobachtung der räumlichen Schneedeckenverteilung Stefan Härer, Matthias Bernhardt und Karsten Schulz Department für Geographie, LMU München | 44 |
| 20. | Azonale Boden-und Vegetationsformationen in der subalpinen und alpinen Stufe des Zugspitzplatts Sven Grashey-Jansen und Clara Seipp Institut für Geographie, Universität Augsburg | 46 |
| 21. | Identifikation und Langzeitmessung von Saharastaub über Süddeutschland Harald Flentje DWD, Meteorologisches Observatorium Hohenpeissenberg | 48 |
| 22. | Messungen von Schwefeldioxid im GAW-Programm der WMO: Status und weitere Anforderungen Stefan Gilge DWD, Meteorologisches Observatorium Hohenpeissenberg | 50 |
| 23. | Beobachtung von Wolken und Niederschlag mit dem Wolkenradar an der Umweltforschungsstation "Schneefernerhaus" Martin Hagen, Kersten Schmidt DLR-IPA, Oberpfaffenhofen | 52 |
| 24. | Messung von Spurengasen in der freien Troposphäre mit der MAX-DOAS-Methode auf dem Schneefernerhaus Katja Seitz ¹ , Johannes Lampel ¹ , Moritz Jurgschat ¹ , Udo Frieβ ¹ , Pieter Valks ² , Nan Hao ² , Ulrich Platt ¹ Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Obernfaffenhofen | 54 |

| 25. | ACRIDICON-Zugspitze Feldkampagne Manfred Wendisch ¹ , Ulrich Pöschl ² , Dagmar Rosenow ¹ , et al. ¹ Leipziger Institut für Meteorologie, Universität Leipzig, ² Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, | 56 |
|-----|--|----|
| 26. | Aerosolokonzentrationen und Aerosoleigenschaften unter Wolken- bedingungen am Schneefernerhaus | 58 |
| | Eric Schlosser, Barbara Altstädter, Claudia Linke, Andreas Riehl, | |
| | Martin Schnaiter, Emre Toprak, Thomas Leisner | |
| | Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und | |
| | Klimaforschung – Atmosphärische Aerosolforschun | |

BEITRAG ZUR VERBESSERUNG VON KLIMAMODELLEN PROJEKT BHEA: BEDEUTUNG VON HOCHGEBIRGSZÜGEN FÜR DEN ENERGIETRANSPORT IN DER ATMOSPHÄRE

SABINE WÜST¹, VERENA WENDT², MICHAEL BITTNER^{1,3}

¹DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN, SABINE-WUEST @DLR. DE

²UFS, ZUGSPITZE

³UNIVERSITÄT AUGSBURG

Schwerewellen haben einen entscheidenden Einfluss auf den Energietransport in der Atmosphäre. Aufgrund ihrer Kleinskaligkeit können sie in den meisten Klimamodellen allerdings nur durch vereinfachende Parametrisierungen (d.h. in diesem Fall Verallgemeinerungen ihrer Wirkung auf die berücksichtigt Atmosphäre) werden. Schwerewellen stellen ein globales Phänomen dar und müssen deswegen auch global erfasst werden. Die einzigen global messenden Instrumente sind satellitengetragen. Ziel des Projektes BHEA ist es daher zu untersuchen, wie sich die Beobachtungsgeometrie eines Satelliteninstruments auf die Erfassung von horizontal unterschiedlich orientierten Schwerewellenfeldern auswirkt.

Signaturen dynamischer Prozesse werden bei verschiedenen Messinstrumenten unterschiedlich in den gemessenen Daten sichtbar. So hat jedes Instrument bzw. jede Messmethode einen für sie typischen Sensitivitätsbereich hinsichtlich der Darstellung etwa von Schwerewellen.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für den Vergleich von Temperaturprofilen gemessen durch ein Satelliteninstrument (rot, aufgenommen von TIMED-SABER, Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics, Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry, NASA) bzw. durch eine ballongetragene Radiosonde (schwarz). Deutlich zu erkennen ist, dass zwar der grobe Verlauf der Profile übereinstimmt, das Satellitenprofil allerdings viel "glatter" ist. Die kleinskaligen Strukturen werden nur in der

Radiosondenmessung aufgelöst. Während im satellitenbasierten Profil also lediglich eine Schwingung sichtbar ist (die in erster Näherung als Schwerewelle interpretiert werden kann), deutet das Radiosondenprofil daraufhin, dass mehrere Wellen zu diesem Zeitpunkt in der Atmosphäre vorhanden waren. Dies stellt nur ein Beispiel von vielen dar.

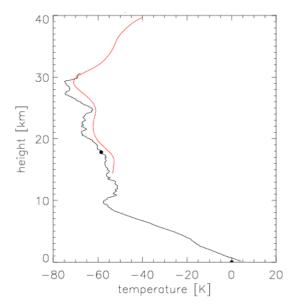


Abb.1: Vergleich von Temperaturprofilen gemessen durch das Satelliteninstrument TIMED-SABER und eine Radiosonde während der BHEA-Kampagne im März 2012.

Die Erfassung von Schwerewellensignaturen mittels Satellit führt also dazu, dass weniger Schwerewellen erfasst werden bzw. die Amplitude der vermessenen Schwerewellen sehr häufig geringer ausfällt. Dies ist von großer Bedeutung, da die Amplitude immer auch ein Maß für die Energie einer Welle darstellt,

und damit für die Parametrisierung von Schwerewellen in Klimamodellen wichtig ist.

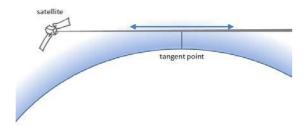


Abb.2: Limbmessende Satelliteninstrumente integrieren aufgrund ihrer Beobachtungsgeometrie über ein ausgedehntes Luftvolumen entlang des Sehstrahls, der tangential zur Erdoberfläche verläuft.

Der Grund für die geringere Sensitivität von satellitenbasierten Instrumenten liegt in ihrer Messmethode. Um vertikal gut aufgelöste Temperaturprofile zu erhalten, wie sie für die Analyse von Schwerewellensignaturen nötig sind, müssen die Atmosphärensensoren tangential zur Erdoberfläche messen an (sog. Limbausrichtung) (siehe Abbildung 2). Die Messung kann dabei immer nur als (gewichteter) Durchschnitt eines ausgedehnten Luftvolumens entlang des Sehstrahls interpretiert werden. Die Strecken, über die das Instrument dabei mittelt, liegen im Bereich der horizontalen Wellenlängen von Schwerewellen (einige Kilometer). D. h. die Schwere- wellen hervorgerufenen Variationen in der Messgröße (z. B. Temperatur) werden entlang des Sehstrahls gemittelt, und somit die tatsäch- lich vorliegenden Schwerewellen in den Mess- daten nur abgeschwächt dargestellt. Die Orien- tierung des Schwerewellenfeldes zur Blickrich- tung des Satellitensensors hat dabei einen star- ken Einfluss auf die Sichtbarkeit der Schwere- wellen in den gemessenen Daten. Dieser Effekt wird im Projekt BHEA untersucht.

Hochgebirgszüge gehören zu den bedeutenden Quellen von Schwerewellen. Sie stellen natürliche Hindernisse für bodennahe Luftströmungen dar und bewirken die Ausbildung von Schwerewellen als Folge der erzwungenen vertikalen Auslenkung von Luftmassen. Orographisch angeregte Schwerewellen sind häufig parallel zum entsprechenden Gebirge orientiert.

Die Observatorien UFS und ALOMAR¹ befinden sich in unmittelbarer Nähe von Gebirgszügen, die sich durch eine gegensätzliche Ausrichtung auszeichnen (Alpen: West-Ost, Skanden: Nord-Süd) auszeichnen. Damit ist zu erwarten, dass orographisch angeregte Schwerewellenfelder in Bezug auf das Blickfeld des satellitenbasierten Instrumentes SABER unterschiedlich ausgerichtet sind (Abbildung 3). Die Kooperation zwischen beiden Observatorien bietet also optimale Voraussetzungen zur Durchführung des Projekts BHEA.

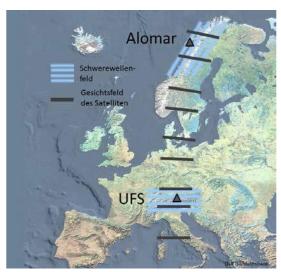


Abb.3: Parallel zu den Gebirgszügen ausgerichtete Schwerewellenfelder (hellblau) in Skandinavien und im Alpenraum sind unterschiedlich zum Sehstrahl des Satelliteninstruments (dunkelgrau) orientiert.

In dessen Rahmen wurde im Frühjahr 2012 eine entsprechende Messkampagne in ALO-MAR (Artic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research) und im Voralpenland bzw. der UFS durchgeführt. Diese basierte auf dem Start einer Vielzahl von Radiosonden. zeitgleichen Satellitenüberflügen möglichst aber auch auf der Verwendung von mehreren Infrarotspektrometern (GRIPS, GRound based Infrared P-branch Spectrometer), die Teil des weltweiten Netzwerkes NDMC (Network for Detection of Mesosphere Change, http://wdc.dlr.de/ndmc) sind und die Ableitung der Mesopausentemperatur erlauben. Diese Messungen werden im Verlauf des Projektes ausgewertet.



BEOBACHTUNG DES OH-NACHTLEUCHTENS IM ALPENRAUM IM RAHMEN DES PROJEKTES GRIPS BACKUP

SABRINA WILDNER¹, CARSTEN SCHMIDT¹, PAUL WACHTER², SABINE WÜST¹UND MICHAEL BITTNER^{1,2}

¹DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN, SABRINA. WILDNER@DLR.DE; CARSTEN. SCHMIDT@DLR.DE

²UNIVERSITÄT AUGSBURG

Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) betreibt seit 2005 in der Umweltforschungsstation "Schneefernerhaus" (UFS) das Infrarot-Spektrometer GRIPS (Ground-based Infrared P-branch Spectrometer) zur operationellen Beobachtung des OH-Nachtleuchtens (engl.: airglow) aus der Mesopausenregion in ca. 87 km Höhe.

Dieses atmosphärische Leuchten rührt aus photochemischen Reaktionen her, bei der angeregte OH-Moleküle erzeugt werden. Diese Energie wird in Form sichtbarer und infraroter Strahlung wieder emittiert; aus den Intensitätsverhältnissen einzelner Übergänge kann die Temperatur abgeleitet werden.

Die Atmosphäre weist in dieser Höhe in etwa dasselbe Mischungsverhältnis wie am Boden auf. Jedoch ist die Dichte gegenüber dem Erdboden um etwa fünf Größenordnungen geringer. Deswegen reagiert diese Region der Atmosphäre sehr viel empfindlicher auf Änderungen als andere Höhenschichten. Hinzu kommt, dass in diesem Höhenbereich der Prozess der Strahlungskühlung d.h. die Abstrahlung von Wärme in den Weltraum besonders durch CO₂ bei 15µm sehr effektiv ist. Dementsprechend wird erwartet, dass sich der Klimawandel aufgrund des CO2-Anstiegs in der Atmosphäre in dieser Höhenregion besonders stark auswirkt; es wird im Gegensatz zur Troposphäre jedoch mit einer Temperaturabnahme in den nächsten Jahrzehnten gerechnet. Die kontinuierliche Messung der Temperatur in der Mesopausenregion stellt somit einen wichtigen Aspekt der Erforschung des Klimawandels dar.

Aber auch auf kürzeren Zeitskalen ist die Temperatur in der Mesopausenregion von einer ausgeprägten Dynamik geprägt. Hier spielen vor allem atmosphärische Wellen eine bedeutende Rolle. Der Einfluss atmosphärischer Wellen reicht von Zeitskalen weniger Sekunden bis zu mehreren Wochen.

Die Mesopausentemperatur wird heute von der UFS aus mithilfe eines sog. GRIPS-Instruments (der neuen Generation) erfasst, das erstmals 2008 auf der UFS in Betrieb genommen wurde (s. Abb. 1).



Abb.1: GRIPS-Instrument der neuen Generation, wie es seit 2008 im Schneefernerhaus vom DLR-DFD operationell betrieben wird. Es ist Bestandteil des GRIPS-Back-UP Systems.

Zur Sicherung eines ununterbrochenen Messbetriebs wurde 2010 im Rahmen des Projektes GRIPS Backup gefördert von der UFS, ein Back-Up System, bestehend aus zwei redundanten Einheiten und ergänzt um eine Infrarotkamera, aufgebaut. Durch die redundante Auslegung wird dabei erstmals eine Betriebssicherheit von über 99 % erreicht. Zudem gehört es mit einer zeitlichen Auflösung von lediglich 10 bzw. 15 Sekunden für die Ableitung eines einzelnen Temperaturwertes weltweit zu den

leistungsfähigsten Instrumenten in diesem Bereich.

Datenprodukte der Messungen werden über das ISO-zertifizierte Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre (WDC-RSAT), der Daten- und Informationsplattform des NDMC (Network for the Detection of Mesosphere Change) täglich aktualisiert zur Verfügung gestellt (http://wdc.dlr.de/ndmc, data products). Hierzu zählen Quicklooks der aktuellen Nacht (siehe Abb. 2), sowie die aktualisierte Zeitreihe der Nachtmittelwerte in der UFS seit 20.1.2010.

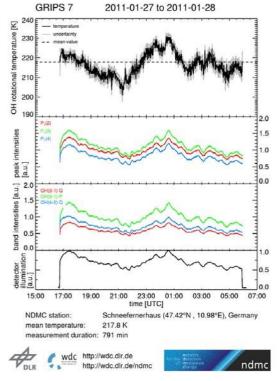


Abb.2: Quicklook der Nacht vom 27.01.2011 – 28.01.2011. Die Temperatur- und Airglowintensitätsverläufe weisen deutliche Modulationen aufgrund von kurzperiodischen Schwerewellen auf.

Der Einfluss atmosphärischer Wellen auf die obere Atmosphäre ist besonders deutlich im Jahresgang der Temperatur der Mesopausenregion zu sehen. Mit einem Unterschied von etwa 50 Kelvin zwischen warmen Temperaturen im Winter und kalten Temperaturen im Sommer macht sich der Einfluss von Schwerewellen auf globale Strömungen in der oberen Atmosphäre bemerkbar. Da Schwerewellen insbesondere beim Überströmen von Gebirgsketten angeregt werden können, stellt die UFS eine hervorragend geeignete Beobachtungsplattform hierfür dar. Bisherige Untersuchun-

gen der Wellenaktivität zeigen eine hohe Aktivität über das gesamte Jahr, mit einer leichten Erhöhung im Winter. Kurzperiodische Schwerewellen im Bereich von 1-4h dominieren das auftretende Wellenspektrum.

Für ein möglichst genaues Verständnis des Einflusses atmosphärischer Wellen ist es unerlässlich, auch ihre räumlichen Parameter möglichst genau ableiten zu können (z.B. Ausbreitungsrichtung und horizontale Wellenlänge). Für diesen Zweck wird derzeit die Erweiterung der GRIPS-Systeme in Form einer Infrarotkamera (sog. Imager) getestet. Sie liefert zweidimensionale Aufnahmen des nächtlichen Luftleuchtens. Wellensignaturen sind hier oft in Form von Bändern sichtbar (siehe Abb. 3). In Zukunft wird auch die Eignung kombinierter GRIPS-Systeme zur Ableitung räumlicher Parameter untersucht werden.

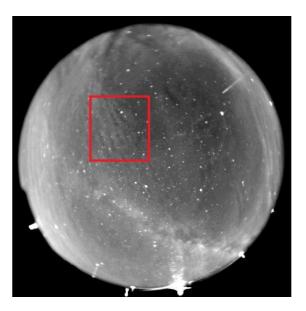


Abb. 3: Aufnahme des OH-Airglow (715-930nm Filter) vom 25.05.2012, 01:59 Uhr, mit Milchstraße und Sternenhintergrund. Das rote Rechteck rahmt eine Wellensignatur im Airglow ein, deren Charakteristik der einer Schwerewelle entspricht. Die Lichtquellen am Rand des Bildes stammen von Gebäuden und Kränen in der Umgebung des Testaufbaus in Oberpfaffenhofen.

Die UFS als eine Station des NDMC ist eingebunden in ein globales Netzwerk zur Untersuchung der Mesosphäre. Im Alpenraum werden die Messungen durch weitere am DLR Oberpfaffenhofen, am Meteorologischen Observatorium auf dem Hohenpeißenberg und am Observatorium Haute Provence (Frankreich) ergänzt und tragen damit zum Virtuellen Alpenobservatorium (VAO) bei.

MODELLIERUNG DER ALPINEN SCHNEEDECKE IM BEREICH DES ZUGSPITZPLATTS

MATTHIAS BERNHARDT, STEFAN HÄRER, KARSTEN SCHULZ,

LMUMÜNCHEN, MATTHIAS.BERNHARDT@LMU.DE

Das Department für Geographie der Ludwig-Maximilians Universität nutzt die Infrastruktur der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) um die Schneedeckenentwicklung im Bereich des Zugspitzplatt mit prozessorientierten Modellansätzen zu beschreiben. Zu diesem Zweck kommt das am WSL – Institut für Schnee und Lawinenforschung (SLF) entwickelte alpinhydrologische Modell ALPINE3D zum Einsatz.

Auf der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro, Brasilien (1992) wurde die Wichtigkeit von Gebirgsregionen, gerade aufgrund ihrer Funktion als Wasserversorger für das Vorland, hervorgehoben. Trotz dieser Erkenntnis sind die hydrologischen Verhältnisse in Kopfeinzugsgebieten bis heute nur unzureichend untersucht und verstanden. Dies kann u.a. damit begründet werden, dass ein Großteil der Gebirgsregionen, aufgrund der vorherrschenden Bedingungen, über nahezu keine messtechnische Ausstattung verfügt.

Durch die gute Instrumentation im Bereich der Zugspitze und durch die ganzjährige Zugänglichkeit des Gebietes, können dort aktuelle Defizite adressiert werden. Die Arbeitsgruppe der LMU arbeitet daran, das Wissen über die Dynamik der alpinen Schneedecke zu erweitern. Als Basis dient neben Feldmessungen die Arbeit mit und an dem schneehydrologischen Modell ALPINE3D. Das Modell ist gridbasiert und wird mit Hilfe von meteorologischen Messdaten angetrieben. Bisher wurden Messungen der Stationen Garmisch-Patenkirchen (DWD), Zugspitze (DWD) und Zugspitzplatt (LWD) genutzt. Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag und Windgeschwindigkeit werden auf Basis von Interpolationsverfahren, wie sie z.B. in Garen und Marks (2001) beschrieben sind, in die Fläche überführt. Die Strahlungskomponenten (langwellige und kurzwellige Strahlung) werden für jeden einzelnen Gitterpunkt, über physikalisch basierte Subroutinen, berechnet (Abb. 1).

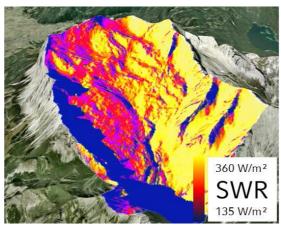


Abb.1: Modellierte kurwellige Strahlung (SWR) im Bereich des Zugspitzplatts (01.03.06 10:00)

Die Schneedecke an sich wird mit SNOW-PACK (Lehning et al. 1999) modelltechnisch dargestellt. Im Ergebnis erhält man räumlich (Rasterweite 10m) und zeitlich (1h) hochaufgelöste Informationen über die Schneehöhe, das Schneewasseräquivalent und die Stratigraphie der Schneedecke. Eine genaue Abbildung der Letzteren ist v.a. dann notwendig, wenn die Schneedeckenstabilität und der Transport von Stoffen durch die Schneedecke, eine Rolle spielen. Weiterhin wird die Energiebilanz der Schneedecke zu jedem Zeitschritt detailgenau gelöst. Das verwendete Modell ist masse- und energieerhaltend.

Die Ergebnisse des Modells wurden bisher auf Basis von Satellitendaten (LANDSAT ETM+) validiert. Hierzu wurde der Normalized Difference Snow Index (NDSI) aus LANDSAT Szenen abgeleitet. Die Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmungen, beschränken sich allerdings auf die flächenmäßige Ausdehnung der Schneedecke (Abb. 2).

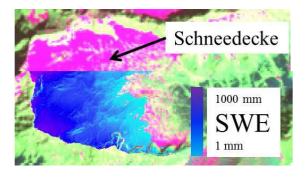


Abb.2: Ausdehnung der Schneedecke im Bereich des Zugspitzplatts am 01.03.2006. Rosa: NDSI Klassifikation auf Basis des LANDSAT ETM+, Blau: Modellergebnisse.

Mit Hilfe eines LIDAR's (Abb.3) wird in Zukunft auch eine hochgenaue Bestimmung der Schneehöhen im Bereich des Zugspitzplatts möglich. Die neuen Informationen werden es erlauben existierende Unsicherheiten in den heutigen Modellansätzen zu detektieren und in der Folge zu minimieren.

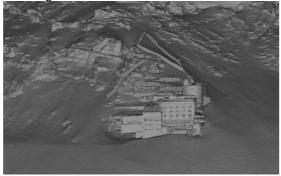


Abb.3: Beispiel einer LIDAR Aufnahme mit dem Schneefernerhaus im Zentrum.

Weiterhin wurde der modellierte Abfluss mit dem am Partnach-Ursprung gemessenen in Beziehung gesetzt. Hierbei kam ein konzeptionelles Linearspeichermodell mit drei Speichertermen, zur Approximation des Karstkörpers, zum Einsatz und es konnte eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung beobachtet werden (Abb. 4).

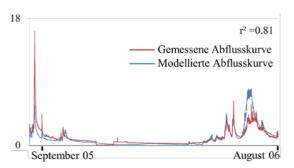


Abb.4: Vergleich des modellierten und gemessenen (Daten der Universität Halle) Abflusses am Partnachursprung. Zeitraum 15.08.05 – 31.07.06.

Die vorgestellten Ergebnisse haben gezeigt, dass ALPINE3D an der Zugspitze lauffähig ist. Es konnten erste Ergebnisse erzielt werden, die im Hinblick auf die Schneedeckenausbreitung und die Abflussgenerierung ermutigend sind. Andererseits wurden auch Defizite deutlich. Um zukünftig zu robusten und belastbaren Modellaussagen z. B. im Hinblick auf die Wasserverfügbarkeit in Einzugsgebieten Kraftwerken etc. zu kommen, ist die gezielte Abarbeitung dieser Defizite notwendig. So wird aktuell zwar die mengenmäßige Beschreibung des Abflusses von ALPINE3D gut dargestellt und die Schmelzzeitpunkte gut getroffen, allerdings wird bei genauer Analyse der Abflusskurve auch deutlich, dass das Auslaufverhalten des Karstkörpers über das simple Linearspeichermodell nicht in zufriedenstellendem Maße reproduziert werden kann. Hier sind komplexere Modelle notwendig. Weiterhin wird bei der flächenmäßigen Beschreibung der Schneedecke deutlich, dass die Gebirgsflanken eine zu hohe Schneebedeckung aufweisen. Um diesen Fehler zu minimieren sind hochauflösende Windfelder wie sie in Bernhardt et al. (2009) beschrieben werden und Schneerutschungskomponenten (Bernhardt und Schulz 2010) in das Modell zu integrieren. Die genannten Bereiche werden in enger Kooperation mit den Partnern: Universität Augsburg, Universität Freiburg, Helmholtzzentrum München und dem WSL - Institut für Schnee und Lawinenforschung (SLF) bearbeitet.

Literatur

Bernhardt, M., G. Zängl, G. E. Liston, U. Strasser und W. Mauser (2009), Using wind fields from a high-resolution atmospheric model for simulating snow dynamics in mountainous terrain, *Hydrol Process*, *23*(7), 1064-1075.

Bernhardt, M. und K. Schulz (2010), SnowSlide: a simple routine for calculating gravitational snow transport, *Geophys Res Lett.*, *37*, L11502.

Garen, D. C. und D. Marks (2001), Spatial fields of meteorological input data including forest canopy corrections for an energy budget snow simulation model, *Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-Scale Hydrological Models*(270), 349-353.

Messerli, B.(2006), Mountains of the World – Water Towers for the 21st Century, *Proceedings Fifth Rosen-berg Forum*, 20-38.

Meybeck, M., P. Green und C. Vörösmarty (2001), A New Typology for Mountains and Other Relief Classes. An Application to Global Continental Water Resources and Population Distribution, *Mountain Res and Develop*, 21(1), 34-45.

MESSUNG RADIOAKTIVER SPURENSTOFFE IN DER ATMOSPHÄRE IM RAHMEN DES GLOBAL ATMOSPHERE WATCH PROGRAMMS DER WMO

GABRIELE FRANK¹, JOSEPH SALVAMOSER², THOMAS STEINKOPF¹
¹DEUTSCHER WETTERDIENST, OFFENBACH, DEUSCHLAND

²Institut Für Angewandte Isotopen-, Gas-Und Umweltuntersuchungen, Wörthsee

In der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (2650 m ü. NN) und auf der Zugspitze (2962 m ü. NN) werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) im Rahmen des "Global Atmosphere Watch (GAW)" Messprogramms der Weltorganisation der Meteorologie (WMO) die natürlichen Radionuklide Beryllium-7 (Be-7), Blei-210 (Pb-210), Blei-212 (Pb-212), Blei-214 (Pb-214), Wismut-214 (Bi-214) sowie Radon-222 (Rn-222) in der Atmosphäre gemessen.

Ziel

Untersuchung atmosphärischer Transportvorgänge in Kombination mit meteorologischen Daten.

Messungen

Die Konzentrationen der aerosolpartikelgebundenen Radionuklide Be-7, Pb-210, Pb-212, Pb-214, Bi-214 in der Atmosphäre werden durch Abscheidung von Aerosolpartikeln auf einem Filter und anschließender gammaspektrometrischer Messung bestimmt. Die Messwerte stehen je nach Nuklid in 2h-, 12h- und 7d-Zeittakten zur Verfügung.

Die Bestimmung von gasförmigem Rn-222 erfolgt über elektrostatische Abscheidung auf der Detektoroberfläche und anschließender alphaspektrometrischer Messung.

Beschreibung des Verfahrens zur direkten Messung von gasförmigem Radon- 222 (Rn-222)

Die Luft wird durch ein Aerosolfilter gesaugt. Damit werden die aerosolpartikelgebundenen Radonfolgeprodukte abgetrennt. Über einen Kühler wird der in der Probenluft enthaltene Wasserdampf entfernt.

Ein zweiter Aerosolfilter trennt die zwischenzeitlich erneut entstandenen schwebstoffgebundenen Radonfolgeprodukte ab, so dass ausschließlich gasförmiges Rn-222 in die Messkammer geleitet wird. Das nach dem Radonzerfall positiv geladene zerfallsprodukt Polonium (Po-218) wird in einem starken elektrischen Feld (Spannung von 30 kV zwischen Detektorkammer und Oberfläche des Detektors) auf der Detektoroberfläche abgeschieden. Gemessen wird dann der Alphazerfall des Po-218. Bei einer Halbwertszeit von 3 Minuten des Po-218 ist nach 20 Minuten ein Gleichgewichtszustand erreicht, der es erlaubt, die Messergebnisse für Po-218 direkt dem Rn-222 zuzuordnen. Die Auswertung der Spektren erfolgt über einen Vielkanalanalysator. Das Gesamtsystem wird mit Rn-222 aus einer Radium (Ra-226) Quelle kalibriert. Für die Berechnung werden nur die Daten für Po-218 herangezogen.

Bei einer Messzeit von 7200 s wird eine Nachweisgrenze von $0.04~Bq/m^3$ mit einer Standardunsicherheit von $\pm~0.02~Bq/m^3$ erreicht.



Abb. 1: Messsystem zur kontinuierlichen Direktmessung von gasförmigem Rn-222

Messungen der Aktivitätskonzentration von Rn-222, Bi-214 und Pb-214

Die Aktivitätskonzentration von Bi-214und Pb-214 resultiert aus der Messung der aerosolgebundenen Radonfolgeprodukte. Der Vergleich mit den Rn-222-Daten zeigt einen ähnlichen Verlauf, allerdings sind die Werte für die Aktivitätskonzentration von Pb-214 deutlich geringer als die Aktivitätskonzentration für Rn-222. Dies zeigt das Ungleichgewicht der Rn-222-Töchter (Pb-214, Bi-214) mit Rn-222 in der Luft und damit die Unsicherheiten, die sich bei der Ableitung Messergebnissen aerosolgebundener Radontöchter Radonkonzentration auf die (Abb.2) ergeben.

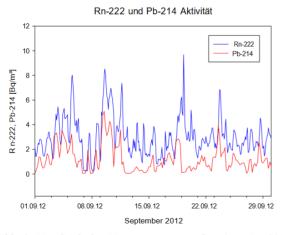


Abb. 2: Vergleich der Messwerte von gasförmigen Rn-222 und schwebstoffgebundenem Pb-214

Abbildung 2 zeigt, dass die Aktivitätskonzentration der aerosolgebundenen Radonfolgeprodukte Pb-214 nach einem Niederschlagsereignis deutlich gegenüber den direkt gemessenen Aktivitätskonzentrationen des gasförmigen Rn-222 abnimmt. Man erkennt klar den temperaturbedingten Tagesgang der Aktivitätskonzentration von Rn-222 und Pb-214.

Ergebnis

Der Vergleich der Messwerte von Be-7,Bi-214 und Pb-214 mit den meteorologischen Daten zeigt die Möglichkeit auf, über die Änderungen der Aktivitätskonzentrationen der natürlichen Radionuklide Informationen über die Herkunft sowie horizontale und vertikale Durchmischung von Luftmassen abzuleiten. Erhöhte Gehalte von Be-7 sind stets ein Indiz für Luftmassen aus den oberen Bereichen der Atmosphäre, wo Be-7 in Wechselwirkung mit der kosmischen Strahlung erzeugt wird. Erhöhte Werte für die aerosolgebundenen Radonfolgeprodukte Pb-214 und Bi-214 lassen auf lokale Einflüsse und Lufttransport über Landmassen mit hoher Radon-Freisetzung

Rn-222 kann hier in Verbindung mit Be-7, Pb-214 und Bi-214, Po-214, Pb-210 als ungestörter natürlicher Tracer betrachtet werden.

Die Kontinuität der Messreihe für Rn-222 kann nur durch die Direktmessung des gasförmigen Rn-222 gesichert werden.

Ausblick

Die kontinuierliche Messung von natürlichen Radionukliden als Tracer zur Charakterisierung von Luftmassen soll im Rahmen des Global Atmosphere Watch Programms der WMO durch Langzeitmessreihen weiterhin sichergestellt werden.

EINFLÜSSE DER HOCHGEBIRGSKLIMAS AUF ALERGIEN UND UMWELTKRANKHEITEN AN DER UMWELTFORSCHUNGSSTATION SCHNEEFERNERHAUS

BERNADETTE Eberlein¹, RAINALD Fischer², HEIDRUN Behrendt³, RUDOLF MARIA HUBER², JOHANNES RING¹

¹KLINIK UND POLIKLINIK FÜR DERMATOLOGIE UND ALLERGOLOGIE AM BIEDERSTEIN, TUM

²MEDIZINISCHE KLINIK INNENSTADT, FACHBEREICH PNEUMOLOGIE, LMU

³ZENTRUM ALLERGIE UND UMWELT, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN UND HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN

Einführung

Allergien stellen eine der großen gesundheitlichen Herausforderungen der meisten modernen Gesellschaften dar. Durch den drohenden Klimawandel sind weitere Verstärkungen der Allergieproblematik zu befürchten.

In diesem Projekt sollten die Einflüsse des Hochgebirgsklimas in einer Höhe von 2600 m auf allergische Reaktionen untersucht werden. An ausgewählten Patienten und freiwilligen Versuchspersonen sollten die Einflüsse des Hochgebirgsklimas auf gezielte Parameter der allergischen Reaktivität und sowie phänotypische Merkmale atopischer Erkrankungen unter standardisierten Bedingungen untersucht werden. Diese Untersuchungen sollten in vivo und in vitro Parameter erfassen. Hier waren insbesondere Untersuchungen zur Hautfunktion und Hautbeschaffenheit im Hinblick auf atopisches Ekzem (Neurodermitis) sowie auf allergische Atemwegserkrankungen zu nennen.

Langfristig war an eine diagnostische Nutzung von bestimmten Bereichen der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus für Patienten mit Allergie- und Umweltkrankheiten zur erweiterten und intensiven Allergie-Diagnostik gedacht, falls sich aus den Voruntersuchungen ermutigende Resultate ergeben würden.

Methodik

An 18 Patienten und 11 gesunden Kontrollpersonen wurden die Einflüsse des Hochgebirgsklimas auf gezielte Parameter der allergischen Reaktion bei atopischen Erkrankungen wie Rhinokonjunktivitis allergica (Heuschnupfen), atopisches Ekzem (Neurodermitis) und Asthma unter standardisierten Bedingungen untersucht.

Die Untersuchungen am Menschen wurden im identischen Ansatz sowohl im Flachland (München) als auch im Hochgebirgsklima (Zugspitze - Schneefernerhaus) im Frühjahr (März 2009) und im Sommer (Pollensaison,

Juli 2008 und 2009) durchgeführt. Dabei verbrachten Gruppen bis zu maximal 10

Probanden mit 3 - 4 Betreuern 5 Tage auf der Umweltforschungsstation.

Es wurden verschiedene Verfahren von Hauttestungen eingesetzt. Ferner wurde die Reakti- on von Schleimhäuten auf Allergene in Provokationstests evaluiert.

Eine wesentliche Bedeutung kam der Untersuchung von hautphysiologischen Parametern zu (Abb. 1). Darüber hinaus wurden Lungenfunktionsparameter und Entzündungsparameter in der Ausatmungsluft gemessen.





Abb. 1: Messung verschiedener hautphysiologischer Parameter (Hautfeuchtigkeit, Sebum, pH, TEWL, Hautrauheit)

Als Hauptsymptom dermatologischer Erkrankungen wurde die Juckreizintensität unter verschiedenen Bedingungen erfasst. Dies geschah mit Hilfe eines spezifischen Fragebogens in Verbindung mit Visual-Analog-Skalen (VAS) unter EDV-Auswertung, welche individuelle Unterschiede in der Juckreizempfindung nach bekannter und standardisierter Stimulation objektiv messbar machen.Parallel dazu wurden im Serum Allergie- relevante Marker der Immunreaktion be- stimmt. Zudem wurden den Probanden schiedene ver-Fragebögen (allgemeiner Gesundheitszustand, nasale Symptomatik, Juckreizfragebogen, Lebensqualität

bei Hauterkrankungen) vorgelegt.

Bei der Auswertung wurde zwischen Hauptzielgröße (transepidermaler Wasserverlust) und Nebenzielgrößen (Hautbefund nach SCO-RAD, weitere hautphysiologische Parameter, Prick-Test, Lungenfunktionsparameter, Provokationstest Lunge/Nase/Auge, NO-Messung, Blutparameter) unterschieden. Für die statistische Auswertung wurden der Friedman-Test und der Wilcoxon-Test verwendet.

Im Juli und August 2008 sowie im März und Juli 2009 wurden umfangreiche Untersuchungen an Kontrollpersonen und Patienten in der Umweltforschungsstation durchgeführt. Dabei wurden zunächst 3 bis 7 Tage vor Beginn des Höhenaufenthaltes die Untersuchungen in München durchgeführt. Danach erfolgte ein Aufenthalt von 5 Tagen auf der Umweltforschungsstation mit Messungen zu Beginn und am Ende des Aufenthalts. Dabei übernachteten die Probanden in der Höhe von 2.600 m. Bei einem Teil der Probanden erfolgte eine erneute Nachuntersuchung in München 4 Wochen später.

In den genannten Zeiträumen wurden Untersuchungen an elf Kontrollprobanden ohne Hinweise auf allergische Reaktionen in der Vorgeschichte oder in den Allergietestungen durchgeführt. Ebenso wurden Untersuchungen an 18 Personen mit allergischer Rhinokonjunktivitis, Asthma und/oder Neurodermitis durchgeführt, die auf Gräserpollen sensibilisiert waren und entsprechend in vivo und in vitro in der Allergiediagnostik klassifiziert worden waren.

Ergebnisse

Folgende Veränderungen bei den Hautfunktionsparametern traten auf:

Abnahme der Hautfeuchtigkeit, Anstieg des pH-Wertes, Anstieg der Schuppigkeit und Anstieg der Hautrauheit.

Der Fettgehalt der Haut, der transepidermale Wasserverlust, der dermale Blutfluss, die Quaddel- und Erythemgröße bei der Prick-Testung sowie der Schweregrad des atopischen Ekzems (SCORAD) änderten sich nicht signifikant.

Bei der Untersuchung der Lungenfunktionsparameter (relative Einsekundenkapazität u.a.) zeigte sich eine Verbesserung in der Höhe. Die exhalativen Stickoxid(NO)-Werte als Parameter für eine Entzündung in den Atemwegen, die Peak-Flow-Messwerte sowie die Messwerte in der Rhinomanometrie (nasaler Fluss, Widerstand) und konjunktivalen Provokation änderten sich nicht signifikant.

In der Juckreizintensitätsmessung nach Stimulation mit Histamin zeigte sich eine signifikante Abnahme des Juckreizempfindens in der Höhe bei Patienten (Abb. 2).

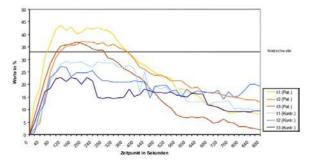


Abb.2: Juckreizintensität nach Histaminquaddel von Patienten und Kontrollen zu verschiedenen Zeitpunkten (t1 München, t2 und t3 UFS)

Bei der Auswertung der Fragebögen fanden sich außer einer Besserung des Scores für nasale Symptome in der Höhe keine signifikanten Unterschiede.

Bei den Serumparametern zeigte sich eine signifikante Verringerung des eosinophilen kationischen Proteins sowie von Interleukin-33 in der Höhe, welche beide Marker für Entzündungen bei atopischen Erkrankungen sind (Abb. 3).

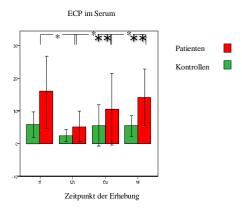


Abb. 3: Eosinophiles kationische Protein (μ g/l) im Serum von Patienten und Kontrollen zu verschiedenen Zeitpunkten (t1 und t4 München, t2 und t3 UFS; * = p<0,01)

Zusammenfassung

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein 5tägiger Aufenthalt im Hochgebirgsklima auf einer Höhe von 2650 m unterschiedliche Effekte auf atopische Erkrankung hat.

Es besserten sich vor allem Asthmaparameter und der Hautjuckreiz. Weiterhin fielen allergologisch relevante Entzündungsparameter im Blut ab. Mehrwöchige Aufenthalte in der Höhe wären sinnvoll, um herauszufinden, ob sich auch die hautphysiologischen, konjunktivalen, und nasalen Parameterverbessern würden.

AKTUELLER STAND UND ERGEBNISSE DER VEGETATIONSKUNDLICHEN UNTER-SUCHUNGEN AUF DEM ZUGSPITZPLATT

OLIVER KORCH UND ARNE FRIEDMANN
UNIVERSITÄT AUGSBURG, INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE,
OLIVER.KORCH@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Im Rahmen des vom Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit geförderten Verbundprojekts KLIMAGRAD betreibt die Arbeitsgruppe Biogeographie der Universität Augsburg seit 2009 das Forschungsvorhaben HÖHENZUG. Nach dem vorläufigen Abschluss der Arbeiten nach der Feldsaison 2012 ist nun eine kartographische Darstellung der Pflanzengesellschaften auf dem Zugspitzplatt möglich. Die vorliegenden Daten wurden ausgewertet sowie weitergehende standortökologische Untersuchungen durchgeführt. Das im Projektrahmen begonnene Langzeitmonitoring der Plattvegetation lieferte 2012 erste Zwischenergebnisse.

Die aktuelle Vegetation des Zugspitzplatts stellt sich basierend auf den Ergebnissen der Aufnahmen 2009-2011 folgendermaßen dar:

In der oberen subalpinen Stufe kommen Krummholz-Formationen des Rhododendrohirsuti Pinetum mugo vor. Diese von der Latsche (*Pinus mugo*) dominierte, an acidophilen Arten reiche Gesellschaft erreicht ihre höchste Verbreitung bei etwa 2100 m. Verzahnt sind diese Bestände auf dem südlichen Platt häufig mit Zwergstrauchheiden und artenreichen Rasen, die zahlreiche Elemente des Seslerio-Caricetum sempervirentis enthalten. Aufgrund ungünstiger standortökologischer Bedingungen ist die Blaugras-Horstseggenhalde jedoch nur kleinräumig optimal ausgebildet.

Die alpine Zone des Zugspitzplatts wird von verschiedenen Ausprägungen des Polsterseggenrasens (Caricetum firmae) dominiert. Dieser kommt sowohl auf lockerem Untergrund als auch direkt auf dem anstehenden Kalkstein vor.

Diese Gesellschaft, die im südwestlichen Plattbereich bis auf über 2500 m steigt, bildet besonders in der unteren alpinen Zone dichte, geschlossene Rasen. Mit der Höhe werden diese allgemein lückiger und der Artenreichtum der Vegetation nimmt ab. Oft wird hier das Initialstadium zur Dauergesellschaft und es findet keine weitere Sukzession mehr statt.

Der Spalierweidenrasen (Salicetum retusoreticulatae) hat als eine weitere Gesellschaft seinen Verbreitungsschwerpunkt in der alpinen Stufe des Untersuchungsgebiets.

Der obere Bereich des Zugspitzplatts sowie die Schutthalden unterhalb der Plattumrahmung werden von der subnivalen Zone und der Zone der Felsspalten- und Schuttgesellschaften besetzt.

Flächenmäßig am weitesten verbreitet ist hier die Täschelkrauthalde (Thlaspietum rotundifolii), die unterschiedlich ausgeprägt auf nahezu allen aktiven Schutthalden im Untersuchungsgebiet vorzufinden ist. Zahlreiche, der für diese Assoziation typischen Arten weisen Anpassungsmechanismen an den extremen Lebensraum des bewegten Schutts auf. Dort, wo diese Dynamik nachlässt, ersetzt die Berglöwenzahnhalde (Leontodontetum montani) die Täschelkrauthalde (Abb. 1).



Abb.1: Leontodon montanus als namensgebende Kennart der Berglöwenzahnhalde.

Besonders spät ausapernde Geländemulden werden vom Gänsekresse-Schneetälchen (Arabidetum Caeruleae) besiedelt. Die jährliche Vegetationszeit beträgt hier teilweise nur zwei Monate.

In allen Höhenstufen kommen zudem Pflanzengesellschaften vor, die in unterschiedlichem Maß anthropo-zoogen beeinflusst sind.

Am auffälligsten sind hier die stark eutrophierten Lägerstellen, die regelmäßig von den auf dem Zugspitzplatt während der Sommermonate weidenden Schafen aufgesucht werden. Es dominiert hier eine artenarme, von wenigen konkurrenzstarken Spezies dominierte Vegetation. Durch die Weidetätigkeit ebenfalls mitbedingt sind die bodensauren Flächen, auf denen das Borstgras (*Nardus stricta*) vorzufinden ist.

Direkt durch den Menschen beeinflusst werden schließlich die Bereiche entlang der Wanderwege, um die Gebäude sowie der Pistenbereich des Skigebiets. Die hier wirksamen Faktoren Bodenverdichtung, Trittschäden und auf dem Pisten die verlängerte Schneedeckendauer beeinflussen nachhaltig die Artenzusammensetzung und Dynamik der Vegetation.

Die statistische Auswertung der Vegetationsaufnahmen 2009-2011 weist das Zugspitzplatt als einen Raum mit sehr heterogenen Standortbedingungen aus. Betrachtet man beispielsweise die Häufigkeit des Auftretens der bisher in den Probeflächen nachgewiesenen 152 Einzelarten (Abb. 2), so ist festzustellen, dass knapp die Hälfte nur in 10 oder weniger Aufnahmen vorkommt und zwei Drittel in 20 oder weniger Aufnahmen.

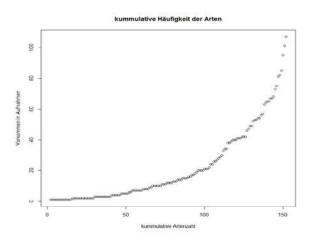


Abb.2: Vorkommen von Einzelarten in den Aufnahmeflächen.

Im Rahmen der standortkundlichen Untersuchungen, die ergänzend zur Vegetationsaufnahme betrieben werden, wurde seit 2010 ein Netz aus mehreren Klimastationen mit Dataloggern im Untersuchungsgebiet installiert. Diese Stationen liefern Daten zu Temperatur und Luftfeuchte an vegetationskundlich interessanten Punkten des Zugspitzplatts mit dem Ziel, den Einfluss des Geländeklimas auf die Vegetation besser analysieren zu können (Abb. 3).



Abb.3: Datalogger auf dem unteren Zugspitzplatt.

Seit der Geländesaison 2012 liegen schließlich zumindest zweimalige Aufnahmen der 40 auf dem Zugspitzplatt eingerichteten Dauerbeobachtungsflächen zur Beobachtung der längerfristigen Vegetationsdynamik vor. Diese erlauben aber noch keine konkreten Aussagen über langfristige Trends und Entwicklungen, da hierzu der bisherige Beobachtungszeitraum zu kurz war und somit einmalige Ereignisse wie Fraß oder mechanische Belastung falsche Ergebnisse diesbezüglich liefern können.

Vortrag

"HöhenZug: Current status and results of investigations on the vegetation on the Zugspitzplatt". 2nd UFS-Workshop Umweltforschungsstation Schneefernerhaus/Zugspitze. September 2012 in Oberpfaffenhofen.

Publikationen:

FRIEDMANN, A. & KORCH, O. (2010): Die Vegetation des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge, Bayerische Alpen): Aktueller Zustand und Dynamik. Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 22, 114-128.

KORCH, O. & FRIEDMANN, A. (2012): Phytodiversität und Dynamik der Flora und Vegetation des Zugspitzplatts. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt 2012 (in Druck).

KOSMISCHE STRAHLUNG

WERNER RÜHM, ULRICH ACKERMANN, FERDINAND BERGMEIER, GERHARD Donth, TOMASZ MαCZKα,
VLADIMIR Mαres, CHRISTIAN PIOCH, MARES Wielunski
INSTITUT FÜR STRAHLENSCHUTZ, HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN;

WERNER.RUEHM@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE

Das vom Institut für Strahlenschutz betriebene Bonner Vielkugelspektrometer (Bonner Sphere Spectrometer - BSS) lieferte im Berichtszeitraum 2011 und 2012 kontinuierlich Daten. Dies ermöglichte es zusammen mit den Daten der Vorjahre erstmals, eine Langzeit-Messreihe der sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung aufzunehmen und Langzeit-Änderungen der Energieverteilung der Neutronen zu untersuchen. Dabei konnten erstmals überhaupt saisonale Schwankungen der Neutronenfluenz als Funktion der Neutronenergie beobachtet werden, die zu einer periodischen Oszillation der Dosisleistung durch Neutronen auf der UFS führten (Rühm et al. 2012).

Messaufbau

Wie bereits im letzten Jahresbericht beschrieben, besteht das auf der UFS installierte BSS aus 15 mit ³He Gas gefüllten Proportionalzählern, die sich innerhalb von unterschiedlich großen Kugeln aus Polyethylen (PE) und zum Teil Blei befinden (Kugeldurchmesser: 2,5, 3, 4, 5, 5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 und 15 Inch). Je nach Durchmesser werden die einfallenden sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung abgebremst und über die Reaktion ³He(n,p)³H nachgewiesen. Zusätzlich wird ein Proportionalzähler ohne jegliche Abschirmung betrieben, um bereits in der Umgebung abgebremste Neutronen nachzuweisen. Abbildung 1 zeigt den bayerischen Umweltminister Dr. M. Huber in der Messhütte des HMGU zusammen mit einigen der installierten PE-Kugeln des Neutronenspektrometers (Fig.

Langzeitmessungen auf der UFS

Aus den mit den 16 Proportional-Zählern stündlich gemessenen Ereignissen lassen sich entsprechend die zugehörigen Neutronen-Energieverteilungen entfalten. Werden beispielsweise die im Januar und Juli 2008 jeweils



Abb. 1.: Der bayerische Umweltminister Dr. M. Huber inspiziert das Bonner Vielkugelspektrometer des Helmholtz Zentrums München.

gemessenen mittleren Zählraten verwendet, ergeben sich die in Abbildung 2 dargestellten, für diese Monate gemittelten Neutronen-Energieverteilungen. In dieser Darstellung stellt die Fläche unter den gezeigten Kurven in einem bestimmten Energieintervall ein Maß für die Anzahl der in diesem Intervall nachgewiesenen Neutronen dar. Es zeigte sich, dass bei den niederenergetischen thermischen Neutronen (E < 0,4 eV) und bei epithermischen Neutronen (0.4 eV < E < 0.125 MeV) deutliche Unterschiede auftraten – es waren im Juli 2008 bei diesen Energien im Mittel jeweils etwa 75% mehr Neutronen zu verzeichnen als im Januar 2008. Neutronen im Energiebereich 0,125 < E < 17,8 MeV waren im Juli 2008 etwa 30% häufiger als im Januar 2008. Dagegen konnten bei den hochenergetischen Neutronen (E > 20 MeV) kaum Unterschiede nachgewiesen werden.

Im Berichtszeitraum wurde eine systematische Analyse des Langzeittrends der Anzahl von Neutronen als Funktion der Energie über den Zeitraum Januar 2006 – Mai 2009 durchgeführt. Das in Abbildung 3 gezeigte Ergebnis demonstriert erstmals überhaupt, dass niederenergetische Neutronen ein oszillatorisches Verhalten mit den Jahreszeiten zeigen. Hochenergetische Neutronen dagegen scheinen kei-

ne ausgeprägte saisonale Abhängigkeit aufzuweisen.

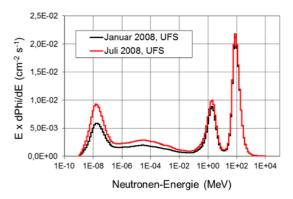


Abb. 2.: Energieverteilung der Neutronen der sekundären kosmischen Strahlung auf der UFS. Niederenergetische Neutronen sind im Sommer deutlich häufiger als im Winter (Rühm et al. 2012).

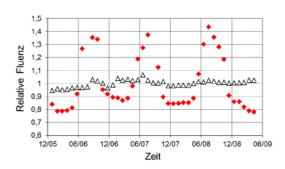


Abb. 3.: Anzahl niederenergetischer (E < 0.4 eV; rote Rauten) und hochenergetischer Neutronen (E > 17.8 MeV; Dreiecke) auf der UFS (Rühm et al. 2012).

Derartige Oszillationen konnten auch an dem ebenfalls vom Institut für Strahlenschutz betriebenen BSS auf der Koldewey-Station des Alfred Wegener Instituts auf Spitzbergen, wenn auch weniger ausgeprägt, nachgewiesen werden.

Da Neutronen wesentlich zur Dosis des Menschen durch kosmische Strahlung beitragen, ließen die in Abbildung 3 gezeigten saisonalen Schwankungen erwarten, dass auch die Dosisleistung durch sekundäre Neutronen der kosmischen Strahlung auf der UFS saisonalen Schwankungen unterliegen würde. Basierend auf den monatlich gemittelten, gemessenen Energieverteilungen der Neutronen auf der UFS (siehe die Beispiele für Januar und Juli 2008) wurde daher die mittlere monatliche Dosis für die UFS berechnet. Um die erwarteten Oszillationen zu quantifizieren, wurde als Fit-Funktion die folgende sinusförmige Kurve mit linearem Anstieg verwendet:

$$y = a \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot t \cdot b/365) + d] + c \cdot t + e$$

Dabei bedeuten die Variablen a die Amplitude einer Oszillation, b die Periode in Vielfachen eines Jahres, und c einen unter Umständen vorhandenen linearen Anstieg der Dosis auf Grund der im Beobachtungszeitrum abnehmenden solaren Aktivität. Abbildung 4 zeigt die sich für a = 0,068 \pm 0,006, b = 0,999 \pm 0,014 und c = (3,3 \pm 1,2) x 10-5 d-1 ergebende Dosisleistung auf der UFS als Funktion der Zeit sowie einen Fit mit den oben angegebenen Parametern.

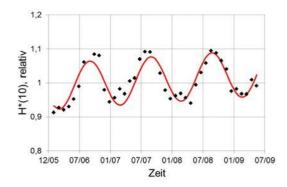


Abb. 4.: Langzeittrend der relativen monatlichen Dosis (H*(10)) durch Neutronen der sekundären kosmischen Strahlung auf der UFS (Rühm et al. 2012).

Abbildung 4 macht deutlich, dass in der Tat ein oszillatorischer saisonaler Verlauf der mittleren monatlichen Dosis durch Neutronen der sekundären kosmischen Strahlung existiert. Die Periode der Oszillation (d.h. die Variable b) beträgt ziemlich genau ein Jahr, die Dosisleistung oszilliert dabei um $\pm 7\%$. Schließlich deutet die Variable c auf einen leichten Anstieg der Dosisleistung um etwa 1,2% pro Jahr auf Grund der abnehmenden solaren Aktivität im untersuchten Zeitraum hin. Einzelheiten der Studie wurden in Rühm et al. 2012 veröffentlicht.

Einer der Gründe für die beobachteten Oszillationen ist vermutlich das Vorhandensein von Wasser (Regen, Schnee) in der Umgebung der UFS. Wie genau jedoch derartige klimatische Parameter auf die Energieverteilung der Neutronen wirken, ist jedoch noch weitgehend unverstanden. Dies wird Gegenstand zukünftiger Forschungen auf der UFS sein.

Literatur

W. Rühm, U. Ackermann, C. Pioch, and V. Mares. *Spectral neutron flux oscillations of cosmic radiation on the Earth's surface*. J Geophys Res 117, A08309, 2012.

CO₂-ISOTOPOLOGE IN DER ATMOSPHÄRE

MICHAEL LEUCHNER¹, FLORIAN SOUTSCHEK¹, CHEN WEI¹, CHRISTIAN SCHUNK¹,

MARVIN LÜPKE¹, LUDWIG RIES², ANNETTE MENZEL¹

¹ÖKOKLIMATOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, FREISING, LEUCHNER@WZW.TUM.DE

²UMWELTBUNDESAMT, DEUTSCHLAND, LUDWIG. RIES@UBA.DE

Das Fachgebiet für Ökoklimatologie der Technischen Universität München führt in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt auf der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) seit Juni 2011 kontinuierliche Messungen der Isotopologen von Kohlenstoffdioxid (¹²CO₂ und ¹³CO₂) durch. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf einem besseren Verständnis der Quellen und Herkünfte des wichtigsten anthropogen emittierten Treibhausgases CO₂.

CO₂ als wichtigstes Treibhausgas in Bezug auf den Gesamtbeitrag zum anthropogen bedingten Strahlungsantrieb wird der weltweit an vielen Stationen gemessen.

Dabei wurde ein globaler Trend von steigenden atmosphärischen Kon- zentrationen festgestellt. Jedoch unterscheiden nur wenige Stationen zwischen den unter- schiedlichen Isotopologen. Aber genau diese spielen eine wichtige Rolle, den rezenten An- stieg der atmosphärischen CO2 Konzentratio- nen den Menschen verursachten Verbrennungsprozessen zuzuordnen. Im Gegensatz zu vielen natürlichen Prozessen weisen diese Emissionen ein unterschiedliches Verhältnis von ¹³CO₂ und ¹²CO₂ auf, was in einer Deltanotation ($\delta^{13}CO_2$) ausgedrückt wird. Um verlässliche Daten ohne Einfluss von lokalen Emissionen zu erhalten, sind Stationen mit geringem Einfluss der Grenzschicht in größerer Höhe wie die UFS notwendig. In Kombination mit weiteren auf der UFS erhobenen Daten von Spurengasen und Aerosolen sind Aussagen über mögliche Quellen und Quellregionen von Luftmassen möglich. Die hier gezeigten Daten sind lediglich die ersten Ergebnisse für einen Zeitraum von August 2011 bis Juni 2012.

Es wurden die Mischungsverhältnisse der CO_2 -Isotopologe ($^{13}CO_2$ und $^{12}CO_2$), Wasser dampf, und $\delta^{13}CO_2$ mit einem Picarro G1101i Cavity Ring-Down Spektrometer kontinuierlich seit Juni 2011 auf der UFS in 2650 m ü.NN. gemessen.

Abb. 1 zeigt den saisonalen Verlauf von ¹²CO2 und δ¹³CO₂. Dieser wird in der freien Tropo- sphäre in erster Linie von der Photosynthese- aktivität der Pflanzen durch Kohlenstofffixie- rung während der Vegetationsperiode und von meteorologischen Prozessen wie atmosphärischer Durchmischung gesteuert. Verbrennungsprozesse steuern relativ gleichmäßige Emissionen über das ganze Jahr verteilt bei und zeigen einen weit weniger ausgeprägten Jahresgang. Daher kann der typische Verlauf mit einem Sommerminimum und einem Wintermaximum beobachtet werden. Im Jahresverlauf variiert das CO₂ Mischungsverhältnis zwischen 370 und 405 ppmv, wenn Tages- durchschnittswerte herangezogen werden. Das Isotopenverhältnis verhält sich gegenläufig, da Pflanzen vor allem das leichtere Isotopolog ¹²CO2 fixieren, was zu einem Anstieg des δ¹³CO2 in der Atmosphäre während des Sommers führt. Die Deltawerte liegen zwischen -10.5 and -7.0 Promille.

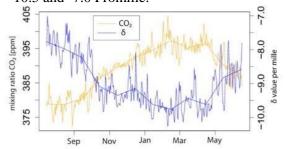


Abb.1: Zeitverlauf von täglichen und monatlichen Mittelwerten des CO_2 Mischungsverhältnisses (oran ge) und des Isotopenverhältnisses $\delta^{13}CO$ (blau) von August 2011 bis Juni 2012.

Die Periode Ende April stellt ein gutes Beispiel für die Differenzierung der Luftmassenher künfte auf der UFS dar (Abb. 2). Am 27. April 2012 änderte sich die Großwetterlage von einem Tief über den Britischen Inseln mit einer vornehmlich westlichen Anströmung zu einer südlichen zyklonalen Zirkulation, was ebenfalls an den auf dem Zugspitzgipfel gemessenen Winddaten (hier nicht gezeigt) zu beobachten war.

Die Anströmungsänderung wurde zusätzlich von einem starken Anstieg der durchschnittlichen Tagestemperatur von -9°C am 24. April auf +4°C am 27. April begleitet. Das Absinken der CO₂ Werte und der Anstieg des Isotopenverhältnisses während dieser Periode kann somit auf einen Wechsel der Luftmassen vom Atlantik zu durch Photosyntheseaktivitäten CO₂-abgereicherter Luft aus Norditalien und dem Mittelmeergebiet zurückgeführt werden.

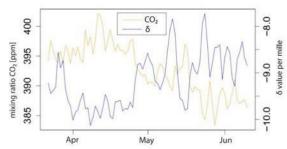


Abb.2: Zeitverlauf des $^{12}CO_2$ Mischungsverhältnisses (orange) und des Isotopenverhältnisses $\delta^{13}CO_2$ (blau) von April bis Juni 2012.

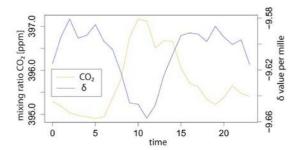


Abb.3: Mittlerer Tagesverlauf des $^{12}CO_2$ Mischungsverhältnisses (orange) und des Isotopenverhältnisses $\delta^{13}CO_2$ (blau) in den Monaten Mai bis Juli 2012 für einen typischen Sommertag.

Abb. 3 zeigt den typischen Verlauf von CO_2 und $\delta^{13}CO_2$ während eines typischen Sommertags in dem Monaten Mai bis Juli 2012. Das CO_2 Maximum wird am Morgen um ca. 9 Uhr (MEZ) erreicht, das Minimum um 17 Uhr (MEZ). Dies kann durch die wachsende Quellstärke durch photosynthetische Aktivität der Vegetation im Tagesverlauf sowie durch erhöhte Durchmischung der Luftmassen erklärt werden. Am Abend und in der Nacht dominieren Verbrennungsprozesse und Zellatmung den

CO₂ Haushalt, was zu steigenden Werten bis zum Morgen führt.

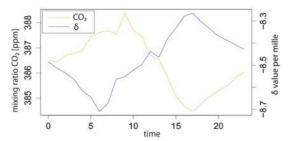


Abb.4: Mittlerer Tagesverlauf des $^{12}CO_2$ Mischungsverhältnisses (orange) und des Isotopenverhältnisses $\delta^{13}CO_2$ (blau) in den Monaten Januar bis März 2012 für einen typischen Wintertag.

Ein typischer Wintertagesverlauf ist in Abb. 4 dargestellt. Das CO₂ Maximum wird um 11 Uhr (MEZ) nach einem steilen Anstieg am Vormittag erreicht. Dieser Anstieg geht mit steigenden Konzentrationen von CO, NOx und Kondensationskernen einher (hier nicht gezeigt), was Verbrennungsprozesse als Hauptquellen identifiziert. Am Nachmittag sinken die Mischungsverhältnisse wieder hin zu niedrigeren nächtlichen Werten. Die Amplitude des Tagesverlaufs ist deutlich geringer als im Sommer, weil pflanzliche Aktivitäten größtenteils fehlen. Dafür ist die Streuung der Werte (hier nicht gezeigt) deutlich größer, was mit der Kombination von unterschiedlichen Prozessen wie wechselnde Wetterlagen, Thermik und touristischen Aktivitäten zusammenhängt.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen beispielhaft das Potenzial der gemessenen Parameter, ein besseres Verständnis von Luftmassenherkünften an Hochgebirgsstationen zu bekommen. Zusätzlich werden längere Zeitreihen zum globalen Verständnis des Kohlenstoffhaushaltes und der Zuordnung des atmosphärischen CO₂ Anstiegs zu menschlichen Aktivitäten beitragen.

PERMAFROST-MESSUNGEN DES LFU IM ZUGSPITZGIPFEL: KOMMT DIE KLIMAERWÄRMUNG BEREITS IM FELS DER ZUGSPITZE AN?

Andreas von Poschinger und Thomas Gallemann Bayerisches Landesamt für Umwelt, München

Taut das Eis, bröseln die Berge

Ist Boden oder Fels mindestens zwei Jahre lang gefroren, spricht man von Permafrost. Bei uns findet man ihn zum Beispiel im Gipfel der Zugspitze. Dort ist das Gestein dauerhaft gefroren. Taut es auf – beispielsweise durch den Klimawandel, der auch in den Alpen die Temperaturen steigen lässt – kann dies weitreichende Folgen haben: Zum einen weiß man nicht, wohin eventuell vorhandenes Schmelzwasser sickert und ob sich die Grundwasserströme ändern werden. Zum anderen könnte der locker gewordene Fels leicht in Bewegung kommen, es drohen Steinschlag und Felsstürze.

Ob sich die Temperatur in den Tiefen der Zugspitze in den vergangenen Jahren bereits verändert hat, lässt sich rückwirkend nicht sagen. Um aber zukünftige Veränderungen des Permafrosts – und damit gegebenenfalls eine Klimaerwärmung – dokumentieren zu können, errichtete das LfU im Jahr 2007 im Auftrag des StMUG im Zugspitzgipfel eine Messanlage. Im August 2012 erfolgte eine komplette Revision der Messanlage.

Zugspitze angebohrt

Die Arbeit in 2.930 Metern Höhe erwies sich als technische Herausforderung. Eine Spezialfirma bohrte das zwölf Zentimeter weite Loch mit einem sogenannten Im-Loch-Hammer. Dieser zermeißelt den Fels in kleinste Stückchen und fördert sie mit Druckluft ins Freie. Eine erste Bohrung mit 58 Metern Länge reicht von Süden her unter den Gipfel der Zugspitze. Eine zweite führt vom gleichen Ansatzpunkt unter dem Gipfelgebäude hindurch und durchstößt nach 44 Metern die Nordwand.



Abb. 1: August 2007, die Bohrlafette ist aufgebaut. Nach drei Tagen war der Grat durchbohrt.

Dem Fels ins Innere geschaut

In die Bohrlöcher wurde je eine Messkette mit Temperatur-Sensoren eingeführt. Am 1. November 2007 begannen die eigentlichen Messungen, seitdem wird automatisch einmal pro Stunde die Temperatur gemessen. Gespeichert werden die Daten vor Ort, per Fernübertragung können wir sie vom LfU in München aus abrufen.

Mittlerweile liegen Messungen aus fünf Jahren vor. Die Daten zeigen, dass der Permafrost an der sonnenexponierten Südseite im Sommer rund 14 Meter auftaut, an der Nordwand nur etwa 2,5 Meter.

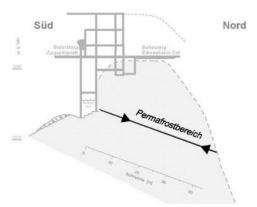


Abb. 2: Der Permafrostbereich im Inneren der Zugspitze.

Im Kern des Permafrosts schwankt die Temperatur im Laufe des Jahres um gut ein halbes

Grad. Mit –1,3 Grad, am "wärmsten" ist es im Felsinneren im Februar, mit –1,8 Grad am kältesten ist es im August. Was sich paradox anhört, stimmt: Da Gestein die Wärme nur sehr langsam leitet, verschiebt sich die Temperaturkurve des Felsinneren um ein halbes Jahr.

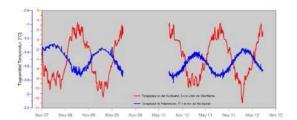


Abb. 3: Gestein leitet die Wärme nur langsam, deshalb ist der Felsenkern im Winter wärmer als im Sommer.

Auch wenn uns die bislang gemessenen Jahreszyklen interessante Informationen bringen – eine signifikante Veränderung der Temperaturen konnte bisher nicht festgestellt werden. Für Aussagen, ob der Permafrost tendenziell taut, sind somit langjährige Messreihen erforderlich. Schon in der Planung wurde deshalb das Projekt auf 15 Jahre ausgelegt.

Die Messungen am Zugspitzgipfel werden nach unterschiedlichsten Kriterien ausgewertet. Insbesondere bei der graphischen Darstellung wurde hierbei auch Neuland beschritten. Eine flächenhafte Darstellung der Temperaturentwicklung über die Zeit vermittelt z. B. plausibel das Eindringen der jahreszeitlichen Temperaturen in die Felsformation.

Was bringt die Zukunft?

Im Verbindungstunnel zwischen der auf 2.800 Metern Höhe gelegenen österreichischen Bergstation und dem Schneefernerhaus führt die Universität Bonn begleitende Untersuchungen durch: Hier verfolgen die Forscher, wie im tauenden Permafrost das Gestein zerfällt. Für ihre Messungen nutzen sie das Phänomen, dass Eis Strom und Schallwellen anders weiterleitet als Schmelzwasser. So können sie verfolgen, wo und wie tief der Permafrost schon getaut ist.

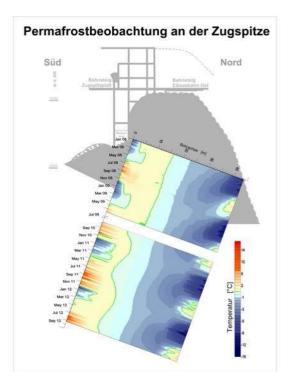


Abb. 3: Flächenhafte Darstellung der Temperaturentwicklung

Doch welche Gefahren drohen durch den tauenden Permafrost? Und wo ist das Risiko am höchsten? Was können wir tun? Um diese Fragen rechtzeitig zu klären, wurden die Untersuchungen des LfU auf der Zugspitze von dem EU-Projekt "PermaNet" begleitet. Im alpenweiten Messnetz des Projektes ist die Bohrung in der Zugspitze der nördlichste Beobachtungspunkt. Ziel dieses Projekts war, eine Karte der Permafrost-Gebiete im gesamten Alpenraum zu erstellen und mit Computermodellen zu berechnen, wo der tauende Permafrost zu Problemen führen könnte. Außerdem wurden Strategien entwickelt, wie man den drohenden Gefahren begegnen kann. Manchmal wird es ausreichen, eine Kletterroute zu sperren, andernorts müssen möglicherweise Gebäude saniert oder Seilbahnen neu verankert werden.

Weitere Informationen über die Permafrost-Messungen im Zugspitzgipfel finden Sie im Internet unter:

www.lfu.bayern.de > Geologie > Forschung und Projekte > "Permafrost an der Zugspitze" bzw. "PermaNet-BY",

Informationen zum Projekt PermaNet unter: www.permanet-alpinespace.eu

TEMPERATUR-SENSITIVITÄT DER PHÄNOLOGIE UND DES STAMMWACHSTUMS AUSGEWÄHLTER BAUMARTEN DES BERGMISCHWALDES IM ZUGSPITZGEBIET

CHRISTINA SCHUSTER UND ANNETTE MENZEL

FACHGEBIET FÜR ÖKOKLIMATOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, HANS-CARL-VON- CARLOWITZ-PLATZ 2, D-85354 FREISING

E-MAIL-ADRESSE: SCHUSTER@Wzw.Tum.DE

Zusammenfassung: Entlang Höhengradienten wurde 2010 und 2011 an 42 Standorten die Blattphänologie von ausgewählten Baumarten sieben Die Temperaturbeobachtet. Reaktionsraten für verschiedene phänologische Phasen wurden bestimmt, basierend auf einer kontinuierlichen Temperaturerfassung an jeder der Beobachtungsstandorte. Durch Probenahmen sogenannter Microcores im zweiwöchigen Turnus im Jahr 2011 wurde zusätzlich die Entwicklung des aktuellen Jahrrings für Rotbuche und Fichte verfolgt. Die Eintritts-Zeitpunkte der phänologischen Phasen und das Stammwachstum wurden in Abhängigkeit der Temperatur ausgewertet.

Diese Studie ist Teil des Verbundprojekts KLIMAGRAD (Auswirkungen des Klimawandels in den Alpen - Erfassung mittels Höhengradienten), das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit finanziert wird. An vier Gradienten um Garmisch-Partenkirchen mit 42 Standorten zwischen 700 und 1800m üNN wurde ein Netzwerk von Temperatur- und Luftfeuchte-Messungen installiert (Hobo Pro V2[®] Logger). Vier vollausgestattete Klimastationen wurden in verschiedenen Höhen errichtet – jeweils eine pro Gradient (Brandwiese 900m, Felsenkanzel 1250m, Kreuzeck 1600m, Schachen 1850m). An den 42 Standorten wurde die Blattphänologie von sieben Baumarten wöchentlich beobachtet, wobei ein BBCH-Code konformer Beobachtungsschlüssel verwendet (Meier et al. 1997). Für Fagus sylvatica und Picea abies wurden an acht Standorten zwischen 800 und 1400 m üNN im Jahr 2011 im zweiwöchigen Abstand sogenannte Microcore-Proben genommen. Anhand derer lässt sich die Entwicklung des aktuellen Jahrrings nachverfolgen und die Ergebnisse mit Phänologie- und Temperatur-Daten verknüpfen.



Abb. 1: Dünnschnitt einer P. abies Probe vom 23. Mai 2011, 800m üNN. Sichtbar sind (von oben nach unten): Rinde, Phloem, Kambium, Xylem 2011, Xylem 2010, Spätholz 2009

Ergebnisse Temperatur-Messungen 2011

An den vier Klimastationen wurde im Herbst 2011 (Sep.-Okt.) eine um 2,8°C höhere Temperatur gemessen als 2010. Im Beobachtungszeitraum im Frühjahr 2011 (Apr.-Jun.) war es nur um 0,6°C wärmer als im Vorjahr. Im November 2011 meldete der Deutsche Wetterdienst (DWD) Temperatur- und Sonnenscheindauer-Rekorde in Bergregionen. Er war der trockenste November seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881 (DWD 2011).

2010 and 2011 temperature at Schachen

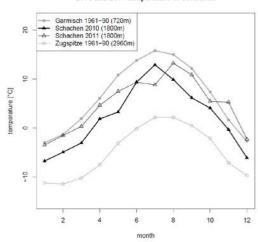
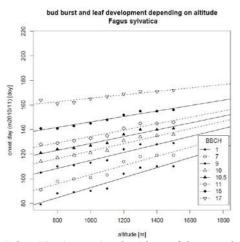


Abb..2: Verlauf der Lufttemperatur 2010 und 2011 exemplarisch für die Station am Schachen (KLIMA-GRAD) im Vergleich zum langjährigen Mittel in Garmisch und auf der Zugspitze (1961-90, DWD Daten: www.dwd.de)



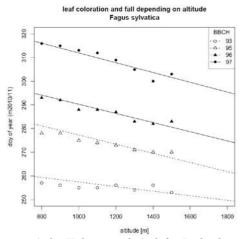


Abb.3: Mittlere Eintrittstermine der Blattentfaltung und Blattseneszenz mit der Höhe exemplarisch für Rotbuche.

Die auf den Messungen an den Temperaturgradienten beruhenden "lapse rates" (Temperaturänderung mit der Höhe) betrugen -0,48 und -0,46 °C/100m im Frühjahr (2010 und 2011) sowie -0,3 und -0,22 °C/100m im Herbst (2010 und 2011). Die Raten im Herbst 2011 wurden dabei stark von den warmen Temperaturen in höheren Lagen und den häufigen Inversions-Situationen beeinflusst.

Ergebnisse Phänologie

Die Phänologie aller Arten zeigt in der Blattentwicklung und der Seneszenz klare Reaktionen auf die Höhe und die Temperatur. Phänologische Reaktionsraten [Tage/°C] werden durch die Kombination der Änderungsraten mit der Höhe [Tage/100m] und der gemesse- nen Temperaturgradienten [°C/100m] be- stimmt. Die Frühjahrsphasen treten mit anstei- gender Temperatur früher, die Herbstphasen später ein. Reaktionsraten nehmen dabei Knospenaufbruch (BBCH 7) bis zum Ende Blattentfaltung (BBCH 17) ab, nur Abies alba und Pinus sylvestris zeigen relative konstante Werte für alle Phasen:

Acer pseudoplatanus: -9,1 bis -2,2 Tage/°C Fagus sylvatica: -7,9 bis -3,0 Tage/°C Larix decidua: -9,4 bis -1,6 Tage/°C Picea abies: -8,4 bis -4,2 Tage/°C Pinus mugo: -5,9 bis -2,1 Tage/°C Abies alba: -4,1 bis -5,0 Tage/°C Pinus sylvestris: -4,5 bis -4,9 Tage/°C

Für Laubbäume nehmen die Raten von Beginn der Blattverfärbung (BBCH 93) bis zum Ende des Blattfalls (BBCH 97) wieder zu: *Acer pseudoplatanus*: 0,7 bis 7,7 Tage/°C *Fagus sylvatica*: 3,7 bis 8,0 Tage/°C

Das bedeutet, dass nicht nur die Vegetationsperiode um 16, 4 Tage, sondern auch die Zeit

der Blattentfaltung um 5,9 Tage und die der

Blattseneszenz um 6,4 Tage pro Grad Celsius verlängert wird (Laubbäume).

Ergebnisse Stammwachstum

Die Jahrring-Entwicklung unterscheidet sich zwischen *P. abies* als immergrüne und *F. sylvatica* als laubwerfende Art. Für *P. abies* beginnt das Xylem-Wachstum mit oder kurz nach Knospenaufbruch und die Wachstumsdauer ist relativ konstant. Für *F. sylvatica* hingegen beginnt das Xylem-Wachstum 3 bis 4 Wochen nach Knospenaufbruch und die Wachstumsperiode, insbesondere ihr Ende, ist von Höhe und Temperatur abhängig. Genauere Zusammenhänge zwischen Stammwachstum, Phänologie und Temperatur werden zur Zeit analysiert.

Diskussion

Die Temperaturreaktion des Beginns der Blattentfaltung von -6.4 Tagen/°C aus Langzeit-Daten (1951-2011, gesamt Deutschland) stimmt sehr gut mit der von uns an den Höhengradienten in Garmisch bestimmten Rate von -5.9 Tagen/°C überein. Unsere Werte für die Herbst-Seneszenz jedoch sind teilweise um das Dreifache größer, was bedeutet, dass sie sehr stark durch den außergewöhnlich warmen Herbst 2011 beeinflusst sind. Das führt zu der Schlussfolgerung, dass die Jahreszeit, die den höchsten Temperaturanstieg verzeichnet, am meisten zur Verlängerung der Vegetationsperiode beiträgt.

Da das Stammwachstum von *F. sylvatica* viel stärker durch die Länge der Vegetationsperiode bestimmt wird, sollten laubwerfende Arten mehr Vorteile aus einem Temperaturanstieg und einer verlängerten Vegetationsperiode ziehen können.

Literatur

DWD (2011) Deutschlandwetter im November 2011. German Meteorological Service (DWD), Offenbach, Germany **Meier, U**. (1997) Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants. Wien, Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin.

STICKSTOFFEINTRÄGE IN MONTANE UND SUBALPINE FICHTENWÄLDER

GERT JAKOBI UND MANFRED KIRCHNER
HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN, CMA
JAKOBI@HELMHOLTZ-MUENCHEN. DE

Im Rahmen des Projektes KLIMAGRAD wurden in den Jahren 2010 und 2011 am Alpennordrand (Zugspitzgebiet) suchungen zum Stickstoffeintrag in montane und subalpine Fichtenbestände durchgeführt. Ziel insbesondere **Einfluss** den der der Hangneigung und der Höhenlage, Expositionsrichtung auf die Stickstoffdeposition zu quantifizieren.

Ökosysteme, wie Wälder, sind in vielen Gebieten Europas auf Grund erhöhten Stickstoffeintrags Erhöhte durch Eutrophierung bedroht. Stickstoffeinträge können zwar Wachstumssteigerungen der Waldbäume führen, so sind aber auch Bodenvegetations- änderungen, Bodenversauerung, Nährstoffimbalancen, Lachgasemissionen und Nitrataustrag Grundwasser zu befürchten. Anzeichen liegen auch für Wald- ökosysteme im bayerischen Alpenraum vor.

Untersuchungsgebiet und Meßprogramm

Entlang von Höhengradienten am Kramer und am Kreuzeck (Abb. 1) wurden Immissions- und Depositionsmessungen durchgeführt. Die Messflächen waren so eingerichtet worden, dass unterschiedliche Höhenlagen, Expositionsrichtungen (Luv, Lee) und die Steilheit des Geländes berücksichtigt werden konnten. Die Messflächen bestanden aus je einer Messstelle im Bestand und im Freiland.



Abb. 1: N-S Querschnitt der Höhengradienten am Kramer (KRA) und am Kreuzeck (KRE) sowie der UFS (Zugspitze). (S=Südhang, N=Nordhang, Höhe 10-1m)

Höhengradienten wurden mit Messergebnissen von der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) verglichen. Mittels zweier unterschiedlicher Modellansätze, der Kronenbilanzmethode und der inferentiellen Methode, wurde der Versuch unternommen, die Gesamtdepositionsraten abzuschätzen.

Immission

Entsprechend der Lage am Alpennordrand, relativ fern von den Emissionsgebieten im Alpenvorland, sind die Konzentrationen beider Gase relativ gering und nehmen mit der Höhe ab. Der Talbereich weist Jahresmittelwerte der NO2 -Konzentrationen von 4 – 6 μg/m3 auf, primär infolge von Emissionen des lokalen Hausbrands und Verkehrs. NH3, Hauptquelle ist hier die Landwirtschaft und in geringerem Umfang auch der Verkehr, ist nur im Tal nennenswert erhöht und besitzt einen Hintergrundwert von 1 bis 2 μg/m3 (Abb. 2). Der Gipfelbereich des Kreuzeck, das Partnachtal und die UFS erscheinen hinsichtlich der Immissionssituation im Loisachtal weitgehend entkoppelt.

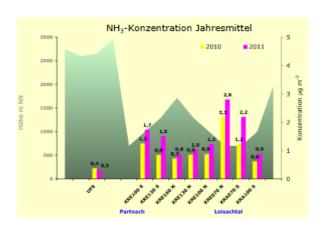


Abb. 2: Jahresmittelwerte der NH_3 -Konzentration, 2010 und 2011

Deposition

Die nasse Deposition (Abb. 3, oben), berechnet aus der gemessenen Freilandeposition, ist in allen Höhen relativ ähnlich und ergibt aufgrund der höheren Niederschlagsmenge auch an der UFS Werte von 5-8 kgN/ha*Jahr. Die Bestandes-deposition (Abb. 3, unten) zeigt relativ hohe Einträge im Talbereich (Loisach) und sehr hohe Werte im steilen oberen Hangbereich (1600 m NN). Hier liegt der jährliche Gesamtstickstoffeintrag in den Bestand bei 17-20 kgN/ha*Jahr, was auf einen

hohen Anteil okkulter Deposition (Nebel/Wolken) schließen lässt. In steilem Gelände, bei aufliegenden Wolken (Nebel), sind die Fichtenbestände in der Lage, Feuchtigkeit effektiv auszufiltern. Die geringsten Gesamtstickstoffeinträge im Bestand (6 kgN/ha*Jahr) sind auf der Südseite des Kreuzeck, im Partnachtal, zu verzeichnen.

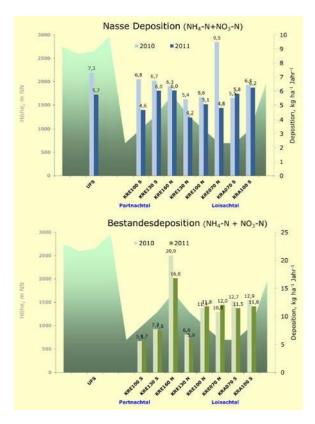


Abb. 3: Nasse Deposition und Bestandesdeposition 2010 und 2011

Abschätzung des Gesamtstickstoffeintrags Mit Hilfe zweier unabhängiger Modellansätze wurde versucht, den an derartigen Standorten experimentell nicht direkt messbaren Anteil der trockenen Deposition abzuschätzen, um damit Aussagen zum tatsächlichen Gesamtstickstoffeintrag (nasser + trockener Anteil) machen zu können.

Kronenbilanzmethode: Bei dieser Methode wird unächst die Nettobestandesdeposition, basierend auf der Messung der Bestandesdeposition und der nassen Deposition (Freiland), als deren Differenz. getrennt für alle Stickstoffverbindungen und der basischen Kationen (Ca2+, Mg+, Na+ und K+) berechnet. Damit können im nächsten Schritt Kronenaustauschprozesse (canopy canopy leaching) aller Ionen berechnet werden, wobei Na+ als Tracer fungiert. Der Anteil der trockenen N-Deposition kann dann als Summe Nettobestandesniederschlages und berechneten Kronenaustauschprozesse

abgeschätzt werden. Somit liefert diese Methode auch eine Abschätzung, wie viel Stickstoff von den Pflanzenbeständen über die Krone aufgenommen oder abgegeben wird.

Inferentielle Methode Bei der inferentiellen Methode wird die trockene N-Deposition als Produkt der Konzentration der Gase NO2 und NH3 und deren Depositionsgeschwindigkeiten berechnet. Im Gebirge sind exakte Angaben oder Messungen zu Depositionsgeschwindigkeiten jedoch noch weit komplizierter als in ebenem Terrain. Deshalb wurde mit einem semi-empirischen Ansatz versucht, aus der Literatur bekannte Depositionsgeschwindigkeiten für NO2 und NH3 in Fichtenbestände, basierend auf Geländeparametern realen des Untersuchungsgebietes, wie Steilheit der Hänge Windexposition und meteorologischen Parametern, Inversionshäufigkeiten, zu parametrisieren. Besonders die unterschiedliche Temperaturverteilung bei Sonneneinstrahlung an den N- und S- exponierten Flächen, führt zu unterschiedlichen Häufigkeiten von Hang- aufwinden, was sich signifikant auf die Depositionsgeschwindigkeit auswirken sollte.

Vergleich Die nach beiden berechnete Gesamtdeposition für 2010 ist in Abb. 4 dargestellt. Beide Verfahren liefern um mehr als 50% höhere Einträge als die reinen Bestandesdepositionsmessungen. In der Regel Einträge zwischen 18 und kgN/ha*Jahr ermittelt; insbesondere im relativ abgeschirmten Partnachtal liegen die Einträge dagegen unter 15 kgN/ha*Jahr. An dem stark geneigten und exponierten Standort in 1600 m NN weichen allerdings beide Verfahren in Ergebnissen ihren insbesondere Jahresvergleich 2010/2011 (hier nicht gezeigt) extrem voneinander Von ab. einer Überschreitung der Critical Loads (10 – 15 kg N/ha*Jahr) in meisten ist somit den Höhenlagen auszugehen.

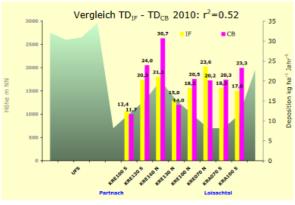


Abb. 4: Gesamtstickstoffeintrag TD aus Kronenbilanzmethode (CB) und inferentieller Methode (IF) bei parametrisierten Depositionsgeschwindigekeiten in 2010

Untersuchung der mikrophysikalischen Eigenschaften von Schneefall am Schneefernerhaus mit Hilfe von Mikrowellenradiometern

STEFAN KNEIFEL¹, XINXIN XIE¹, ULRICH LÖHNERT¹, MARTIN HAGE² UND SUSANNE CREWELL¹

¹INSTITUT FÜR GEOPHYSIK UND METEOROLOGIE, UNIVERSITÄT ZU KÖLN

²DLR-IPA, OBERPFAFFENHOFEN

SKNEIFEL@METEO.UNI-KOELN.DE

Schneefall spielt insbesondere in den mittleren und höheren Breiten eine große Rolle im globalen Wasserkreislauf. Gefrorener Niederschlag und die damit verknüpften Wolkenprozesse gehören dabei immer noch zu den größten Herausforderungen aktueller Klima- und Wettervorhersagemodelle. Um die vorhandenen Modellvorhersagen zu validieren und letztendlich Modellparametrisierungen zu verbessern sind umfassende und simultane Beobachtungen der Prozesse mittels in-situ und Fernerkundungssensoren notwendig. Eine wichtige Messkomponente stellen dabei die Daten passiver Mikrowellenradiometer dar. Wie in diesem Bericht dargestellt werden soll, ermöglichen passive Messungen über einen weiten Frequenzbereich kombiniert mit Radar- und in-situ Daten Aufschluss über wichtige mikrophysikalische Fragestellungen, z.B. ob Schneeflocken beim Fallen eine bestimmte Vorzugsorientierung aufweisen. Des Weiteren erlauben die am Schneefernerhaus gewonnen Daten unter anderen Rückschlüsse auf den Einfluss unterkühlten Flüssigwassers auf die Schneefallmikrophysik.

Einleitung

Mikrowellenradiometer (MWR) sind hochempfindliche Empfänger für die von der Atmosphäre emittierte thermische Mikrowellenstrahlung. Diese stammt sowohl von atmosphärischen Gasen wie Wasserdampf, Sauerstoff, oder Stickstoff, als auch von flüssigen Wolkentröpfchen. Dazu kommt Mikrowellenstrahlung, welche z.B. an größeren Schneepartikeln zum MWR zurückgestreut wird. Dieser Effekt konnte erst vor kurzem am Schneefernerhaus erstmalig bei bodengebundenen MWR nachgewiesen werden (Kneifel et al. 2010, Löhnert et al, 2011). Die Messung all dieser Emissio-

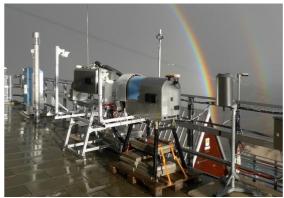


Abb.1: Mikrowellenradiometer auf der Terrasse des 5. OG der UFS: Der Humidity and Temperature Profiler HATPRO (rechts, seit 2005) liefert vertikale Temperatur- und Feuchteprofile sowie Säulengehalte des flüssigen Wolkenwassers und des Wasserdampfes. Das Dual Polarisation Radiometer (DPR, seit 2007) erlaubt mit seinen Empfängern bei 90 und 150 GHz neue Einblicke in die Schneefallmikrophysik.

nen innerhalb charakteristischer Spektralbereiche ermöglicht die Beobachtung atmosphärischer Parameter wie etwa Flüssigwassergehalt, vertikale Temperatur- und Feuchteverteilung unter nahezu allen Wetterbedingungen. Die Messdaten liegen dabei in einer hohen zeitlichen Auflösung vor (<10 Sekunden) und können genutzt werden, um langfristige Klimadatenreihen zu erstellen. Die Einbeziehung höherer Frequenzen (>90GHz) ermöglicht außerdem Rückschlüsse über Gesamtschneegehalt der Wolke und liefert Informationen über die Polarisation des vom Schneefall hervorgerufenen Streusignals.

Das Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln betreut in Zusammenarbeit mit dem Meteorologischen Institut der LMU München und dem Schneefernerhaus deshalb an der UFS zwei Mikrowellenempfänger (Abb. 1): Dies ist zum einen der Humidity and Temperature PROfiler (HATPRO, in Betrieb seit 2005) sowie das Dual Polarization Radiometer (DPR, in Betrieb seit 2007) welche

zusammen die Beobachtung der Atmosphäre im Frequenzbereich von 22 - 150 GHz ermöglichen.

Orientierung von Schneeflocken

Die Frage ob Eis- und Schneepartikel mit einer bestimmten Vorzugsorientierung fallen, hat weitreichende Auswirkungen z.B. auf die Parametrisierung der Fallgeschwindigkeit von Schneeflocken in numerischen Modellen oder auf die Berechnung ihres Radarrückstreusignals und damit auf die Bestimmung der Schneefallrate aus Radardaten. Für kleine Eispartikel bis zur Größe von einigen Millimetern weiß man seit längerem, dass beispielsweise Eisplättchen mit ihrer längsten Achse horizontal orientiert fallen. Bei zunehmender Größe und Komplexität der Partikel werden die aerodynamischen Bedingungen jedoch zunehmend instabil, sodass sich nicht mehr eindeutig vorraussagen lässt, ob größere Schneeflocken eine bestimmte Vorzugsorientierung beim Fallen haben.

Untersuchungen während der TOSCA (Towards an Optimal based snowfall characterisation algorithm) Kampagne am Schneefernhaus im Jahr 2008/2009 (Löhnert et al., 2011) haben ergeben, dass Schneeflocken durch Streuprozesse zu einem erhöhten Mikrowellensignal bei Frequenzen oberhalb von 90 GHz beitragen. Simulationen dieser Streuprozesse ergaben auch, dass sich das Streusignal in seiner Polarisation unterscheidet, wenn die Schneeflocken mit ihrer längeren Achse horizontal fallen und das MWR dabei in horizontaler Richtung misst. In einer Analyse von Messdaten des DPR aus dem gesamten Jahr 2010 wurde untersucht ob und unter welchen Umständen eine Polarisationsdifferenz zwischen vertikaler und horizontaler Polarisation auftritt (Xie et al., 2012).

In Abbildung 2 sind die kombinierten Messungen des Mikro Regen Radar (MRR) und des DPR von 458 Stunden unterschiedlicher Schneefallereignisse aus dem Jahr 2010 dargestellt. Das Mikrowellensignal bei 150 GHz dargestellt als Strahlungstemperatur (TB) nimmt sowohl bei stärkerem Flüssigwassergehalt als auch bei größerem Schneewassergehalt zu. Die vertikal integrierte Radarreflektivität (Farbwerte) ist hingegen nur proportional zum Schneegehalt. Wie aus Abbildung 2

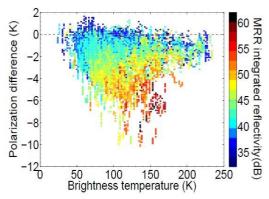


Abb.2: Polarisationsdifferenzen (vertikale-horizontal) in Kelvin bei 150 GHz und 34° Elevationswinkel als Funktion der gemessenen Strahlungstemperatur des DPR. Farblich kodiert ist die vertikal integrierte Radarreflektivität des Mikro Regenradars (MRR). Die Abbildung basiert auf 485h Messungen während Schneefalls auf der UFS im Jahr 2010 (aus Xie et al., 2012).

hervorgeht, weisen die meisten Wolken mit hohem Schneewassergehalt (gelbliche und rötliche Bereiche) auch eine verstärkte Polarisationsdifferenz auf. Wie zusätzliche Analysen des Flüssigwassergehalts ergaben, führt ein hoher Flüssigwassergehalt dazu, dass die Polarisationssignale gedämpft werden, weshalb die Polarisation durch orientierte Schneeflocken nicht bei allen Schneefallereignissen eindeutig nachweisbar ist. Die HATPRO Messungen (unempfindliche gegenüber Schneestreuung) ermöglichen es jedoch den Flüssigwassergehalt in der Wolke zu bestimmen und somit Fälle mit gedämpftem Polarisationssignal getrennt zu betrachten. Die gewonnen Daten weisen sehr deutlich darauf hin, dass auch größere Schneeflocken im Mittel horizontal orientiert fallen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die gewonnen Erkenntnisse können dabei helfen die Berechnung der Fallgeschwindigkeit von Schneeflocken und damit die Vorhersage der Schneefallintensität in numerischen Modellen zu verbessern. Auch ist die Information einer Vorzugsorientierung sehr wichtig um aus Radarmessungen realistische Schneefallparameter abzuleiten. Die langfristigen Messungen der Mikrowellenradiometer können in Zukunft mit anderen Messdaten anderer Arbeitsgruppen an der UFS, wie z.B. des neu installierten Wolkenradars oder weiterentwickelter in-situ Beobachtungen, kombiniert werden. Solch kombinierte, langjährige Datenreihen sind dabei von großer Bedeutung für Modellvalidierungen aber auch für das generelle Prozessverständnis von Wolken und Niederschlag.

Literatur

Kneifel, S., U. Löhnert, A. Battaglia, S. Crewell, D. Siebler, Snow scattering signals in ground-based passive microwave measurements. J. Geophys. Res., 115, D16214, doi:10.1029/2010JD013856

Löhnert, U., S. Kneifel, A. Battaglia, M. Hagen, L. Hirsch, S. Crewell, 2011: A multisensor approach towards a better understanding of snowfall microphysics: The TOSCA project, Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 613–628, doi: 10.1175/2010BAMS2909.1.

Xie, X., U. Löhnert, S. Kneifel, and S. Crewell, 2012: Snow particle orientation observed by ground-based microwave radiometry, J. Geophys. Res., 117, D02206, doi:10.1029/2011JD016369.

DZUG-DOWNSCALING PROJEKT ZUGSPITZE: STATISTISCHE MODELLIERUNG DES WINTERNIEDERSCHLAGS AN DERZUGSPITZE MITHILFE VON WETTERLAGENKLASSIFIKATIONEN UND NEURONALEN NETZEN

ANDREAS PHILIPP, CHRISTOPH BECK UND JUCUNDUS JACOBEIT IGUA, AUGSBURG, A. PHILIPP@GEO. UNI-AUGSBRUG. DE

Im Arbeitsbereich DZUG (Downscaling Projekt Zugspitze) werden am Institut für Geographie der Universität Augsburg (IGUA) unterschiedlichste Methoden zur Modellierung der lokalen Klimavariabilität an der Zugspitze getestet, weiterentwickelt und verglichen. Die exponierte La- ge der Zugspitze erweist sich hierbei als vorteilhaft, um statistische Beziehungen zwischen großskaliger Zirkulation und lokalen Auswirkungen erfassen. Jüngste, zu **Fortschritte** erhebliche in der Modellqualität konnten durch eine **Kombination** von Zirkulationsklassifikationen mit künstlichen neuronalen Netzen erreicht werden.

Modellierung der oberflächennahen Die Klimavariabilität an der Zugspitze erlangt besondere Bedeu- tung nicht nur durch die expositionsbedingte Gunstlage gegenüber der Atmosphäre freien und der daverbundenen Eignung Grundlagenforschung, sondern insbesondere auch durch die hohe Trag- weite möglicher Auswirkungen von Klimaveränderungen in einem hochsensitiven Geoökosystem. Gleichzeitig ist im Rahmen der vielfältigen Forschungstätigkeiten an Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) ein vergleichbar intensives Monitoring derartiger Veränderungen auch über längere Zeiträume hinweg möglich.

Neben dynamischen Ansätzen der Abschätzung lokaler Klimavariabiliät mittels regionaler Klimamodelle spielen statistische Modellierungsansätze eine immer größere Rolle, wie z. B. die europaweit koordinierten Forschungsaktivitäten im Rahmen der COST (European Cooperation in Science and Technology) Action ES1102 VALUE (Validating and Integrating Downscaling Methods for Climate Change Research, 2012-2015) zeigen. Am IGUA liegt hierbei ein Fokus insbesondere auf klassifikati- onsbasierten Methoden.

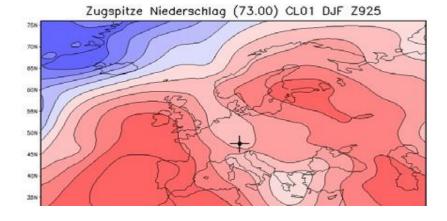
Reference Class Forecasting

Ein erster, über den letzten UFS-Bericht (Beck et al. 2010) hinausreichender Ansatz in der Anwendung konditionierten Clusteranalyse im Rahmen des sog. Reference Class Forecasting. Hierbei wird Klassifikation eine täglicher Zirkulationsmuster (hier: geopotentielle Höhe des 925 hPa- Niveaus) mittels Clusteranalyse durchgeführt, wobei jedoch nicht nur die Ähnlichkeit zwischen Zirkulationsmustern zur Gruppierung herangezogen wird, sondern zudem die Niederschlagswerte beobachteten Zugspitze Eingang finden. Ermöglicht wird dies durch eine Erweiterung der Be- rechnung der Euklidischen Distanz zwischen Mustern um einen Niederschlagsterm im Rahmen der Klassifikation:

$$D_{(day_1, day_2)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} (c_{1,i} - c_{2,i})^2 + \lambda (p_1 - p_2)^2}$$

Hierbei stellt $D_{(day1,day2)}$ das Distanzmaß zwischen den zu klassifizierenden täglichen Mustern dar, $c_{1,i}$ die geopotentielle Höhe c an Tag 1 an Gitterpunkt i von n Gitterpunkten, $c_{2,i}$ das entsprechende für Tag 2, λ bezeichnet einen empirisch ermittelten optimalen Faktor (hier λ =10), mit dem der Unter- schied in den Niederschlagssummen zwischen Tag 2 (p_2) und Tag 1 (p_1) gewichtet Eingang in das Gesamtmaß findet.

Abbildung 1 zeigt die hieraus resultierenden Zirkulationsmuster für die in den Jahren 1957 bis 1980 niederschlagsreichste sowie niederschlagsärmste Klasse bezüglich der Gipfelstation an der Zugspitze aus einer Klassifikation mit 27 Klassen für die Wintermonate Dezember bis Februar. Im ersten Fall handelt es sich um einen Kaltlufttropfen, im zweiten um eine stabile Hochdrucklage direkt über der Bezugsstation Zugspitze.



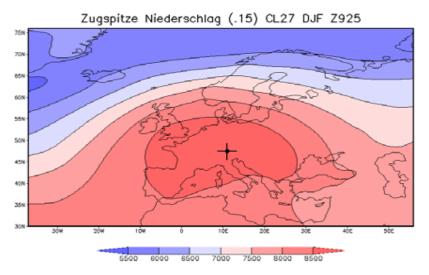


Abb. 1: Die niederschlagsreichste (oben, 73 mm Tagessumme) und niederschlagärmste (unten 0,15 mm Tagessumme) Klasse einer auf den Zugspitz-Winterniederschlag (Position mit Kreuzsymbol markiert) konditionierten Clusteranalyse. Dargestellt ist in Kontouren das Geopotentialniveau (in Dezimetern) der 925 hPa Druckfläche.

Im Zuge des Refernce Class Forecasting werden nun die täglichen Druckmuster aus der Validierungsperiode 1980 bis 2002 den ermittelten Klassen zugeordnet (nun allein aufgrund des Ähnlichkeit der Zirkulationsmuster) und der assoziierte mittlere Niederschlag der entsprechenden Klasse als Modellwert herangezogen. Auf diesem Wege lassen sich für die Zugspitze 41% der winterlichen Niederschlagsvarianz erklären. Im Vergleich dazu werden für die Stationen Hohenpeißenberg bzw. Sonnblick lediglich 20 % bzw. 27 % erreicht. Dennoch lässt auch der Wert für die Zugspitze die Modellqualität immer noch als unzureichend für eine verlässliche Modellierung erscheinen.

Typspezifische Neuronale Netze

Eine deutlich höhere Modellqualität lässt sich mittels Neuronaler Netzwerke erzielen. Hierbei Netzwerk 925 werden im die Geopotentialwerte eines Tages unter Einbezug von Gewichtungsfaktoren in einer sog. versteckten Schicht von Neuronen transformiert, um in der sog. Ausgabeschicht den Niederschlag zu modellieren. Diskrepanzen zwischen dem Modellniederschlag und den Beobachtungen nen dann als Fehlerkorrektur zur optimalen Anpassung der Gewichte verwendet werden. Mit einem derartigen sog. Multilayer Perceptron lassen sich Winterniederschlag an der Zugspitze 63% erklärte Varianz erzielen (Sonnblick: 54%, Hohenpeißenberg: 31%).

Eine nochmalige Steigerung der Modellqualität ist jedoch mit einer Kombination der eingangs vorge- stellten Klassifikationsmethode und den Neuronalen Netzwerken möglich (s. Abb. 2.). Hierbei wird zunächst durch eine

niederschlagskonditionierte Klassifikation, basierend auf den Zirkulationsmus- tern, eine Einteilung in niederschlagsarme, mittlere und niederschlagsreiche Tage vorgenommen. Für jede dieser drei Typen wird anschließend ein eigenes Neuronales Netz trainiert. Hierbei wurden erklär- te Varianzen von 76% für die Zugspitze, 72% für den Sonnblick und 74% für Hohenpeißenberg er- zielt: Werte, die künftige Modellierungen unter veränderten Klimabedingungen erlauben.

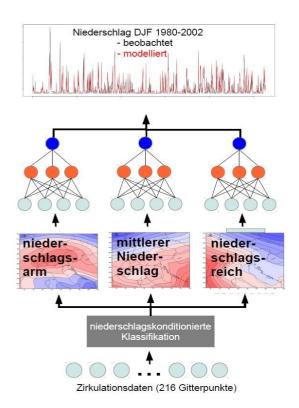


Abb.2: Prozessschema der statistischen Niederschlagsmodellierung an der Zugspitze mit niederschlagskonditionierter Zirkulationsklassifikation und typspezifischen Neuronalen Netzen.

DIFFERENZEN BEI DER EXTREMTEMPERATURMESSUNG IM ZUGSPITZGEBIET ZWISCHEN VERSCHIEDENEN SENSOREN

KLAUS HAGER, ESTHER OßWALD UND JUCUNDUS JACOBEIT

INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE, UNIVERSITÄT AUGSBURG

KLAUS. HAGER@GEO. UNI-AUGSBURG. DE, JACOBEIT@GEO. UNI-AUGSBURG. DE

Konventionelle **Temperaturmessung** mit Ouecksilberund Alkoholthermometern unterscheidet sich messtechnisch von zunehmend verbreiteten elektronischen Sensoren und damit einhergehend z.B. in den Einstellzeiten auf variierende Temperaturen (erheblich verkürzt bei elektronischer Messwerterfassung). Dies führt auch zu teilweise beträchtlichen Unterschieden in den gemessenen Temperaturen, gerade bezüglich der täglichen Maximum- und Minimumtemperaturen (siehe Rengelink (2011) sowie den vorangehenden Report von Hager & Jacobeit in den UFS Scientific Results 2009/2010). Da die neue elektronische Sensorik in den letzten Jahrzehnten meist ohne mehrjährige Vergleichsmessungen mit den vormaligen Geräten eingesetzt wurde, ist die Vergleichbarkeit von alten und neuen Messreihen oft nicht hinreichend gegeben, Inhomogenitäten in zusammengesetzten langen Datenreihen aufgrund dieser Umstellung in der Messtechnik lassen sich nicht ausschließen und sind nur schwer zu quantifizieren. Die seit August 2010 an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus begonne-Vergleichsmessungen konzentrieren sich auf die täglichen Extremtemperaturen in einem Hochgebirgsraum, der bekanntermaßen von erhöhter Sensitivität gegenüber klimatischen Veränderungen gekennzeichnet ist.

Folgende Instrumente (Sensoren) stehen für die täglichen Vergleichsmessungen der Extremtemperaturen zur Verfügung:

- Quecksilber- und Alkoholthermometer in einer "Gießener" Wetterhütte
- Halbleitersensor LM 335, ebenfalls in dieser Wetterhütte
- Pt 100 Sensor in der nebenstehenden automatischen Reinhardt-Station
- Pt 100 Sensor in der naheliegenden DWD-Station mit Kunststoff-Strahlungsschutz
- Ergänzend werden auch die an der Wetterwarte des DWD auf dem Zugspitzgipfel gemessenen Werte herangezogen.

Die konventionellen Thermometer werden dankenswerter Weise durch die an der UFS tätigen DWD-Kollegen abgelesen und manuell eingestellt, Daten stehen daher aber auch nur an Werktagen zur Verfügung. Eine bedauerliche Datenlücke ergibt sich für den Sommer 2011 aufgrund Blitzschlages, der die Reinhardt-Station getroffen hatte und eine Neujustierung erforderlich machte.

Im Unterschied zum ersten UFS Bericht von 2010, in dem für einen erst kurzen Zeitraum tägliche Differenzen behandelt wurden, können nun mittlere monatliche Abweichungen zwischen August 2010 und Mai 2012 dargestellt werden. Als Referenz für die Abweichungen fungieren die Werte von Quecksilber-(Höchsttemperaturen) bzw. Alkoholthermometer (Tiefsttemperaturen).

Tagestiefsttemperaturen

Wie Abb. 1 zeigt, sind hier die Differenzen meist deutlich geringer als bei den Tageshöchsttemperaturen sowie relativ gleichmäßig um den Referenzwert verteilt (das generell niedrigere Niveau beim Zugspitzgipfel ergibt sich aus dem mehr als 300-metrigen Höhenunterschied). Auffallend ist vor allem die ausgeprägte Negativanomalie im Dezember 2010, die auf damaligen Schneereichtum mit Windeintrag bis an die Messeinrichtungen zurückzuführen ist. Positive Strahlungsbeeinflussung spielt bei den Tiefsttemperaturen generell keine Rolle.

Tageshöchsttemperaturen

Hier zeigen sich gänzlich andere Verhältnisse (oberer Teil von Abb. 1): die geringsten Abweichungen sind jeweils im strahlungsarmen Dezember zu verzeichnen, während sie ab

Februar deutlich höhere Werte annehmen. Zu beachten sind auch die geringeren sommerlichen Abweichungen bei erhöhtem Bewölkungsgrad und niedrigerer direkter Einstrahlung (wegen Datenausfalls leider nur am Beginn der Messreihen erkennbar), so dass der größte Strahlungseinfluss in den Frühjahrsmonaten zur Ausbildung gelangt. Bemerkenswert ist weiterhin, dass die beiden elektronischen Pt 100 Sensoren am Schneefernerhaus entgegengesetzte Abweichungen zeigen (positive bei der Reinhardt-Station, negative bei der DWD-Station), was auf unterschiedliche Sensorgröße und Belüftungswirksamkeit zurückzuführen ist.

Folgerung: Die insbesondere hei den Tageshöchsttemperaturen auftretende. teils erhebliche Abweichungen, zwischen den Sensoren werden es erforderlich machen, langfristige Datenreihen mit implizierter Umstellung der Messtechnik einer spezifischen Überprüfung Anpassung und ggf. unterziehen. Dazu sind jedoch noch wesentlich verlängerte Ver- gleichsmessungen notwendig, repräsentati-Quantifizierungen ve vornehmen zu können.

Literatur:

Rengelink, S. (2011): Vergleich und Auswertung von täglichen Extremtemperaturmessungen mit Quecksilber-/Alkoholthermometern und Pt 100 Thermometern beim Fliegerhorst Lechfeld. Diplomarbeit FH Bund, Fachbereich Wetterdienst.

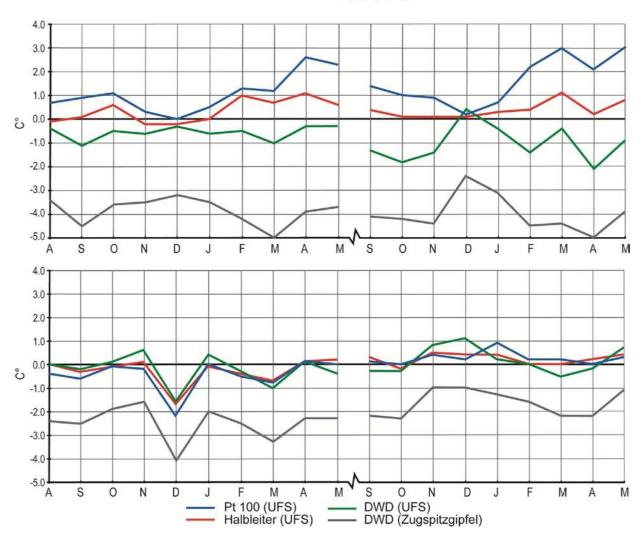


Abb.1: Mittlere monatliche Abweichungen der Tageshöchsttemperaturen (oben) und der Tagestiefsttemperaturen (unten) zwischen verschiedenen Sensoren im Zeitraum August 2010 bis Mai 2012 (keine Daten für Sommer 2011 aufgrund von Blitzeinschlag in die automatische Wetterstation). Die Abweichungen der angegebenen Stationsmessungen beziehen sich auf UFS-Wetterhütten-Messungen mit einem konventionellen Quecksilber- (oben) bzw. Alkoholthermometer (unten).

TRACERHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM ZUGSPITZGEBIET – ABGRENZUNG DES PARTNACHGEBIETES IM OSTEN

GEORG STROBL UND KARL-FRIEDRICH WETZEL
INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE, UNI AUGSBURG
WETZEL@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Hochgebirge stellen gemäß VIVIROLI et al. (2007) Räume mit großer hydrologischer Bedeutung dar. So sind diese auf Grund ihrer überproportional hohen Niederschläge für die Wasserversorgung der Vorländer von hoher Relevanz. Dennoch sind die Kenntnisse über die Hydrologie alpiner Einzugsgebiete bis heute noch unzureichend. Da diese Regionen vom Klimawandel jedoch voraussichtlich besonders stark betroffen sein werden (IPCC 2007), sind weitere Untersuchungen insbesondere zu den hydrologischen Auswirkungen in Hochgebirgen notwendig.

Das Gebiet

Das Zugspitzgebiet mit dem Zugspitzplatt stellt einen Hochgebirgsraum dar, der durch seine Charakteristika ideale Voraussetzungen für hydrologische Versuche liefert. Es handelt sich um eine geologische Mulde, deren Faltenachse nach Osten einfällt. Der westliche Gebietsrand ist durch Berggipfel entlang der umlaufend streichenden Muldenstruktur charakterisiert. Im Osten wird das Zugspitzplatt durch \pm Nord-Süd verlaufende Verwerfungslinien begrenzt, an deren Schnittpunkt sich der Partnach-Ursprung befindet (vgl. Abb. 1).

Beim anstehenden Gestein handelt es sich nach MILLER (1962) um stark verkarsteten und somit gut wasserwegigen Wettersteinkalk, der von den mergelig-tonigen Partnach-Schichten unterlagert wird. Diese fungieren als Wasserstauer. Alles auf das Zugspitzplatt fallende Niederschlags- sowie versickerndes Schmelzwasser wird auf den Schichtgrenzen bis an die Verwerfungen geführt und tritt gesammelt am Partnach-Ursprung aus. Bisherigen Untersuchungen zufolge (WETZEL 2004, RAPPL et

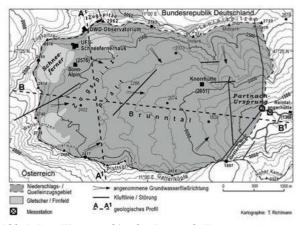


Abb.1: Das Einzugsgebiet des Partnach-Ursprungs (aus Rappl et al. 2010)

al. 2010) kann das Einzugsgebiet des Partnach-Ursprungs somit als hydrologisch geschlossen bezeichnet werden. Damit kann das Gebiet wie ein natürlicher Großlysimeter für Untersuchungen zum Wasserhaushalt eingesetzt werden.

Methodisches Konzept

Zur Verifizierung der Dichtigkeit des Gebietes, insbesondere im östlichen Bereich, sowie zur Bestimmung wichtiger Aquifereigenschaften wurde vom 17.08. bis 11.12.2011 ein Grundwassermarkierungsversuch durchgeführt, bei dem 4 kg eines Fluoreszenztracers (Eosin) verwendet wurden. Die Eingabe erfolgte nahe einer Verwerfungslinie, der Gatterlstörung, an der ein Wasserübertritt in das im Süden angrenzende Gaistal möglich schien. Die Probennahmepunkte befanden sich entsprechend an Bächen im Gaistal auf österreichischer Seite, der Partnach sowie allen bekannten Quellaustritten im oberen Reintal (vgl. Abb. 2).

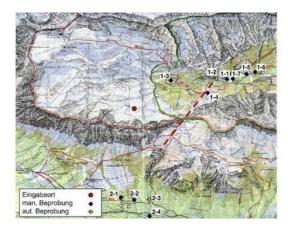


Abb. 2: Tracereingabestelle und Messpunkte

Versuchsergebnisse und Diskussion

Der Versuchszeitraum war geprägt von stationären Rahmenbedingungen, welche eine erfolgreiche Versuchsdurchführung ermöglichten. Am Partnach-Ursprung konnte der Tracer erstmals 53,5 h nach der Eingabe festgestellt werden. Der Peak der Konzentration trat knapp 20 h darauf ein, wie aus Abb. 3 ersichtlich. Die mittlere Fließgeschwindigkeit betrug 25,5 m/h, was auf ein gut entwickeltes Karstsystem schließen lässt.

Neben dem Austritt am Partnach-Ursprung konnte Tracer auch im weiteren Verlauf der Partnach gemessen werden. Am Hilfspegel ca. 250 m unterhalb des Quellaustrittes lag die Konzentration zeitweise etwas höher als am Partnach-Ursprung selbst. An allen weiteren Messstellen konnte trotz intensiver Beprobung über den gesamten Versuchszeitraum hingegen kein Tracerauftritt festgestellt werden.

Insgesamt konnte eine Rückgewinnungsrate von 54 % Eosin erzielt werden. Aufgrund dieser für Eosin sehr hohen Rückgewinnungsrate sowie des Tracernachweises alleine in der Partnach kann an der Hypothese eines prinzipiell geschlossenen Einzugsgebietes festgehalten werden. Die höheren Tracerkonzentrationen ca. 250 m unterhalb des Partnach-Ursprungs müssen allerdings noch genauer untersucht werden. So ist nach derzeitigem Kenntnisstand unklar, ob hier eventuell diffus austretendes Wasser in der Partnach zu weiterer Konzentrationserhöhung beigetragen hat oder ob Artefakte (Messfehler, unterschiedliche Beprobung) dafür verantwortlich sind.

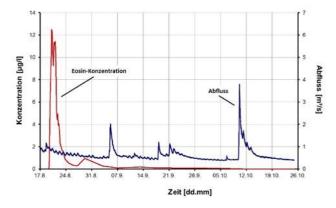


Abb. 3: Konzentrationsverlauf und Abfluss am Partnach-Ursprung Aug.-Okt. 2011 (nach eigenen Daten)

Ausblick

Die aktuellen Ergebnisse festigen die bisherigen Annahmen zum Partnach Einzugsgebiet. Dennoch bestehen weiterhin Unsicherheiten, etwa bei der Gebietsabgrenzung im Osten. Weiterhin muss geklärt werden, ob und wie viel Wasser zwischen Partnach-Ursprung und Pegelstation austritt. Zur Validierung bisheriger sowie Gewinnung weiterer Erkenntnisse sind zusätzliche Markierungsversuche speziell in direkter Nähe der Verwerfungslinien sowie eine explizite Untersuchung des Quellaustritts nötig. Entsprechende Untersuchungen und Abflussmessungen sowie Versuche mit Fluoreszenztracern sind für die Zukunft geplant.

Literatur

IPCC (2007): Climate Change 2007. Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Contributions of Working Groups I, II, II and Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge.

MILLER, H. (1962): Zur Geologie des westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirges. Dissertation, LMU, München.

RAPPL, A., WETZEL, K.-F., BÜTTNER, G. & M. SCHOLZ (2010): Tracerhydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung. In: *Hydrologie und Wasserwirtschaft*, 54/4, S. 220-230. Koblenz.

VIVIROLI, D., H.H. DÜRR, B. MESSERLI, M. MEY-BECK & R. WEINGARTNER (2007): Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. - *Water Resources Research*, Vol. 43, W07447, doi:10.1029/2006WR005653

WETZEL, K.-F. (2004): On the hydrology of the Partnach area in the Wetterstein Mountains (Bavarian Alps), - *Erdkunde*, Band 58, S. 172-186, 2004.

RADIOÖKOLOGIE BEI SCHNEE

KERSTIN HÜRKAMP, FELIX BERNAUER, STEFANIE TAFELMEIER UND JOCHEN TSCHIERSCH HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN, INSTITUT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 85764 NEUHERBERG KERSTIN. HUERKAMP@HELMHOLTZ-MUENCHEN. DE

Unter dem Aspekt "Umweltradioaktivität" untersucht das Helmholtz Zentrum München seit Herbst 2011 radioökologische Prozesse im Schnee. Dazu zählen sowohl die Deposition von aerosolgebundenen Radionukliden mit und auf Schnee, die Abschätzung der Migrationsraten in der Schneedecke als auch die räumliche und zeitliche Quantifizierung der mit der Schneeschmelze ins Oberflächenwasser abgegebenen Radioaktivität.

Schnee wird eine besonders hohe Effizienz des Auswaschprozesses aerosolgebundener Radionuklide aus der Atmosphäre nachgesagt. Damit stellt die Schneedecke wie der Boden eine Senke für radioaktive Stoffe dar, mit dem Unterschied, dass die für Boden typischen Schadstofffiltereigenschaften im Schnee fehlen. Wassersättigung der Böden im Frühjahr, anstehendes massives Festgestein (z.B. auf der Zugspitze) oder die Existenz von Permafrost verhindern häufig einen Eintrag in die Böden. Die Nuklidfreisetzung mit der Schneeschmelze ist dann über den verstärkten Oberflächenabfluss besonders hoch. Zudem wird die Radioaktivität in der Schneedecke durch Schmelze und Sublimation weiter aufkonzentriert. Im Frühjahr kann dann zeitlich punktuell eine größere Menge der radioaktiven Stoffe mit der Schneeschmelze in das Oberflächenwasser abgegeben werden. Radioökologische Prozesse, die mit Schnee verbunden sind, wurden selten untersucht und viele Probleme sind nicht geklärt. Zukünftige Klimamodelle prognostizieren allerdings für milde Winter in Höhen über 1.700-2.000 m NN infolge globalen Temperaturanstiegs eine Zunahme der festen Niederschläge sowie generell eine Zunahme extremer Klimaereignisse, sodass die Thematik wieder zunehmend in den Fokus rückt.

Im vergangenen Winter 2011/2012 wurden auf den Messterrassen der UFS auf Flächen definierter Größe erste Schneeproben in Mengen bis zu 201 Wasseräquivalent gesammelt, geschmolzen, durch Eindampfen konzentriert und gammaspektrometrisch vermessen. Bestimmt wird die Anzahl der emittierten Gammaquanten der in der Atmosphäre relativ homogen verteilten natürlich vorkommenden Radionuklide ⁷Be, ²²Na, ²¹⁰Pb sowie des durch Resuspension wieder eingetragenen Tschernobyl-Nuklids 137Cs als Kenngröße der Radioaktivität bezogen auf das Probenvolumen (Bq 1⁻¹) bzw. die Probenahmefläche (Bq m⁻²). Die Messungen erfolgten auf Reinst-Germanium-Detektoren an der UFS (Canberra BE5030, 43 % rel. Effizienz, Auflösung 1,8 keV (FWHM) bei 1,33 MeV, s. Abb. 1) sowie wegen der langen Messzeiten von bis zu zwei Wochen auch am Helmholtz Zentrum München in Neuherberg. Der Detektor an der UFS verfügt neben einer passiven Bleiabschirmung zusätzlich über eine aktive Abschirmung (Plastikszintillatoren), die die Hintergrundstrahlung, hauptsächlich verursacht durch erhöhte kosmische Strahlung, um den Faktor 2 minimiert.



Abb. 1: Gamma-Spektrometer der UFS Schneefernerhaus. Reinst-Germanium-Detektor BE5030 mit passiver (low-level Blei) und aktiver Abschirmung (Veto Shield, Plastikszintillator) gegen Umgebungsstrahlung.

Erste Messungen bestätigen, dass ⁷Be und ²¹⁰Pb in relativ geringen Konzentrationen im Schnee vorliegen. Die Aktivitäten der Proben aus dem₁ ersten Quartal 2012 liegen bei 0,4-1,1 Bq 1 (1-6 Bq₂m₂)₀ Be bzw. bei 0,03-1 Bq 1 (0,2-0,7 Bq m) Pb. Versuche haben ge-

zeigt, dass mindestens 5 l Schnee-Wasser-Äquivalent an Probenmaterial notwendig sind, um bei einer Messzeit von 7 d, ⁷Be und ²¹⁰Pb gammaspektrometrisch nachzuweisen, jedoch erst ab einer Menge von 20 l die Unsicherheiten der Aktivitäten unter 10 % liegen. ¹³⁷Cs-und ²²Na-Aktivitäten liegen bei diesen Probenvolumina auch nach doppelt so langen Messzeiten noch unterhalb der Nachweisgrenzen.

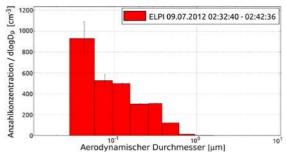


Abb. 2: Gemessene Partikelgrößenverteilung während eines leichten Regenereignisses auf der Zugspitze am 09.07.2012. Die höhere Messunsicherheit in den kleinen Größenklassen ist auf erhöhtes Rauschen der Elektronik in den unteren Kanälen zurückzuführen.

Zur Bestimmung der atmosphärischen Konzentrationen von Aerosolen und der daran gebundenen Nuklide werden aktuell ein Aerosolsammler (ASS-1000, Fischer PTI, 1.000 m³ h⁻¹ Luftvolumenstrom) und ein Niederdruck-Kaskadenimpaktor (ELPI+, DEKATI) an der UFS installiert. Auf Filtern deponierte Radionuklide in den Gesamtaerosolproben können gammaspektrometrisch bestimmt werden. Die radioanalytische Bestimmung der in 14 Impaktorstufen von 6 nm bis 10 µm größenfraktioniert gesammelten Aerosolpartikel (Abb. 2) ist aufgrund der geringen Konzentrationen eine besondere Herausforderung und muss noch getestet werden. Sollte es gelingen, sind eine quantitative Bestimmung der Radionuklide in Abhängigkeit der Größe der Partikel, an die sie gebunden sind, sowie evtl. Aussagen zur Speziation möglich.

Mit Hilfe dieser Messmethoden unter Hinzuziehung meteorologischer und Schneeparameter (eigene Erhebungen und Kooperationen Deutscher Wetterdienst, Uni Köln und Bayerische Lawinenwarnzentrale) soll eine Parametrisierung der radioanalytischen Ergebnisse in Abhängigkeit einzelner Niederschlagsereignisse erfolgen. Unter Berücksichtigung steigender Schneefallraten und Temperaturen im Zuge des Klimawandels werden Winterszenarien generiert, für die die Deposition der Radionukli-

de mit und auf Schnee sowie der Verbleib in der Schneedecke abgeschätzt werden soll. Besondere Aufmerksamkeit liegt auf der Charakterisierung der Schneefallereignisse, da Dauer und Schneeart großen Einfluss auf die Radionuklidauswaschung aus der Atmosphäre haben. Für die Bestimmung der Schneeart bzw. Kristallform wird ein 2D-Video-Distrometer (Joanneum Research) mit zwei Linienkameras verwendet, das die Hydrometeore scannt. Abb. 3 zeigt erste Ergebnisse eines Vergleichs zweier Niederschlagsereignisse. Mit Hilfe der Bilder werden die Schneefallereignisse in Klassen (Flocken, Dendriten, Prismen, Nadeln) eingeteilt und bei gleichzeitiger Beprobung des Schnees und Messung der atmosphärischen Aerosolkonzentration die Auswascheffektivität für Radionuklide im Verlauf des Niederschlagsereignisses erfasst.

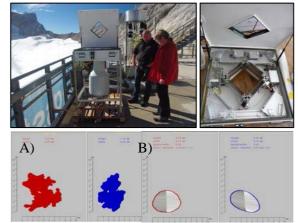


Abb. 3: 2D-Video-Distrometer kombiniert mit einem Niederschlagsmesser (Pluvio, Kooperation Uni Köln /Uni Bonn) zur Charakterisierung der Niederschlagsereignisse. A) Kamerabilder (2 Kameras um 90° versetzt) eines Schneefallereignisses am 08.04.2012 in München-Neuherberg. B) Gewitterschauer am 11.06.2012 in München-Neuherberg.

Die Studien werden durch Laborexperimente mit künstlichen Radionuklidtracern in Schneesäulen ergänzt, um Migrationsraten und räumliche wie zeitliche Freisetzung der Radioaktivität während der Schneeschmelze abzuschätzen. Die Ergebnisse können in schneehydrologische Modellierungen implementiert werden und sollen Vorhersagen für umfangreichere Kontamination und Strategien zur Dekontamination und Minderung nach potentiellen Radionuklid-Fallout-Ereignissen ermöglichen.

EIN NEUER ANSATZ ZUR ABSCHÄTZUNG DES SCHADENSPOTENTIALS VON Vb -WETTERLAGEN: CESAR

<u>C</u>harakterisierung des differentiellen <u>E</u>nergiegehaltes von Vb-Zyklonen über die Quantifizierung abgestrahlter <u>S</u>chwere- und Infraschallwellen in der <u>A</u>tmosphä<u>r</u>e

SABINE WÜST, RICARDA KRAMER, CHRISTOPH PILGER UND MICHAEL BITTNER
DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN, SABINE. WUEST@DLR.DE

Stürme gehören zu den weltweit schwerwiegendsten Naturgefahren. Für den Alpenraum und die nordöstlich angrenzenden Gebiete zählt besonders die so genannte "Vb-Lage" (fünf b) zu den Sturmsystemen mit erheblichem Schadenspotential (siehe Abb. 1). Solche Wetterlagen sind häufig verbunden mit Starkniederschlägen.



Abb. 1: Typische Zugbahnen der Zyklonen nach van Bebber (Grafik: ZDF)

Während kurzfristige Vorhersagen und damit verbundene Warnungen mit einer Vorlaufzeit von etwa einem Tag möglich sind, erweisen sich mittelfristige Prognosen der Zugbahn von Vb-Tiefdruckgebieten als unsicher. Um eine Verbesserung der Prognose der Sturmzugbahn zu ermöglichen, sind insbesondere Informationen über die Änderung des Energieinhaltes eines solchen Tiefdruckgebietes erforderlich.

Im Projekt CESAR soll hierfür der physikalische Mechanismus ausgenützt werden, dass Zyklone aufgrund von Konvektionsströmungen und aufgrund ihrer Rotation sowohl Schwere- als auch Infraschallwellen in die Atmosphäre abstrahlen. Die Änderung des

Energieinhaltes dieser abgestrahlten atmosphärischen Wellenfelder ist ein direktes Maß für die Änderung des Energieinhaltes des Zyklons. Es wird untersucht, ob dieser so genannte "differentielle Energieinhalt" eines Zyklons durch die Beobachtung atmosphärischer Wellen im Bereich der Stratosphäre bis zur Mesopause erfasst werden kann.

Schwere- und Infraschallwellen werden von einer Vielzahl atmosphärischer Prozesse (z.B. Überströmung von Gebirgen, Gewittern, Vulkanaktivität etc.) angeregt. Anhand von historischen Temperaturdaten (basierend auf Radiosonden, IR-Spektrometern etc.) wird untersucht, inwiefern sich Wellenparameter abhängig von der Wellenquelle unterscheiden. Ein Fokus des Vorhabens liegt daher auf der Entwicklung eines Prototyps für ein entsprechendes Mustererkennungsverfahren. Dieses soll es erlauben, von der vermessenen Strukturfunktion der jeweiligen atmosphärischen Wellen auf die jeweilige Quelle zurück zu schließen.

Neben historischen Daten werden auch Daten einer Feldmesskampagne verwendet. Diese wurde von September 2011 bis Januar 2012 im Mittelmeerraum zur dedizierten Vermessung starker Tiefdruckgebiete durchgeführt. Die Messkampagne fand an zwei Standorten statt. Eine zeitweilige Installation eines Infrarotspektrometers namens GRIPS (GRoundbased Infrared P-branch Spectrometer) sowie der Start von 143 Radiosonden in insgesamt sieben ausgewählten Messzeiträumen wurden dabei auf Mallorca mit großer Unterstützung von AEMET (Agència Estatal de Meteorologia) durchgeführt. Der zweite Standort eines GRIPS-Gerätes wurde in Kooperation mit INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) auf Sizilien dauerhaft eingerichtet.

Während der Messkampagne, die zusätzlich durch satellitenbasierte Messungen ergänzt wurde, bildete sich Anfang November 2011 u.a. ein Tiefdruckgebiet über Mallorca, das sich im Laufe seines Lebenszyklus zu einem sogenannten "Medicane" – einem mediterranen tropischen Sturm entwickelte (siehe Abb. 2). Diese Sturmsysteme bilden wie ihre tropischen Verwandten ein wolkenfreies Auge im Zentrum aus, haben spiralförmige Wolkenbänder und können Windgeschwindigkeiten von mehr als 120 km/h erreichen.

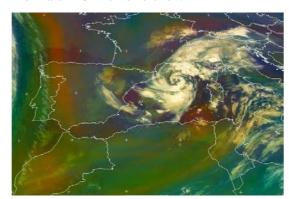


Abb. 2: Falschfarbenbild der Luftmassen am 08.11.2011 00 UTC, Quelle: EUMETSAT

Das Zentrum des Tiefdruckgebietes befand sich einige Tage direkt über der Mittelmeerinsel, wodurch einige Messungen in Zusammenhang damit möglich waren. Mithilfe der Radiosondenaufstiege, die im Zeitraum des Medicane bis zu achtmal am Tag, also alle drei Stunden, stattfanden, konnten vertikal hochaufgelöste Temperatur-, Druck- und Winddaten gewonnen werden. Diese Messwerte wurden unter anderem dazu verwendet, den Energiebeitrag sowie den Impulsfluss abzuschätzen, den ein solcher Sturm an die Atmosphäre durch das Abstrahlen von Infraschall- und Schwerewellen abgibt.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Vergleich der vertikalen Flüsse des zonalen und meridionalen Impulses zwischen einer stabilen wolkenfreien Wetterlage und einer Messung während des betrachteten Zyklons. Der mediterrane Sturm führte dabei zu einer Steigerung der Impulsflüsse um 3.9 m²/s². Das entspricht etwa einer Verfünffachung der Werte, die während der stabilen Wetterlage gemessen wurden.

Mit zusätzlichen Messungen und spektralen Analysen nächtlicher GRIPS-Temperaturen in 87km Höhe war es ferner möglich, die Energie aus Infraschallsignaturen am Standort Palma

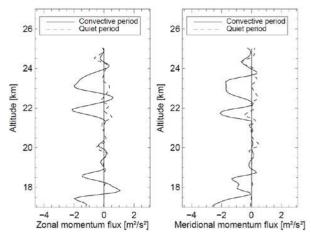


Abb. 3: Vertikaler Fluss vom zonalen (links) und meridionalen (rechts) Impuls für den 31.10.2011, 23 UTC (gestrichelt) und den 05.11.2011, 11 UTC (durchgezogen)

de Mallorca abzuleiten und mittels eines im Projekt entwickelten Mustererkennungsverfahrens meteorologischer Aktivität zuzuordnen. Abbildung 4 zeigt die derartig quantifizierte mittlere Energie von Infraschallsignaturen im Gesichtsfeld von GRIPS pro Nacht und den aus Radiosondenmessungen bestimmten Bodenluftdruck im Vergleich. Während des Medicane erhöht sich die Schallenergie etwa um das Vierfache.

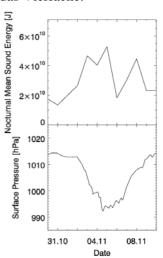


Abb. 4: Schallenergie aus GRIPS Messungen der Mesopausentemperatur (oben) Bodenluftdruck und Radiosondenaus messungen (unten) **Zeitraum** im 30.10.2011 bis 10.11. 2011. Der Durchzug des Medicane ist erkennbar an tiefen Bodenluftdruckwerten unter 1000hPa.

Die erfolgreiche Ableitung der von Sturmsystemen mithilfe von Wellen in die Atmosphäre abgegebenen Energie im Rahmen dieses Projektes stellt einen grundlegenden Schritt für weitere Arbeiten in diesem Bereich dar.



UFS-DAZ: DATENANALYSEZENTRUM FÜR DIE UMWELTFORSCHUNGSSTATION SCHNEEFERNERHAUS (UFS) DURCH DAS ICSU/WMO WELTDATENZENTRUM FÜR FERNERKUNDUNG DER ATMOSPHÄRE (WDC-SAT)

SÉVERINE BERNONVILLE, OLEG GOUSSEV UND MICHAEL BITTNER

DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN

Das UFS-Datenanalysezentrum (UFS-DAZ), das im Rahmen eines FuE-Projektes vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luftund Raumfahrt (DLR) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit aufgebaut wird, soll die wissenschaftliche Arbeit und Forschung an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) unterstützen.

Als informationstechnische Grundlage des UFS-DAZ dient das Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre (WDC-RSAT; http://wdc.dlr.de). Das DLR-DFD ist seit dem Jahr 2003 der Sitz des WDC-RSAT. Diese Funktion wird seitdem mit dem Mandat des International Council for Science (ICSU) und seit 2009 auch mit dem Mandat der Weltmeteorologischen Organisation (WMO) ausgeübt. Insbesondere im Rahmen des Global Atmosphere Watch (GAW)-Programms der WMO sollen verschiedene, GAW-relevante Datensätze sowohl miteinander, als auch mit Modellen verlinkt werden. In diesem Zusammenhang wird das Portfolio des WDC-RSAT künftig auch durch nicht-satellitenbasierte Daten erweitert, welche im Kontext der Validation relevant sind.

Das **UFS-Datenanalysezentrum** bietet den Wissenschaftlern der UFS eine Langzeitarchivierung ihrer Messdaten, einen schnellen, interaktiven und sicheren Zugang zu ihren Messungen sowie durch Anbindung der Archive des WDC-RSAT Informationen in naher Echtzeit über den aktuellen globalen, kontinentalen und regionalen Zustand der Atmosphäre.

Funktionalitäten des Datenanalysezentrums

Das UFS-Datenanalysezentrum bietet zuerst den Wissenschaftlern der UFS den schnellen, komfortablen und sicheren Zugang zu den dort gemessenen Daten.

Darüber hinaus ermöglicht das UFS-DAZ den Wissenschaftlern durch das WDC-RSAT Webportal auch den Zugriff auf:

- Satellitenbasierte Daten,
- Andere Stationsdaten (z.B. aus bodengebundenen Messsystemen wie NDMC, ALOMAR usw.),
- Value-added Daten und Informationsprodukte (z.B. atmosphärische Dynamik, die globale Ozonverteilung oder Luftqualitätsprognosen),
- Validationstools.

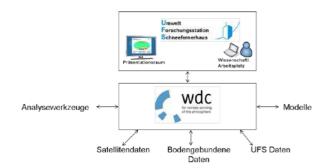


Abb. 1: UFS-DAZ Konzept

Das UFS-Datenanalysezentrum ist online verfügbar durch die UFS Webseite:

- http://www.schneefernerhaus.de
- Einloggen "Interner Bereich" (mit Login/Passwort)
- Menü: Forschung
- Untermenü: Daten Analyse Zentrum

Durch die UFS-DAZ Webseite hat der Benutzer Zugang zu:

- Anmeldungsformular (Geräteregistrierung ins DAZ)
- UFS Data Viewer (Datenvisualisierung und -download)
- UFS Daten (Quicklooks)
- Aktuellen Satellitendaten (WDC-RSAT)
- Validationstool (SatVal-A)

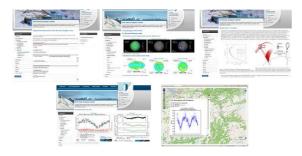


Abb. 2: UFS-DAZ Webseite (Überblick)

Funktionales Präsentationsumfeld in der UFS

Als zusätzlicher Service werden den Wissenschaftlern in der UFS in einem geeigneten Präsentationsumfeld unterstützende Informationen wie z.B. über den aktuellen globalen, kontinentalen und regionalen Zustand der Atmosphäre oder über die aktuelle Position relevanter Satelliten angeboten. Diese Informationen werden dabei in naher Echtzeit und entsprechend anschaulich in Form beispielsweise von Grafiken oder Computeranimationen aufbereitet zur Verfügung stehen.





Abb. 3: UFS-DAZ Präsentationsumfeld auf der UFS (5. Stock)

UFS-DAZ Datenmanagement

Das UFS-DAZ Datenmanagement erfolgt durch die nachfolgenden Schritte (siehe auch Abb. 4):

- 1- Anmeldung: durch das Webformular "Instrument Registration" werden ISO Metadateien (ISO 19115/19139) erzeugt und in die WDC Metadatenbank gespeichert. Die Metadateien beschreiben das angemeldete Instrument. Jedes UFS-Instrument muss durch das Webformular ins DAZ registriert sein.
- 2- Katalog: Der WDC-RSAT-Katalog wird erweitert, um die Stationsdaten aufzunehmen.
- 3- Datenübertragung: Die UFS-Daten werden mittels FTP ins DAZ übertragen (lokale Datenspeicherung).
- 4- Datenarchivierung: Die Daten werden dann ins WDC-RSAT synchronisiert, verarbeitet und gespeichert.
- 5- Datenverfügbarkeit: Die UFS-Daten werden zum Schluss dem UFS-DAZ-Nutzer durch das UFS-DAZ Data Viewer online verfügbar sein (interaktiver Zugang durch OGC Webservices in Verbindung mit Satellitendaten).

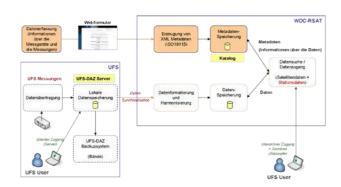


Abb. 4: UFS-DAZ - Datenmanagement

ENTWICKLUNG DER SOFTWARE RRACTISE ZUR BEOBACHTUNG DER RÄUMLICHEN SCHNEEDECKENVERTEILUNG

STEFAN HÄRER, MATTHIAS BERNHARDT UND KARSTEN SCHULZ

DEPARTMENT FÜR GEOGRAPHIE, LMU MÜNCHEN, S. HAERER @ IGGF. GEO. UNI-MUENCHEN. DE

Im Mai 2011 wurde vom Department für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) eine Canon EOS 550D Spiegelreflexkamera mit Canon EF 17-40 mm f/4L USM Superweitwinkel-Zoomobjektiv an der Umweltforschungsstation "Schneefernerhaus" (UFS) installiert, um die Schneedeckenentwicklung am Nordosthang des Schneefernerkopfs zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden stündlich Aufnahmen des Untersuchungsgebietes gemacht, die mit Hilfe der neu entwickelten Software "Photo Rectification And ClassificaTIon SoftwarE" (PRACTISE) direkt in geographischen Informationssystemen genutzt und mit anderen Flächendaten überlagert werden können.

Im Rahmen der Arbeiten zur hydrologischen Modellierung am Zugspitzplatt gehört die detaillierte Beobachtung der räumlichen Schneebedeckung via Digitalkamera zu den genutzten Validierungsmethoden. Mit Hilfe dieses Verfahrens können vergleichsweise preiswert Validierungsdatensätze erzeugt werden, die eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung aufweisen und ergänzend zu Satellitendaten verwendet werden können. Die bisher für die Projektion von Fotografien zur Verfügung stehenden Programme (Aschenwald et al., 2001; Corripio, 2004) zeigen jedoch im Hinblick auf die Prozessierung und die Analyse langer Zeitreihen Defizite.

PRACTISE

Die neu entwickelte Matlab-Routine PRAC-TISE ermöglicht ohne zusätzliche Programme (z.B. Geoinformationssysteme) eine große Anzahl von Bildern automatisiert auszuwerten. Die Umsetzung basiert auf einem Ansatz aus der Computeranimation (Watt und Watt, 1992) und entwickelt dessen Implementierung in Corripio (2004) weiter. Die Idee dabei ist, dass das dreidimensionale Geländemodell in ein

virtuelles Bild projiziert wird, welches der Fotoaufnahme der Spiegelreflexkamera überlagert (Abb. 1) und anschließend klassifiziert werden kann. Durch die Rücktransformation der klassifizierten DGM-Pixel in das Weltkoordinatensystem, kann somit eine räumlich differenzierte Karte der Schneebedeckung für das aufgenommene Bild erstellt werden.

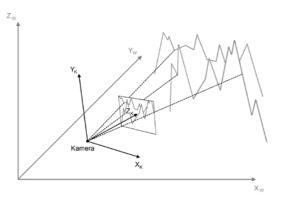


Abb. 1: Zusammenhang zwischen realem DGM (Weltkoordinatensystem W, grau) und dem aufgenommenen Foto (Kamerakoordinatensystem K, schwarz) in Abhängigkeit von der Kameraposition und -orientierung.

PRACTISE ist aus verschiedenen Modulen aufgebaut, die abgesehen vom Projektionsalgorithmus jederzeit aktiviert bzw. deaktiviert werden können:

- Optimierung der Lage des Kamerastandorts und der Blickrichtung der Kamera (Tolson und Shoemaker, 2007),
- Sichtbarkeitsanalyse des DGMs in Abhängigkeit von der Kameraposition/orientierung (verändert nach Wang et al., 2000),
- Projektion der sichtbaren DGM-Pixel (verändert nach Watt und Watt, 1992 und Corripio, 2004),
- Automatische (Salvatori et al., 2011) oder manuelle Klassifikation der projizierten DGM-Pixel und
- Stapelverarbeitung mehrerer Fotos.

Die Eingangsdaten für PRACTISE sind dabei:

- Foto(s),
- DGM,
- Lage des Kamerastandorts und Blickrichtung der Kamera,
- Kameraeigenschaften (z.B. die Brennweite der Linse) und
- Georeferenzierungspunkte.

Letztere sind nur im Falle eines aktiven Optimierungsmoduls notwendig, dafür entfällt jedoch die Notwendigkeit für exakte Angaben zum Kamerastandort und der Blickrichtung der Kamera.

Schneebedeckung am Schneefernerkopf

Die Funktionsweise von PRACTISE soll anhand eines Beispielfotos vom 11. Mai 2011 um 08:15 Uhr dargestellt werden. Alle Module, ausgenommen die Stapelverarbeitung, wurden genutzt und für die Klassifikation der automatische Algorithmus ausgewählt.

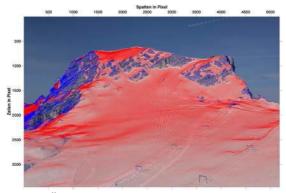


Abb. 2: Überlagerung des virtuellen und klassifizierten DGM-Bildes und dem realen Foto vom 11.05.2011 um 08:15 Uhr (Schnee in rot, kein Schnee in blau).

Die Prozessierung in PRACTISE beginnt mit der Optimierung des ungefähren Standorts, sowie der geschätzten Blickrichtung der Kamera unter Zuhilfenahme der Georeferenzierungspunkten. Anschließend wird auf Basis der der optimierten Lagekoordinaten die Sichtbarkeitsanalyse durchgeführt. Die als sichtbar klassifizierten Pixel werden daraufhin aus dem Weltkoordinatensystem in das Bildkoordinatensystem überführt und mit Hilfe des automatische Klassifikationsalgorithmus in "Schnee"und "kein Schnee"-Pixel unterteilt. Die Überlagerung des virtuellen und bereits klassifizierten Bildes mit dem realen Foto (Abb. 2) veranschaulicht eine sehr hohe Übereinstimmung von Klassifikation und Schneeflächen. Abbildung 3 zeigt die erzeugte Karte der Schneebedeckung.

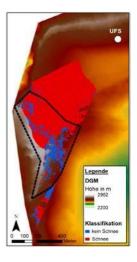


Abb. 3: Karte der räumlichen Schneebedeckung für das Foto vom 11.05.2011 um 08:15 Uhr (Schnee in rot, kein Schnee in blau). Vom Untersuchungsgebiet (schwarz gestrichelte Umrandung) ausgenommen ist das Skigebiet auf dem Gletscher "Nördlicher Schneeferner".

Zusammenfassung

Die Software PRACTISE ermöglicht in Kombination mit den stündlichen Aufnahmen der Spiegelreflexkamera die schnelle und unkomplizierte flächenmäßige Quantifizierung der Schneebedeckung und deren zeitliche Änderung am Nordosthang des Schneefernerkopfs. Die räumliche Genauigkeit der Klassifikation wird dabei nur von der Genauigkeit des DGMs begrenzt und liegt bei 1 m. Eine Validierung der Schneeflächen in der schneehydrologischen Modellierung ist somit in hoher Auflösung möglich.

Literatur

Aschenwald, J., Leichter, K., Tasser, E. und Tappeiner, U.: Spatio-temporal landscape analysis in mountainous terrain by means of small format photography: A methodological approach, Ieee T Geosci Remote, 39, 885-893, 10.1109/36.917917, 2001.

Corripio, J. G.: Snow surface albedo estimation using terrestrial photography, Int J Remote Sens, 25, 5705-5729, 10.1080/01431160410001709002, 2004.

Salvatori, R., Plini, P., Giusto, M., Valt, M., Salzano, R., Montagnoli, M., Cagnati, A., Crepaz, G. und Sigismondi, D.: Snow cover monitoring with images from digital camera systems, Ital J Remote Sens, 43, 137-145, 2011.

Tolson, B. A. und Shoemaker, C. A.: Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration, Water Resour. Res., 43, W01413, 10.1029/2005wr004723, 2007.

Wang, J., Robinson, G. J. und White, K.: Generating Viewsheds without Using Sightlines, Photogramm Eng Rem S, 66, 87-90, 2000.

Watt, A. und Watt, M.: Advanced Animation and Rendering Techniques: Theory and Practice, ACM Press, New York, 1992.

AZONALE BODEN- UND VEGETATIONSFORMATIONEN IN DER SUBALPINEN UND ALPINEN STUFE DES ZUGSPITZPLATTS

SVEN GRASHEY-JANSEN UND CLARA SEIPP

Universität Augsburg, Institut Für Geographie, Sven. Jansen @Geo. Uni-Augsburg. De

Die Pflanzenwelt im Bereich der subalpinen und alpinen Höhenstufe (1800m bis 2300m über NN) des Zugspitzplatts zeigt enge Konvergenzen mit den wechselnden Eigenschaften der insular verbreiteten Hochgebirgsböden.

Die raumzeitliche Dynamik der Wald- und Baumgrenzen ist damit ferner auch an pedosphärische Standortunterschiede geknüpft. Bodenkundliche Untersuchungen liegen für diese Region bisher nur unsystematisch und vereinzelt vor. Im Rahmen des Kartiervorhabens PLATTSOIL soll eine geschlossene bodenkundliche Kartierung im Höhenstreifen zwischen 1800m und 2300m über NN des Zugspitzplatts erreicht werden. Erste Voruntersuchungen für dieses Vorhaben starteten im August 2012.

Ein Großteil der (Roh-)Bodenformationen im Untersuchungsgebiet wird durch das autochthone Ausgangsgestein bestimmt. Der ladinische Wettersteinkalk (alpine Trias) gilt aufgrund der vorwiegend lagunären Schichtserien in seiner Stratigraphie als ein sehr reines Kalkgestein (CaCO₃+MgCO₃ > 95%). Infolgedessen weist das Untersuchungsgebiet ein ausgeprägtes Karstrelief auf, das lokal von glazialen und rezenten Schuttakkumulationen bedeckt wird. Die typische Pedogenese läuft (v.a. im initialen Stadium) vorwiegend im basischneutralen Bereich ab. Die Vegetation hat sich weitflächig an diese chemischen Bodenbedingungen angepasst (Carex firma, Saxifraga caesia, Androsace chameajasme).

Aufgrund der Höhenlage dominieren physikalische gegenüber chemischen Verwitterungsprozessen, was zur Ausbildung verschiedener Syroseme und Rendzinen geführt hat (Eutric Leptosols/Eutric Regosols). Die im Mittel ganzjährig kühl-feuchten Bedingungen führen zu einer retardierten Zersetzung und Akkumulation der toten Biomasse. Höhenzonal typische Felshumusböden (Folic Histosols) prägen

daher einen Großteil des Untersuchungsgebietes

In mehreren Messkampagnen konnten seit August 2012 bereits vielversprechende Feldund Laborergebnisse gesammelt werden, welche die Heterogenität und das kleinräumige Zusammenwirken zwischen der Bio- und Pedosphäre unterstreichen.

Azonale Verbraunungsprozesse

Der spätglaziale und rezente äolische Eintrag von Silikatstäuben der Schlufffraktion aus dem zentralalpinen Alpenraum (CREDNER et al. 1998, KÜFMANN 2002, 2003, 2006 und 2008) hat partiell eine Modifizierung der basischen Bodenentwicklung bewirkt. Entsprechende Glimmervorkommen (vorwiegend in der Schlufffraktion aus dem metamorphen Ötztal-Kristallin) konnten, als Nachweis des rezent aktiven Eintrags, in allen bisher untersuchten Oberböden festgestellt werden (s. Abb.1).

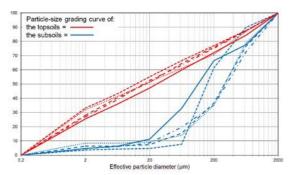


Abb.1: Kornsummenkurven einiger der untersuchten Oberböden (rot) und Unterböden (blau).

In den Karsttaschen der Kluftkarrenfelder zeigten sich Glimmeranreicherungen im gesamten Solum bis hin zum anstehenden Ausgangsgestein. Dies weist auf lang andauernde Eintragsund Akkumulationsprozesse der allochthonen Silikatglimmer hin. Infolge der fehlenden Säurepufferung konnten hier tiefgreifende, kalksteinuntypische Verbraunungsprozesse nachgewiesen und kartiert werden. Eine entspre-

chend azonal-acidophile Zusammensetzung der Vegetation (*Nardus stricta*, *Vaccinium myrtillus*, *Huperzia selago*) hat sich an diesen Standorten eingestellt (s. Abb.2).



Abb.2: Verbraunungsprozesse mit Cambisol-Entwicklung (a) in den Karsttaschen der Kluftkarrenfelder (b & d) auf dem Zugspitzplatt. Dichtwurzelnde Nardus Stricta im Braunerde-Aushub erkennbar (c).

Zoogener Beweidungsdruck

Die extensive Schafweidewirtschaft beeinflusst die vorhandenen Böden durch Fraß, Tritt und Dung. Eine signifikante Bodenschadverdichtung konnte bisher nur partiell an einigen Hanglagen nachgewiesen werden. Es ist davon auszugehen, dass sich im Bereich stark frequentierter Weide- und Lägerstellen für den Bodenluft- und Bodenwasserhaushalt ungünstige Verdichtungserscheinungen einstellen. Diese können in Einzelfällen auch Prozesse der Bodenabtragung bis hin zur Bodenerosion initiieren.

Desweiteren ist die Schafbeweidung mit einer exkrementalen Stoffzufuhr verknüpft. Erste Hinweise zeigen, dass nitrophile Arten (bspw. *Urtica dioica*) ihre maximalen Höhenvorkommen um bis zu 400 Meter überschreiten können.

Zielvorhaben

Im Rahmen des Kartiervorhabens PLATTSOIL soll eine flächendeckende Bodenkartierung des Zugspitzplatts im Höhenbereich zwischen 1800m und 2300m über NN erfolgen. Detaillierte Bodenprofilanalysen an ausgewählten Standorten sollen durch Transektbohrungen ergänzt werden und zur räumlichen Interpolation der Kartierung beitragen. Die Quantifizierung bodenkundlich relevanter Parameter (u.a. mineralische Korngrößenzusammensetzungen, Gehalte an organischer Substanz und CaCO₃, pH-Werte, Porenvolu-

mina und Feldkapazitäten) soll laboranalytisch erfolgen.

Der Hauptfokus des Kartiervorhabens richtet sich dabei auf die folgenden Punkte:

- Detaillierte Erfassung der räumlichen Bodentypenverteilung
- Räumliche Differenzierung der Solummächtigkeiten
- Laborbasierte Quantifizierung bodenphysikalischer Kennwerte
- Konvergenzen der Bodenverbreitung mit der Vegetation
- Quantifizierung bodenphysikalischer und bodenchemischer Einflüsse der Schafbeweidung

Literatur

Credner, B., Hüttl, C., & Rögner, K. (1998): The formation and distribution of soils and vegetation at the Zugspitzplatt (Bavaria, Germany) related to climate, aspect and geomorphology. Ecologie, 29 (1-2): 63-65.

Küfmann, C. (2002): Erste Ergebnisse zur qualitativen Untersuchung und Quantifizierung rezenter Flugstäube in den Nördlichen Kalkalpen (Wettersteingebirge). Mitteilungen der geographischen Gesellschaft München, 86: 59-84.

Küfmann, C. (2003): Soil types and eolian dust in highmountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt,Wetterstein Mountains, Germany). Catena, 53: 211-227.

Küfmann, C. (2006): Quantifizierung und klimatische Steuerung von rezenten Flugstaubeinträgen auf Schneeoberflächen in den Nördlichen Kalkalpen (Wetterstein-, Karwendelgebirge, Berchtesgadener Alpen, Deutschland). Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., 50 (2): 245268

Küfmann, C. (2008): Are Cambisols in Alpine Karst Autochthonous or Eolian in Origin? Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 40 (3): 506-518

IDENTIFIKATION UND LANGZEITMESSUNG VON SAHARASTAUB ÜBER SÜDDEUTSCHLAND

HARALD FLENTJE

DWD, HOHENPEISSENBERG, HARALD. FLENTJE@DWD. DE

Der Deutsche Wetterdienst DWD führt seit 1995 Partikelmessungen am Hohenpeißenberg und seit 1999 am Schneefernerhaus durch. Anhand ihrer Zusammensetzung, Größenverteilung und optischen Eigenschaften lassen sich Aerosole unterschiedlicher Herkunft, u.a. Saharastaub, identifizieren und ein Saharastaub-Inventar aufstellen. Dieses dient als Grundlage für weiterführende Studien.

Ein großer Teil (ca. 75%) des atmosphärischen Aerosols besteht aus Mineralstaub, davon mehr als die Hälfte aus der Sahara. Daher hat Saharastaub (SD) erheblichen Einfluss auf Wetter und Klima sowie die Gesundheit, trägt zur Feinstaubbelastung bei und beeinflusst nach Deposition am Boden dessen Säurehaushalt und Albedo. Da die zwar sehr erfolgreichen Messkampagnen der letzten Jahre dennoch viele Fragen offen gelassen haben, besteht für viele Studien Bedarf an einem Verzeichnis von Saharastaub-Ereignissen.

Methode

Da Saharastaub in der freien Troposphäre (FT) i.A. relativ unverändert, in der Mischungsschicht (ML) aber fast immer gemischt auftritt, müssen in den Luftschichten unterschiedliche Verfahren zur Identifikation angewandt und eine Grenze ermittelt werden, unterhalb der seine Signatur zu undeutlich und gleichzeitig seine Relevanz zu gering wird. In unserem Datensatz lässt sich SD am besten anhand erhöhter Ca^{2+} -, geringer H^+ -Konzentration (Basizität), einem erhöhten K⁺/Na⁺-Verhältnis, der Partikelgröße (0.5-10 µm) und seiner optischen Eigenschaften (spektrale Einfachstreualbedo ≈0.88-0.93) identifizieren. Eine gewichtete Bewertung dieser Größen ergibt einen Index als Maß für die Anwesenheit, die Konzentration und den Mischungszustand von Saharastaub, dargestellt in Abb. 1. Als 'signifikant' bezeichnen wir ein Ereignis, wenn der SD-Index einen gewissen Schwellwert übersteigt.

Ergebnisse

Man erkennt in Abb.1 Maxima im Frühjahr und im Herbst, das Fehlen von Ereignissen im Winter und einige besonders auffällige Ereignisse im Sommer 2003, im Mai und Oktober 2008 sowie im August 2011.

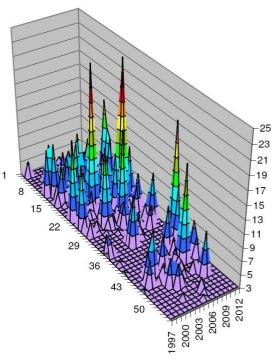


Abb.1: Der Saharastaub-Index am Hohenpeißenberg von 1997-2011 zeigt Maxima im Frühjahr und Herbst sowie einige herausragende Ereignisse.

Am Schneefernerhaus (UFS) steht nur eine Zeitreihe der Partikel-Größenverteilung (GRIMM-OPC, 0.3 – 30 μm) zum, allerdings nicht sehr spezifischen, Nachweis von SD zur Verfügung. Insbesondere der Akkumulationsmode und 'grobe' Partikel (0.5 - ~10 μm) haben während SD-Ereignissen, höhere Konzentrationen. In der FT können wir SD zwar nicht eindeutig identifizieren, jedoch lassen sich zumindest dichtere (und damit relevante) Aerosolschichten in Rückstreuprofilen, gemessen mit CHM15k Ceilometern (Frey et al., ACP 2010), zusammen mit Rückwärtstrajektorien und Aerosol-Modellanalysen (MACC) relativ

sicher von anderen Ferntransporten wie Waldbrandschichten, Vulkanasche und Industrieaerosol unterscheiden. In der ML, repräsentiert durch den Hohenpeißenberg (HPB) ist SD an ca. 10-30 Tagen pro Jahr nachweisbar, am teils in der ML teils in der FT gelegenen UFS an etwa 70 und in der FT an mindestens 120 Tagen pro Jahr (2011/2012), wobei die Beobachtung hier an vielen Tagen durch Nebel/Wolken verhindert wird. Die optische Dichte (Extinktion) bzw. die Massenkonzentration des antransportierten SD hängt vor allem vom Transportweg ab: Über das Mittelmeer direkt nach Mitteleuropa kommender SD führt meist zu einer deutlichen Trübung mit Sichtweiten um 10-20

km (≜ Extinktion 0.4-0.2 km⁻¹) und erhöhten Massenkonzentrationen von 20 - >100 μg/m³. Auf langem Umweg über den Atlantik (z.T. via N-Atlantik-Island) antransportierter SD ist dagegen oft sogar in der FT schon so verdünnt oder mit anderen Partikeln gemischt, dass seine charakteristischen Eigenschaften nicht mehr erkennbar sind (siehe dazu Publikationen von EARLINET-Messungen). Nach dem Einmischen in die ML ist dann der zur überwiegenden Mehrheit der Zeit anwesende geringe SD-Beitrag i.A. nicht mehr nachweisbar.

doch nicht erkennbar (Abb. 2). In der Abb. ist auch die Zeitreihe dargestellt, die sich aus der Auswertung von MACC-Modellvorhersagen der optischen Dicke der Staub-Fraktion ergibt. Größere Abweichungen der Staub AOD vom Hintergrundwert werden hier als SD-Ereignis gezählt.

Basierend auf dem SD-Verzeichnis liefert der Vergleich der mittleren jährlichen Partikel-Massenkonzentration mit und ohne die SD-Tage einen jährlichen Beitrag von SD zur PM_{10} -Belastung von etwa $0.5~\mu g/m^3$.

Ausblick

Weitergehende Untersuchungen mithilfe dieses SD-Verzeichnisses behandeln u.a. Gesundheitsaspekte, für die medizinische Beobachtungen mit der SD-Belastung korreliert werden, Zusammenhänge mit Großwetterlagen oder Trajektorien-Cluster-Analysen und den Flächeneintrag von SD über einem definierten Gebiet, z.B. die Gesamt-Deposition über Deutschland. Letzteres behandelt Fragen der Düngung sowie der Pufferwirkung des basischen Mineralstaubs. Um die Flächeninformation auszuwerten, kann das Ceilometernetz des Deutschen Wetterdienstes verwendet werden,

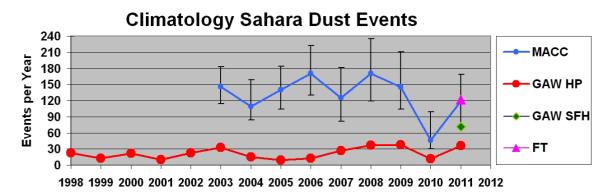


Abb.2: Häufigkeit von SD-Ereignissen am HPB, UFS und in der FT von 1997-2011 (rot). Darüber blau die Anzahl der Tage, an denen die staubbezogene Aerosol Optische Dicke um mehr als 45% vom langjährigen Hintergrund-Sinusfit abweicht.

Von den insgesamt 228 signifikanten in Bodennähe auftretenden SD-Ereignissen dauerten 78/96/42/19/9/4/2 über 1/bis/7 aufeinanderfolgende Tage an. Die konzentriertesten SD-Luftmassen werden bodennah in der ML antransportiert, in der FT treten die Schichten vor allem zwischen 4 und 6 km Höhe auf, können insbes. in Frühjahr aber auch bis über 10 km hinaufreichen. Die Häufigkeit signifikanter SD-Ereignisse ist zwar in den Jahren recht unterschiedlich, ein langjähriger Trend ist je-

das an fast 60 Stationen deutschlandweit Rückstreuprofile misst aus denen (mit Einschränkungen und einigen Annahmen) 2-D Schnitte des Extinktionskoeffizienten und der Massenkonzentration abgeschätzt werden können. Schließlich soll die Wichtungsmethode durch eine Positive Matrix Factorization PMF Analyse erweitert und bestätigt werden.

MESSUNGEN VON SCHWEFELDIOXID IM GAW-PROGRAMM DER WMO STATUS UND WEITERE ANFORDERUNGEN

STEFAN GILGE

DWD, MET. OBSERVATORIUM HOHENPEIßENBERG, STEFAN. GILGE@DWD.DE

Der Deutsche Wetterdienst betreibt im Rahmen seiner Global Atmosphere Watch Aktivitäten Messungen von atmosphärischem Schwefeldioxid (SO₂) sowohl am HPB als auch an der UFS. Trends und Beispiele dieser Messungen werden zusammen mit denen anderer GAW - Stationen vorgestellt. Es wird erleutert, wie sich die Messungen im GAW - Programm weiterentwickeln sollten

Wurde in den 80er und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts infolge des "Sauren Regens" der Bestimmung des atmosphärischen SO₂ -Gehalts noch eine große Bedeutung beigemessen, traten die Messungen in den letzten Jahren infolge wirkungsvoller Luftreinhaltemaßnahmen in dem daraus Europa und folgenden Immissionsrückgang zunehmend Hintergrund und wurden an vielen Messstellen sogar ganz eingestellt. Nichtsdestotrotz ist SO₂ ein wichtiges Spurengas, das an vielen atmosphärischen Reaktionen beteiligt ist.

Motivation für sensitive SO₂ -Messungen

- Verfolgung des Trends; können verstärkte Emissionen in Asien in Europa nachgewiesen werden?
- SO₂ ist Vorläufer für Schwefelsäure und damit wichtig für die Partikelneubildung in der Gasphase.
- ähnliche Verweildauer in der unteren Troposphäre wie Ozon, damit sehr hilfreich bei der Beurteilung der Ozonbelastung von Luftmassen
- Tracer für Luftmassenherkunft

Messtechniken

Es werden verschiedene Techniken vorgestellt, z.B.:

- •Nasschemische Techniken (EMEP, Chemolumineszenz, TCM)
- UV -Fluoreszenz
- Ausblick auf mögliche neue Methode

Zeitreihen und mögliche Trends:

Abb. 1 zeigt die Zeitreihen einiger GAW - Stationen. Das Konzentrationsniveau überstreicht mehrere Größenordnungen. Normiert (ohne Abb.) zeigen einige europäische Stationen aber einen erstaunlich ähnlichen Trend.

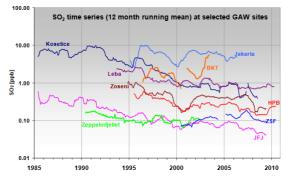


Abb. 1: SO₂ – Zeitreihen einiger GA-Stationen (logarithmische y-Achse!)

Datenverfügbarkeit im GAW -Messnetz Zwar liefern bzw. lieferten 48 verschiedene GAW - oder EMEP- Stationen (Stand Sommer 2012) SO 2 -Daten an das GAW -Welt daten - zentrum (WDCGG) ; sie kommen aber nahezu ausschließlich aus Europa. Ein weiterer Ausbau des Messnetzes, insbesondere in Nordam erika und Asien ist dringend erforderlich.

Beispiele für wissenscahftliche Nutzung der Daten

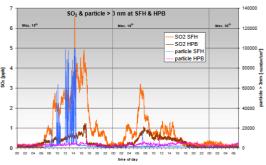


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der SO_2 – und Partikelkonzentration an der UFS und HPB vom 18.-20.03.2010

Vulkanasche Luftraum Die im über Deutschland im Frühighr 2010 ist unter anderem auch durch die vergleichenden SO 2 -Schneefernerhaus Messungen Hohenpeißenberg nachgewiesen und mehreren Publikationen zu diesem Thema genutzt worden. Abb2. zeigt die signifikan höheren SO 2 - Mischungsverhältnisse an der UFS gegenüber HPB, während es bei den "normalen" Jahresgängen gerade umgekehrt ist (Abb.3).

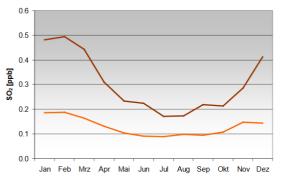


Abb. 3: Mittlerer jahreszeitlicher Verlauf (2000 – 2009) der SO_2 – Mischungsverkältnisse am HPB (braun) und an der UFS (orange).

Auch Signaturen von Ozon und SO2 im tageszeitlichen Verlauf sind sehr interessant, da sie Zeiten mit positiver, aber auch mit negativer Korrelation zeigen (Abb.4). Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die Luftmassenherkunft und alter ziehen. So zeigt ein korrelierender Anstieg anthropogen beeinflusste, aber photochemisch gealterte Luftmassen, eine Antikor-relation mit erhöhtem SO_2 weist auf anthropogen beeinflusste, junge Luftmassen hin während eine Antikorrelation mit erhöhtem Ozon durch Absinken aus der FT verursacht sein kann.

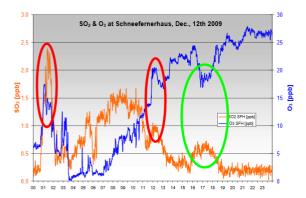


Abb. 4: Tageszeitlicher Verlauf von O_3 und SO_2 am 21.12.2009 am Schneefernerhaus

SO₂ ist auch als Vorläufer der Schwefelsäure (H₂SO₄) von großer Wichtigkeit. Diese ist wiederum eindeutig an der Partikelneubildung aus der Gasphase beteiligt, wie die Messungen sowohl an verschiedenen Stellen in Europa als auch von Smogkammerexperimenten belegen. Damit ist SO₂ indirekt an diesen für das Verständnis unseres Klimas wichtigen Reaktionen beteiligt.

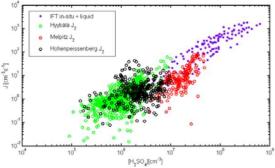


Abb.5.: Gemessene Bildungsrate von 2 -nm Partikeln (J) in verschiedenen atmosphärischen Regimen (Hyytiälä, Melpitz, Hohenpeißenberg) und in einem Laminar -Flow-Reactor (IfT -LFT) als Funktion der gemessenen Schwefelsäurekonzentration . (Kerminen et al., ACP 2010)

Ausblick Die SO₂ -Daten der GAW Messstationen werden im WDCGG in Tokio SAGRG angenommen. Die (Scientific Advisory Group – Reactive Gases) hat die Wichtigkeit von SO₂ erkannt und ist bemüht in den nächsten Jahren die SO2 -Aktivitäten ähnlich aufzubauen, wie es beim O₃ und CO schon geschehen ist oder es bei den Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden z.Z. geschieht. Die Mitgliedstaaten motiviert, O2 -Messungen zu installieren um Lücken im globalen Messnetz zu füllen. DQO's und SOP's werden verfasst; Messvergleiche sollen durchgeführt werden. Ein CCL und ein WCC sollen aufgebaut / benannt werden. Um die Details zu klären ist für 2013 ein Expert -Meeting geplant.

BEOBACHTUNG VON WOLKEN UND NIEDERSCHLAG MIT DEM WOLKENRADAR AN DER UMWELTFORSCHUNGSSTATION "SCHNEEFERNERHAUS"

MARTIN HAGEN UND KARSTEN SCHMIDT

DLRINSTITUT FÜR PHYSIK DER ATMOSPHÄRE, OBERPFAFFENHOFEN, MARTIN. HAGEN@DLR. DE

An der Umweltforschungsstation "Schneefernerhaus" (UFS) wird seit Ende 2011 ein Wolkenradar vom Typ MIRA-36 zur kontinuierlichen operationellen Beobachtung von Wolken und Niederschlag betrieben. Das Wolkenradar misst senkrecht nach oben bis zu einer Entfernung von 15 km über der UFS. Das Radar arbeitet bei einer Frequenz von 35,2 GHz und misst neben der Reflektivität die Vertikalgeschwindigkeit der Partikel und das Depolarisationssignal. Anhand von zwei Messbeispielen werden die Fähigkeiten des Radars dargestellt.

Einleitung

Wolkenradars dienen zur Beobachtung von Wolken und Niederschlag unter der Verwendung von gepulsten Radarwellen. Wolkenradars stellen eine ideale Ergänzung zu optischen Lidarsystemen und passiven Mikrowellenradiometern dar. Typischerweise werden Frequenzen im Bereich 95 GHz (W-Band) oder 36 GHz (Ka-Band) verwendet. Bei diesen Frequenzen können auch kleine Wolkenpartikel in der Größenordnung von 10 µm erfasst werden. Das Ka-Band ermöglicht eine Messung in Niederschlag, bei Verwendung des W-Bands ist die Dämpfung der Radarwellen in Niederschlag oft zu stark und führt zu vollständiger Extinktion. Wolkenradars werden meistens mit einer nicht beweglichen senkrecht nach oben schauenden Antenne betrieben.



Abb. 1: Antenne des Wolkenradar MIRA-36 an der UFS auf dem Dach des Wechselnutzerlabors.

Wolkenradar MIRA-36

Das Wolkenradar an der UFS ist vom Typ MIRA-36 der Firma METEK. Die Radarfrequenz beträgt 35,2 GHz (Wellenlänge 8,5 mm). Das Radar misst bis zu einer Höhe von 15 km über dem Schneefernerhaus. Die vertikale Auflösung beträgt 30 m, das zeitliche Integrationsintervall 10 s. Die Radarantenne ist auf dem Dach des Wechselnutzerlabors montiert (Abb.1). Um Radarstrahlung auf das Gebäude zu verhindern und um Störechos von der Zugspitze zu vermeiden ist um die Antenne eine Abschirmung aus absorbierendem Material angebracht. Der Radarsender und Empfänger sind in der Zwischendecke des Labors aufgehängt. Ein Steuerrechner mit USV sowie einem Kompressor und Lufttrockner für die Hohlleiter sind in einem Rack an der Ostseite des Labors untergebracht.

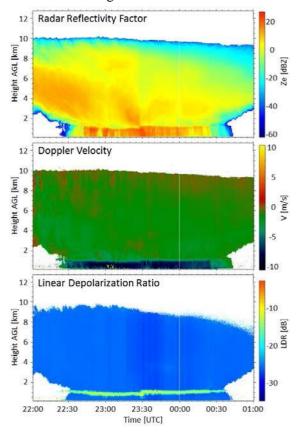


Abb. 2: Messungen des Wolkenradars am 21./22.8. 2012. Höhen über Radar (2670 m NN).

Primäre Messgröße ist der Radar Reflektivitätsfaktor, der abhängig von der Teilchengrößenverteilung (prop. D⁶, D = Teilchendurchmesser) ist. Er stellt ein Maß für die Teilchendichte und Größe dar. Daneben wird die Dopplergeschwindigkeit als Summe aus Fallgeschwindigkeit der Teilchen und Vertikalbewegung der Luft gemessen, wobei negative Geschwindigkeiten auf das Radar zu bedeuten. Durch einen zweiten Empfänger wird die Depolarisation der zurückgestreuten Welle bestimmt (Linear Depolarization Ratio, LDR). Die Depolarisation ist ein Maß für die Abweichung der Wolkenteilchen von der Kugelform.

Messungen in einem Niederschlagsgebiet Abb. 2 zeigt einen Zeit-Höhenschnitt der Messungen in einem hochreichenden Niederschlagsgebiet am 21./22. August 2012. Der Reflektivitätsfaktor zeigt die räumliche Wolken- und Niederschlagsverteilung. Die Dopplergeschwindigkeit zeigt unterhalb von etwa 1 km Höhe Regen mit einer Fallgeschwindigkeit von ca. 7-10 m/s, darüber Eisteilchen mit geringer eigener Fallgeschwindigkeit, die zusammen mit einem Aufwind auch als aufwärts gerichtet Bewegungen beobachtet werden (rote Bereiche). LDR gibt ein besonders deutliches Signal in der Schmelzschicht in der der Schnee zu Regen schmilzt. Schmelzender Schnee taumelt wegen seiner irregulären Form und ungleichmäßiger Massenverteilung beim Fallen stark, dies führt zu einer Depolarisation der zurückgestreuten Welle.

Beobachtungen von Zirruswolken

Abb 3. zeigt einen Zeit-Höhenschnitt durch ein Zirrus-Wolkenband mit Kelvin-Helmholtz Instabilitäten am Morgen des 30. September 2012. Durch eine Geschwindigkeitsscherung (weniger eine Richtungsscherung) in ca. 6 - 10km Höhe über NN bilden sich Wellen die vom Radar als abwechselnde Auf- und Abwinde in den Zirruswolken gesehen werden. Abb. 4 zeigt Details der Wellen mit den Auf- und Abwinden an den sich aufrollenden Wolkentürmen. Abb. 5 zeigt das Leistungsspektrum der Dopplergeschwindigkeit für 07:25 UTC in drei Höhen (vgl. Abb. 4). Während in den unteren beiden Höhen das Spektrum schmal ist, ist es in der oberen Höhe des Aufwinds breit. Dies deutet auf starke Turbulenz in diesem Höhenbereich hin.

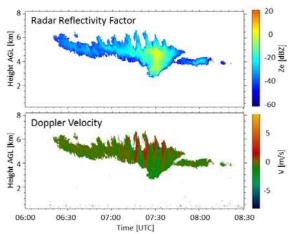


Abb. 3: Messungen des Wolkenradars am 30.9.22012. Höhen über Radar (2670 m NN.)

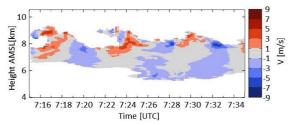


Abb. 4: Details der Dopplergeschwindigkeit aus Abb. 3. Höhen über NN.

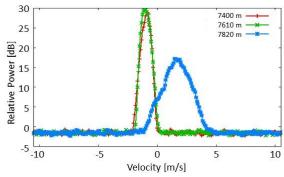


Abb. 5: Leistungsspektrum der Dopplergeschwindigkeit für drei Höhen um 07:25 UTC. Höhen über NN.

Zusammenfassung

Das Wolkenradar ist ein geeignetes Gerät zur Untersuchung der Mikrophysik und der Dynamik von Wolken. Es ergänzt in idealer Weise die kontinuierlich betriebenen Mikrowellenradiometer, Ceilometer und in-situ Messungen auf der UFS (z. B. Löhnert et al., 2011). Quick- looks sind in Echtzeit im Internet verfügbar:

http://www.pa.op.dlr.de/poldirad/ufsmira.html

Literatur

Löhnert, U., S. Kneifel, A. Battaglia, M. Hagen, L. Hirsch, S. Crewell, 2011: A multi-sensor approach towards a better understanding of snowfall microphysics: The TOSCA project. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 92, 613–628.

MESSUNG VON SPURENGASEN IN DER FREIEN TROPOSPHÄRE MIT DER MAX- DOAS METHODE AUF DEM SCHNEEFERNERHAUS

KATJA SEITZ¹, JOHANNES LAMPEL¹, MORITZ JURGSCHAT¹, UDO FRIEß¹, PIETER VALKS¹,

NAN HAO² UND ULRICH PLATT¹

¹INSTITUT FÜR UMWELTPHYSIK, UNIVERSITÄT HEIDELBERG

²DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT, OBERPFAFFENHOFEN

Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus ist mit ihrer Lage in der freien Troposphäre der ideale Standpunkt um die Luftzusammensetzung der Tropo- als auch der Stratosphäre zu untersuchen. In den letzten Jahrzehnten hat die Untersuchung der Luftzusammensetzung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Nicht nur die Luftqualität der Troposphäre ist für das Leben des Menschen von Bedeutung, vielmehr ist auch eine intakte Ozonschicht in der Stratosphäre für alles Leben auf der Erde maßgeblich. Zur Messung der relevanten Spurengase wurde die differentielle optische Absorptionsspektroskopie (DOAS) verwendet, eine etablierte Methode zur Fernerkundung. Der Messaufbau erlaubt neben der direkten Messung atmosphärischer Spurengase auch die Validation von satelliten-gestützten DOAS Messungen.

Atmosphärische Spurengase

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde der Begriff des Smogs geprägt und mit ihm wuchs das wissenschaftliche Interesse an der Zusammensetzung der Luft der Troposphäre. Mit der Entdeckung des Ozonlochs Ende der 1970er Jahre gewann auch die Zusammensetzung der Stratosphäre an Bedeutung. Und mittlerweile hat nicht zuletzt der Klimawandel zu einem verstärkten Interesse an atmosphärischen Spurengasen und den damit verbundenen umweltphysikalischen Prozessen geführt.

Standort Schneefernerhaus

Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus liegt mit 2650 m üNN in der freien Troposphäre. Die relativ große Entfernung zu Großstädten und Ballungsgebieten und vor allem die Höhenlage machen das Schneefernerhaus zum idealen Ort zur Untersuchung der freien Troposphäre. So können z.B. Einmischungen von Luftmassen aus höheren oder tieferen Schichten der Atmosphäre beobachtet werden.

Obwohl die Luft in dieser Höhe normalerweise rein ist, konnten erhöhte Konzentrationen von frei-troposphärischem Stickstoffdioxid (NO₂) nachgewiesen werden: ein Hinweis auf klein- und weiträumige Transportprozesse. Diese Messungen sind von großer Bedeutung da weltweit nur wenige Geräte Messungen troposphärische Profile von NO₂ und Ozon liefern.

Darüber hinaus herrschen auf der UFS oft bessere Sichtverhältnisse als im Tal was die Messzeit und die Qualität der Messungen zum Teil erheblich steigert.



Abb.1: MAX-DOAS Instrument auf dem Schneefernerhaus (aus Diplomarbeit M. Jurgschat, 2011)

MAX-DOAS

Das multi-axiale differentielle optische Ab-(MAX-DOAS) sorptionsspektroskopie Gerät basiert auf verschiedenen Spektrometern im ultravioletten (uv) und sichtbaren (vis) Wellenlängenbereich welche gestreutes Sonnenlicht unter zwei verschiedenen Messgeometrien untersuchen: (1) Zenithmessungen und (2) eine Serie Elevationswinkel verschiedener über dem Horizont. MAX-DOAS Instrumente sind in der stratosphärische sowohl bedeutende Spurengase (z.B. Ozon, NO₂, BrO und OClO) als auch wichtige troposphärische Absorber wie SO_2 , Formaldehyd, NO_2 . Ozon, Wasserdampf und HONO nachzu- weisen. Zenith üblicherweise Messungen werden Sonnenaufgang und Sonnenuntergang durchgeführt und eignen sich besonders für die Messung stratosphärischer Absorber, während Messungen nah am Horizont sich besonders zum Nachweis troposphärischer Spurengase eignen. Die Kombination von Zenith- und Horizontmessungen ermöglicht die Bestimmung absoluter Spurengaskonzentrationen und deren Profile.

Über die Absorptionen des Sauerstoffstoßkomplexes O₄ lassen sich mit Strahlungstransportmodellen Aerosolprofile berechnen.

Messungen und Ergebnisse

Nach Installation des MAX-DOAS Geräts im Januar 2011 und Auswertung erster Datensätze, stellte sich heraus, dass das Gerät ein Streulichtproblem aufwies, welches aufwändig behoben werden musste um zufriedenstellende Messgrenzen im ultravioletten Spektralbereich erzielen zu können. Die Auswertung erster Zeitreihen lieferte zumindest im visuellen Spektralbereich sehr gute Ergebnisse, die zum großen Teil mit in-situ Messungen und mit anderen Methoden bzw. Instrumenten bestimmten Tagestrends übereinstimmen.

So wurden z.B. für einige selektierte Tage aus den schrägen O₄-Säulendichten Aerosolprofile bestimmt, die mit Ceilometerdaten vom Deutschen Wetterdienst (DWD) korrelieren. Aus diesen Aerosolprofilen und den gemessenen NO2 -Säulen wurden NO2-Vertikalprofile erstellt und die bodennahen Schichten mit in-situ Daten des Umweltbundesamt (UBA) verglichen. Es wurde der von Sussmann et al. (2005) mit einem FTIR gemessene durchschnittliche tägliche der troposphärischen Anstieg vertikalen NO₂-Säulendichte von 1x10¹⁴cm⁻² mit dem MAX-DOAS (0.92 ± 0.33) mit 1x10¹⁴cm⁻² validiert.

Formaldehyd konnte nachgewiesen werden, allerdings haben Streulichtprobleme eine belastbare Auswertung mit dem uv Spektrometer verhindert und so konnten keine Profile bzw. konsistente vertikale Säulendichten bestimmt werden. Die Streulichtprobleme sind mittlerweile behoben und nach einem erneuten Aufbau auf der UFS sollten sich die Ergebnisse mit dem uv Spektrometer erheblich verbessern.

Salpetrige Säure konnte, wie schon mit einem baugleichen Gerät am Hohenpeißenberg nicht nachgewiesen werden.

Für NO3 konnten Zenith DOAS Daten ausgewertet warden. Das Nitratradikal hat eine sehr kurze photolytische Lebensdauer und kann deswegen mit MAX-DOAS nur im morgendlichen Halbschatten beobachtet werden, wobei der von von Friedeburg et al. (2001) beobachtete Grenz-SZA von 88° unter dem kein NO3 mehr beobachtet werden kann, bestätigt wurde.

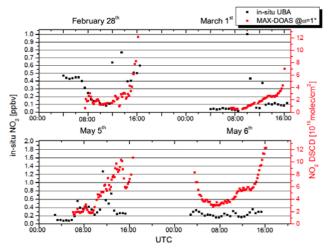


Abb.2: Vergleich der NO₂ MAX-DOAS Ergebnisse mit insitu Daten des Umweltbundesamt (aus Diplomarbeit M. Jurgschat, 2011). Es ist anzumerken, dass es sich bei dem Messverfahren um eine Methode der Fernerkundung handelt und somit, je nach Wetterlage, unterschiedliche Luftmassen beprobt worden sind und zudem das MAX-DOAS die Konzentrationen über mehrere Kilometer mittelt. Somit spielt bei einem Vergleich mit in-situ Daten die Wettersituation eine groβe Rolle.

ACRIDICON-ZUGSPITZE FELDKAMPAGNE

Manfred Wendisch¹, Ulrich Pöschl², Dagmar Rosenow¹, Et Al.

¹Leipziger Institut Für Meteorologie, Universität Leipzig,

²Max-Planck-Institut Für Chemie, Mainz

Email:D.Rosenow@Uni-Leipzig.De

Die ACRIDICON-Zugspitze Gruppe hat im Zeitraum 17. September bis 5. Oktober 2012 auf der Zugspitze eine Messkampagne zur Untersuchung der Wechselwirkung von Aerosolen, Niederschlag und Strahlung insbesondere in Hinblick auf konvektive Wolken durchgeführt.



Abb.1: LIDAR-Beobachtung von Wolken am Gipfel.

Der in Wolken gebildete Niederschlag und mit Wolken einhergehende starke Winde können zu deutlichen Schäden führen. Durch genauere Kenntnisse der komplexen beteiligten Prozesse kann die Basis für präzisere Risikoeinschätzungen gelegt werden. Um ein besseres Verständnis zu erhalten, ist eine detaillierte Untersuchung der beteiligten Gase, Aerosole, Wolkenpartikel und Strahlung (solar und terrestrisch) erforderlich. Hierzu hat sich eine Gruppe zusammengefunden, der Wissenschaftler. Studenten und Mitarbeiter der Universitäten Leipzig, Mainz, Köln, München, Frankfurt, der Technischen Universität Darmstadt, des Instituts für Troposphärenforschung in Leipzig (Tropos), des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), des Deutschen Zentrums für Luftund Raumfahrt in Oberpfaffenhofen (DLR), und des Forschungszentrums Jülich angehören. Dadurch konnten 45 Instrumente eingesetzt werden, die sich ergänzen und teilweise eine gegenseitige Evaluierung erlauben.



Abb.2: Der Zugspitzgipfel ist in Wolken gehüllt, während das Schneefernerhaus weitgehend wolkenfrei ist.

Besondere Eignung des Standortes Schneefernerhaus/Zugspitze

Da auf Höhe der Zugspitze und der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus konvektive Wolken auftreten, war die wichtigste Voraussetzung zur Verfolgung der Kampagnenziele gegeben. Während die wolkenmikrophysikalischen in-situ Messinstrumente auf dem Dach der Eibseeseilbahn-Gipfelstation aufgebaut wurden, befanden sich die Fernerkundungsinstrumente, bei denen durch Strahlungsmessungen ebenfalls mikrophysikalische Parameter bestimmt werden, auf den Terrassen der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus. Diese Anordnung ermöglicht eine ideale Ergänzung von in situ und Fernerkundungsinstrumenten und eine detaillierte Untersuchung der Wolken im Bereich des Zugspitzgipfels. Im Schneefernerhaus und auf dessen Terrassen befanden sich zusätzlich Instrumente für Spurengas-, Aerosol- und Eiskeimmessungen. Hiermit konnten sowohl die Eigenschaften der Wolken als auch im Vergleich die von wolkenfreien Luftmassen untersucht werden. Zu den Kernzeiten der Kampagne wurden weiterhin von Garmisch-Partenkirchen aus täglich 5 Radiosondenaufstiege durchgeführt.



Abb. 4: Wolkenmikrophysikinstrumente auf dem Dach der Gipfelstation der Zugspitzbahn.

Geräte im lang- und kurzfristigen UFS-Betrieb

Während ein Teil der Instrumente routinemäßig auf dem Schneefernerhaus betrieben werden, war der Großteil der Instrumente während der dreiwöchige Messkampagne im Wechselnutzerlabor zu Gast. Zu diesen gehörten sowohl Geräte, die bereits in zahlreichen Kampagnen oder im Routinebetrieb an anderen Orten ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis gestellt hatten, als auch Weiterentwicklungen bewährter Geräte, die hierbei ihre Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen durften.



Abb.3: Aerosol-, Spurengas- und Eiskeimanalysegeräte im Wechselnutzerlabor.



Abb.5: Strahlungsmessungen auf dem Schneefernerhaus.

Gefördert wurde diese Kampagne durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Projekts ACRIDICON (Aerosol, Cloud, Precipitation, and Radiation Interactions and Dynamics of Extra-Tropical Convective Cloud Systems) des Schwerpunktprogramms HALO.

AEROSOLKONZENTRATIONEN UND AEROSOLEIGENSCHAFTEN UNTER WOLKENBEDINGUNGEN AM SCHNEEFERNERHAUS

ERIC SCHLOSSER, BARBARA ALTSTÄDTER, CLAUDIA LINKE, ANDREAS RIEHL, MARTIN SCHNAITER, EMRE TOPRAK, THOMAS LEISNER

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT), INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMAFOR-SCHUNG-ATMOSPHÄRISCHE AEROSOLFORSCHUNG (IMK-AAF), ERIC. SCHLOSSER (@KIT. EDU

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Bereich Atmosphärische Aerosolforschung, befasst sich mit der Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Aerosol und Wolken, die eine zentrale Rolle bei der Entstehung von Wolken, der Niederschlagsbildung, der Strahlungsbilanz und damit für das Wetter und das Klima haben. Die involvierten Prozesse werden in Laborexperimenten in Karlsruhe im Maßstab von Mikrometern bis einigen Metern untersucht.

An der Umweltforschungsstation "Schneefernerhaus" (UFS) sind im Sommer 2011 kontinuierliche und umfassende Aerosolmessungen in Betrieb genommen worden, die in Messkampagnen durch schnelle Einzelpartikelinstrumente zur Analyse der Wolkenpartikel ergänzt werden. Durch zwei spezielle Probenahmesysteme können unter Wolkenbedingungen das Aerosol einschließlich der Wolkenpartikel und das sogenannte interstitielle Aerosol, das zwischen den Wolkenpartikeln vorliegt, getrennt untersucht werden. Der wolkenbildende Beitrag von Rußpartikeln und primären organischen Bioaerosol wurde näher untersucht.

Messaufbau zur Untersuchung der Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen

Auf der Messterrasse oberhalb des 8.Obergeschosses des Schneefernerhaus wurden zwei Einlässe installiert, mit denen die Umgebungsluft mit und ohne den Einfluss von Wolken vom Boden aus beprobt und zur Analyse in das KIT-Labor geleitet werden kann (Abb.1). Die Wolkenmikrophysik und die Bestimmung des Anteils an Eis wurde während Feldmesskampagnen mittels eines Partikelphasendiskriminators (SID3 (laseroptische Streuung an Einzelpartikeln)) vorgenommen.



Abb.1 Einlasssystem und meteorologische Messinstrumente auf der Dachterrasse des Schneefernerhaus. Instrumente zur Untersuchung von Aerosol-Wolkenwechselwirkungen sind im KIT-Labor im 8. Obergeschoss untergebracht.

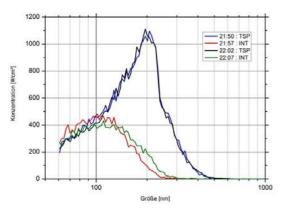


Abb.2 Aerosolgrößenverteilung (Optischer Partikelzähler) innerhalb einerWolke. Partikel, die größer 100 nm sind, werden bevorzugt zu Wolkentröpfchen aktiviert wie ein Vergleich der Messungen am Gesamtaerosoleinlass (TSP, blau & schwarz) und am interstitiellen Einlass (INT, rot & grün) zeigt.

Mit einem geheizten Einlass (TSP, total suspended particles) werden die Wolkentröpfchen und kleinen Eiskristalle verdampft und die daraus resultierenden Wolkenresiduen zusammen mit dem interstitiellen Aerosol, d.h. dem Aerosol, das sich zwischen den Wolkenpartikeln befindet, untersucht. Mit einem zwei-

ten, kalten Einlass (INT, interstitieller Einlass, PM 2,5µm) werden Wolkenpartikel (Tropfen und Eiskristalle) abgeschieden und nur das interstitielle Aerosol beprobt. Aus der Differenz der beiden Messungen können die Eigenschaften der Wolkenresiduen abgeleitet werden (Abb.2). Wenn keine Wolkenbedingungen herrschen, sind die Messungen mit beiden Einlässen vergleichbar.

Die Probeluft wird mit Hilfe von Kondensationspartikelzählern (CPC) und verschiedenen Größenanalysatoren (APS (aerodynamische Größe), SMPS (Elektromobilität) und OPC (optische Größe) charakterisiert. Zusätzlich wurden zwei Einzelpartikelinstrumente eingesetzt, mit denen sich der Anteil an biologischen Partikeln (WIBS (Fluoreszenz)) und Rußpartikeln (SP2 (Inkandeszenz)) bestimmen lässt.

Primäres organisches Bioaerosol

Primäre biologische Aerosolpartikel können bei vergleichsweise hohen Temperaturen die Bildung von Eis in Wolken einleiten, wie auch Untersuchungen an der Wolkensimulationskammer, AIDA, zeigen. Um den jahreszeitlichen Anteil von Biopartikeln am Standort Zugspitze zu untersuchen, wurde fast ein Jahr lang ein Bioaerosolsensor auf der UFS betrieben.

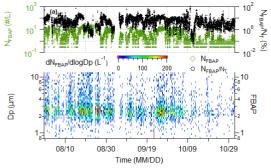


Abb.3 oben: Bioaerosolkonzentration (grün) und Anteil am Gesamtaerosol (schwarz) im Sommer und Herbst 2011. unten: Zeitliche Entwicklung der Bioaerosolgrößenverteilung.

Die höchsten Konzentrationen an biologischen Partikeln (FBAP, im Größenbereich 800 nm-16 μm) wurden im Sommer und Herbst beobachtet. Dabei lag die Konzentration bei 1-200/L und ein deutliches Maximum der Größenverteilung wurde bei 2,5 μm beobachtet (Abb.3). Der Anteil am Gesamtaerosol lag an der Zugspitze (UFS) typischerweise bei 5%, während im Rheintal bei Karlsruhe (KIT) 30% der Partikel dieses Größenbereichs biologischen Ursprungs waren. Aber auch lag die Größe der Biopartikeln meist bei 2,5 μm, was auf Pilzsporen hindeutet.

Rußpartikel bei Wolkenbedingungen

Die Verteilung von Rußpartikeln, wurde speziell innerhalb und außerhalb von Wolken durch Wechsel zwischen den beiden Einlässen charakterisiert. Messungen des Rußmessgeräts (Single Particle Soot Photometer, SP2) zeigen grundsätzlich einen ähnlichen Konzentrationsverlauf wie die mit CPCs gemessene Gesamtaerosolkonzentration (Abb.4).

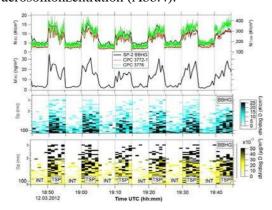


Abb.4 oben: Wechselweise Messung des gesamten und interstitiellen Aerosols bei Wolkenbedingungen. Aerosolkonzentration (CPC: grün und rot) und Rußkonzentration, bzw. –masse (SP2: schwarz). Unten: Größen- bzw. Massenverteilung der Rußpartikel (SP2).

Die Höhe der Stufen spiegelt den zeitlichen Einlasswechsel und den Anteil der Wolkenresiduen wider. Die Gesamtaerosolkonzentration unter Wolkenbedingungen war gering und betrug hier nur 200-400/cm³, wobei etwa die Hälfte interstitiell vorlag und sich die andere Hälfte in den Wolkenpartikeln befand. Der Anteil an Rußpartikeln (rBC) am interstitiellen Aerosol betrug 3.4 % und am Gesamtaerosol 4.5%. Ruß ist also in den Wolkenpartikeln leicht angereichert.

Die Langzeitmessungen auf dem Schneefernerhaus wurden für die Untersuchung von Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen etabliert und durch intensive Feldmesskampagnen ergänzt. Ein Ausbau der Messungen und eine Verstärkung der Automatisierung sind in Planung. Eine weitere Analyse der gesammelten Messdaten soll die Bedeutung von Aerosol insbesondere für Mischphasenwolken quantifizieren.



Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH Zugspitzstraße 5 82475 Zugspitze