



HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health



WISSENSCHAFTLICHE RESULTATE 2009/2010



Umwelt
Forschungsstation
Schneefernerhaus

NUMMER 01
JANUAR 2011

Herausgeber: Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH
Zugspitzstr. 5; 82475 Zugspitze
Internet: www.schneefernerhaus.de
Druck: StMUV
Stand: 2. Auflage März 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 zur 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 2009 / 2010

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Infraschallsignaturen von Naturereignissen: Modellierung und Quellenunterscheidung <i>C. Pilger, C. Schmidt, K. Höppner, M. Bittner</i> | 5 |
| 2. | Das internationale Netzwerk NDMC zur globalen Beobachtung der oberen Atmosphäre <i>K. Höppner, M. Bittner, C. Pilger, C. Schmidt, S. Wildner</i> | 8 |
| 3. | Persistente organische Stoffe im alpinem Quellwasser <i>K.-W., Schramm, N. Fischer, B. Henkelmann</i> | 11 |
| 4. | SatVal-A: Etablierung einer nationalen Kontaktstelle zur Koordination von Validierungsaktivitäten für satellitenbasierte Messungen in der Atmosphäre als Element des Zentrums für Höhen-und Klimaforschung Schneefernerhaus Entwicklung neuartiger Validationsansätze: Einfluß des natürlichen atmosphärischen Rauschens auf Validationsmessungen - <i>V. Kopp, S. Wüst, M. Bittner</i> | 13 |
| 5. | SatVal-A: Etablierung einer nationalen Kontaktstelle zur Koordination von Validierungsaktivitäten für satellitenbasierte Messungen in der Atmosphäre als Element des Zentrums für Höhen-und Klimaforschung Schneefernerhaus Entwicklung eines Geschäftsmodells - <i>S. Haase-Straub, S. Wüst, M. Bittner</i> | 15 |
| 6. | Kosmische Strahlung <i>W. Rühm, U. Ackermann, G. Donth, C. Helbig, T. Maczka, V. Mares, H.G. Paretzke, C. Pioch, S. Trinkl, E. Weitzenegger, M. Wielunski</i> | 17 |
| 7. | Analyse der Emissionen des Eyjafjallajökull-Ausbruchs am Standort Schneefernerhaus <i>S. Gilge, H. Flentje, C. Plass-Dülmer, W. Thomas, W. Fricke</i> | 21 |
| 8. | Untersuchung der Rayleigh-Brillouin Streuung in der Atmosphäre mit Laser-Fernerkundung für zukünftige Satellitenmissionen <i>O. Reitebuch, C. Lemmerz, B. Witschas</i> | 24 |
| 9. | Spektroskopische Messungen atmosphärischer Spurengase auf der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus <i>K. Seitz, P. Valks, M. Jurgschat, U. Platt</i> | 27 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 10. | Höhenzug: "Höhenabhängige vegetations- und standortkundliche Untersuchungen der subalpinen bis subnivalen Stufe auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge)" <i>A. Friedmann, O. Korch</i> | 29 |
| 11. | Taut der Permafrost auf der Zugspitze ? <i>A. von Poschinger</i> | 31 |
| 12. | Aufbau eines Datenanalysezentrums für die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) durch das ICSU/WMO Weltdatenzentrum für Fernerkundung der Atmosphäre (WDC-RSAT) <i>S. Bernonville</i> | 33 |
| 13. | Untersuchung zur Inhomogenität von Extremtemperatur-Messreihen durch Änderung der Messtechnik <i>K. Hager, J. Jacobeit</i> | 35 |
| 14. | Zur Hydrologie des Zugspitzgebietes <i>K.-F. Wetzel</i> | 38 |
| 15. | Beobachtung des OH-Nachtleuchtens im Alpenraum mit GRIPS <i>C. Schmidt, K. Höppner, M Bittner</i> | 40 |
| 16. | Freibewitterung von PV-Modulen in extremen Klimaten <i>M. Heck, M. Köhl, D. Philipp, K.-A. Weiß</i> | 43 |
| 17. | Persistente organische Schadstoffe im Alpenraum <i>M. Kirchner, G. Jakobi, K.-W. Schramm,</i> | 46 |
| 18. | Umweltbundesamt <i>L. Ries, S. Pandey, M. Leuchner</i> | 49 |
| 19. | DZUG – Downscaling Projekt Zugspitze: Erste Schritte in Richtung hochpräziser Klimaprojektionen <i>B. Beck, A. Philipp, J. Jacobeit</i> | 52 |
| 20. | In-Situ Untersuchungen zur Wolkenmikrophysik und Aerosol Wolkenprozessen <i>E. Schlosser, M. Schnaiter, T. Leisner</i> | 55 |
| 21. | Bayerisches Gesundheitswetter – Entwicklung eines spezifischen Gesundheitsindex für Atemwegserkrankungen <i>J. Meyer-Arnek, E.R. Wanke, C. Bergemann, A. Bayerstadler, T. Exner, U. Ferrari, R. Fischer, C. Heumann, M. Bittner, R.M. Huber</i> | 58 |
| 22. | Das Schneefernerhaus als Höhenmedizinisches Forschungslabor <i>R. Fischer, E. R. Wanka, U. Ferrari, S. M. Lang, K. Brückner, H.-X. Hoyer, R. M. Huber</i> | 61 |

- | | | |
|-----|---|----|
| 23. | KlimaGrad: Auswirkungen des Klimawandels in den Alpen – Erfassung mittels Höhengradienten <i>C. Schuster, M. Leuchner, A. Menzel</i> | 63 |
| 24. | Ein Multi-Sensor Ansatz zum verbesserten Verständnis der Schneemikrophysik: Das TOSCA-Projekt <i>U. Löhnert, S. Kneifel, A. Battaglia, M. Hagen, L. Hirsch, S. Crewell</i> | 66 |
| 25. | KlimaGrad: Phänologische und vegetationskundliche Untersuchungen in der montanen und subalpinen Stufe im Wettersteingebirge und am Schachen <i>A. Schuster, M. Breier, A. Gröger, A. Menzel</i> | 69 |
| 26. | Pflanzenphänologische Trends im Alpenraum werden nicht durch die Höhenlage beeinflusst <i>C. Ziello, N. Estrella, S. Jochner, A. Menzel</i> | 72 |
| 27. | Stickstoffeinträge und VOCs entlang von Höhengradienten <i>M. Leuchner, G. Jakobi, M. Kirchner</i> | 75 |
| 28. | Wolkenforschung am Schneesfernerhaus <i>M. Schlosser, E. Bodenschatz, S. Crewell, T. Leisner, U. Löhnert, D. Xu</i> | 78 |
| 29 | Messungen von Wasserdampf und Temperatur bis in die Stratosphäre mit Hochleistungs-Lidarsystemen <i>L. Klanner, R. Sussmann, T. Trickl, H. Vogelmann</i> | 81 |
| 30 | Einflüsse des Hochgebirgsklimas auf Allergien und Umweltkrankheiten an der Umweltforschungsstation Schneesfernerhaus <i>B. Eberlein, R. Fischer, H. Behrendt, R. M. Huber R., J. Ring</i> | 84 |
| 31 | Niederschlagsmessung im komplexen alpinen Terrain mittels Dämpfungsdaten kommerzieller Richtfunkstrecken <i>C. Chwala, H. Kunstmann, W. Qiu, S. Hipp, U. Siart, J. Seltmann, A. Bradt, J. Fritz</i> | 87 |

INFRASCHALLSIGNATUREN VON NATUREREIGNISSEN: MODELLIERUNG UND QUELLENUNTERSCHIEDUNG

CHRISTOPH PILGER, CARSTEN SCHMIDT, KATHRIN HÖPPNER, MICHAEL BITTNER
DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN, CHRISTOPH.PILGER@DLR.DE

Am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-DFD) werden Untersuchungen von Infraschallsignaturen in der Atmosphäre durchgeführt, die insbesondere durch Naturgefahren erzeugt werden.

Infraschall ist Schall unterhalb der Hörgrenze des menschlichen Ohres (unter 16 Hz). Er wird generiert von einer ganzen Reihe von natürlichen und künstlichen (anthropogenen) Quellen wie z. B. Stürmen und Unwettern, aktiven Vulkanen und Eruptionen, Meteoriden, Erdbeben, Tsunamis, Lawinen, Überströmung von Gebirgsketten (z. B. Föhn), aber auch Raketenstarts und Überschallflügen oder Explosionen und Sprengungen. Schallwellen sind Druckschwankungen, also Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, die sich in der Atmosphäre ausbreiten. Dabei legt insbesondere der Infraschall als tieffrequenter und wenig gedämpfter Schall große Strecken in der Atmosphäre zurück. Er ist noch über hunderte und tausende Kilometer Entfernung in Druck- und Temperaturfluktuationen messbar (siehe Abb. 1 und 2). Infraschallsignaturen können damit auch in Zeitreihen der Temperatur detektiert werden.

Das DLR-DFD betreibt in der UFS das Infrarot-Spektrometer GRIPS (Ground-based Infrared P-branch Spectrometer) zur Vermessung der Temperatur in der sog. ‚Airglow-Schicht‘ in der Mesopausenregion in ca. 87 km Höhe. Die Messungen werden unter anderem auch hinsichtlich Infraschallsignaturen von verschiedenen Naturereignissen untersucht.

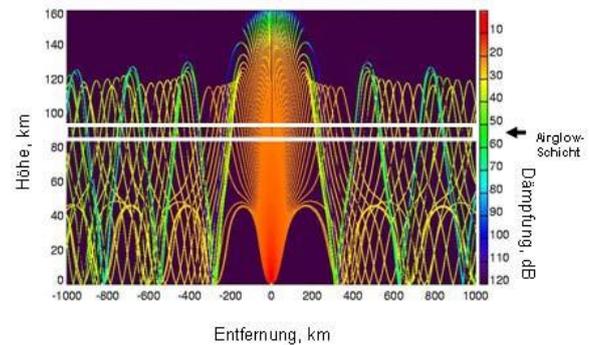


Abb.1: Schallausbreitung in die Atmosphäre mit Dämpfung (in dB) für ein 0,1 Hz Quellsignal am Erdboden.

Modellierung

Die Modellierung der Infraschallausbreitung wird im DLR-DFD mit dem numerischen Modell HARPA/DLR durchgeführt. Die Ausbreitung eines Schallsignals z. B. von einer punktförmigen Quelle am Erdboden aus wird dabei mit Methoden der Strahlausbreitung beschrieben. Diese wird mit Klimatologien zur Darstellung des atmosphärischen Hintergrunds kombiniert (z. B. HWM-93/ MSISE-00 zur Beschreibung des Winds bzw. der Temperatur). Des Weiteren werden die atmosphärische Dämpfung und geometrische Ausbreitung als Abschwächungsprozesse sowie der mit der Höhe abnehmende Luftdruck als Verstärkungsprozess für ein Schallsignal berücksichtigt.

Abbildung 1 zeigt hierzu ein Standard-Schallausbreitungsprofil mit Berücksichtigung der Abschwächungsprozesse in einer relativen Druckeinheit. Abbildung 2 zeigt das Schallausbreitungsprofil für Temperaturfluktuationen und berücksichtigt ebenso den Verstärkungsprozess. Geringe Schwankungen in Bodennähe erreichen detektierbare Größenordnungen in der oberen Atmosphäre.

Die Stärke einer schallinduzierten Temperaturfluktuation ist dabei direkt proportional zur Stärke eines Quellsignals. Während schwache Infraschallquellen Signale von einigen

hundertstel Kelvin in der Höhe der Airglow-Schicht verursachen, können starke Infraschallsignale Fluktuationen von mehreren Kelvin generieren, die mit dem Spektrometer GRIPS detektiert werden können.

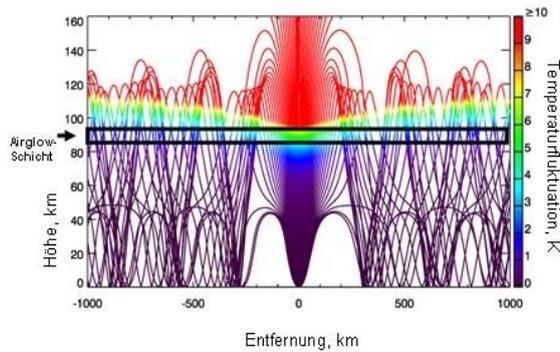


Abb. 2: Schallausbreitung in die Atmosphäre und infraschallerzeugte Temperaturschwankungen (in K) für ein 100 Pa und 0,01 Hz Quellsignal am Erdboden.

Quellenunterscheidung

Wellensignaturen verschiedener Infraschallquellen können an Hand ihrer physikalischen Parameter wie z. B. Periode, Wellenlänge und Amplitude unterschieden werden. Bei diesen Parametern handelt es sich um Messgrößen, die aus der Beobachtung und Analyse von Infraschall in hochaufgelöstem Bodenluftdruck (Messungen mit Mikrobarometern) sowie aus Airglow-Intensitäten (Messungen mit dem GRIPS-Spektrometer) und daraus abgeleiteten Temperatur-Zeitreihen bestimmbar sind.

Abbildung 3 zeigt eine Einteilung verschiedener Infraschallquellen nach ihrer Wellenlänge und Wellenperiode. Einige Infraschallquellen haben einen sehr eng definierten Periodenbereich (z. B. Mikrobarome: um 5 sec), andere variieren um mehrere Größenordnungen und sind oft von weiteren Quelleigenschaften abhängig. So variieren zum Beispiel die Periode und Wellenlänge von Explosionen je nach der Stärke der Explosion: je stärker eine Explosion, desto höher ihre Periode und Wellenlänge.

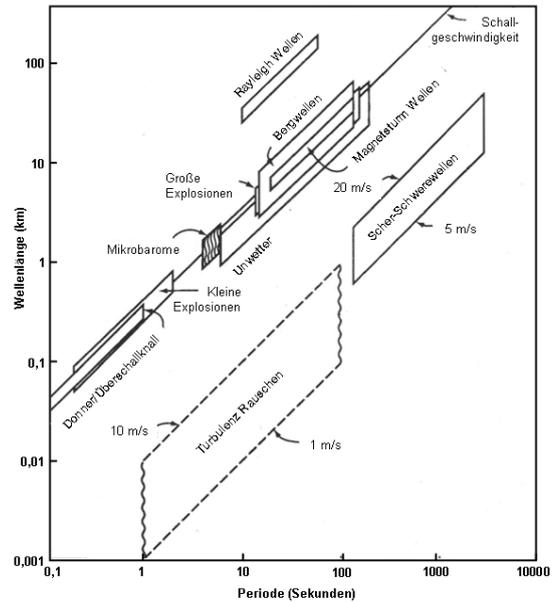


Abb. 3: Wellenlängen- und Periodenangaben für verschiedene Infraschallquellen (Abbildung nach Bedard, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/programs/infrasound/infrasonic.html>).

Identifikation von Infraschallquellen, Beispiel: Unwetter- und Sturmsysteme

Zur Identifikation bestimmter Infraschallquellen bildet die Unterscheidung nach physikalischen Parametern einen ersten wichtigen Schritt. Weitere Informationen zur Quelle sind jedoch zur Verifikation erforderlich.

Am Beispiel von Sturmsystemen wird die weitergehende Verifikation der Quellenunterscheidung mit meteorologischen Beobachtungen demonstriert: Weisen nach Messungen und Analysen die Parameter der Quellenunterscheidung auf Infraschallsignaturen von Sturmsystemen hin, so wird die Umgebung des Gesichtsfeldes der GRIPS-Messungen in 87 km Höhe auf Gebiete hoher konvektiver verfügbarer potentieller Energie (CAPE) in der Troposphäre untersucht. Dies ist ein Hinweis auf Unwetterpotential und Sturmsysteme, deren Infraschall sich (basierend auf Ausbreitungsrechnungen, siehe ‚Modellierung‘) in das Gesichtsfeld der Messung ausbreitet.

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für eine Messnacht vom 05.-06.11.2008, gemessen mit GRIPS in der UFS. Die gemessene Temperaturzeitreihe und die daraus abgeleitete Waveletanalyse zeigen signifikante Signaturen im Infraschallbereich zwischen 0,5 und 5 Minuten,

dem Periodenbereich für Unwetter- und Sturmsignaturen. Die zugehörige ECMWF-Wetterkarte zeigt ein Gebiet mit hohem CAPE-Potential in direkter Nähe des GRIPS-Gesichtsfeldes. Infraraschall dieses potentiellen Unwettersystems könnte sich also in das Gesichtsfeld ausgebreitet haben und mit GRIPS gemessen worden sein.

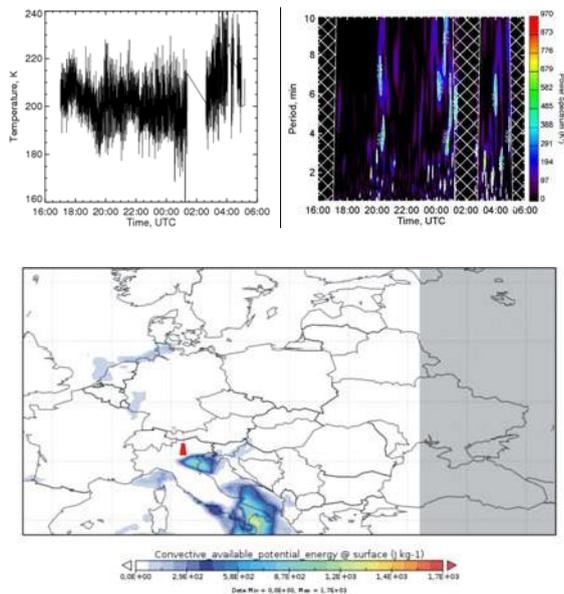


Abb.4: GRIPS-Temperaturnachtzeitreihe (oben links), Waveletanalyse (oben rechts) und ECMWF-CAPE-Analyse (unten) für die Nacht vom 05.-06.11.2008. Das GRIPS-Gesichtsfeld ist als rotes Trapez in der Karte eingezeichnet

Literatur

Bittner, M., Höpner, K., Pilger C. und Schmidt, C.: Mesopause temperature perturbations caused by infrasonic waves as a potential indicator for the detection of tsunamis and other geo-hazards. NHESS 10:1431-1442, 2010.

Pilger, C. und Bittner, M.: Infrasound from tropospheric sources: Impact on mesopause temperature? JASTP 71:816–822, 2009.

DAS INTERNATIONALE NETZWERK NDMC ZUR GLOBALEN BEOBACHTUNG DER OBERENATMOSPHÄRE

*KATHRIN HÖPPNER, MICHAEL BITTNER, CHRISTOPH PILGER, CARSTEN SCHMIDT, SABRINA WILDNER
DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN, KATHRIN.HOEPFNER@DLR.DE*

Das Network for the Detection of Mesopause Change (NDMC) ist ein globales Programm zur Förderung der internationalen Zusammenarbeit zwischen Forschungsgruppen, die den Bereich der Mesopause (80-100 km) beobachten, um möglichst frühzeitig die Signale eines sich ändernden Klimas zu erfassen. Klimasignale sollten in diesem Höhenbereich der Atmosphäre aufgrund der geringen Luftdichte und des sehr effektiven Prozesses der Strahlungskühlung besonders ausgeprägt sein und damit früher statistisch signifikant nachgewiesen werden können. Weitere Ziele des Netzwerkes sind die Validierung satellitengestützter Messungen, die Untersuchung einer Vielzahl grundlagenwissenschaftlicher Fragestellungen sowie das Verständnis der Sonne-Erde-Wechselwirkung und die gemeinsame Technologieentwicklung.

Anfangs liegt der Schwerpunkt dabei auf Techniken, die die Airglow-Schicht in der Mesopausenregion vermessen. Verwendet werden hierfür bereits existierende boden- und satellitengestützte Instrumente. Die (assoziierte) Teilnahme von Wissenschaftlern, die andere Techniken benutzen, um denselben Höhenbereich zu beobachten, wird vorangetrieben. Das NDMC beschäftigt sich u.a. mit Kopplungsprozessen und sucht den Anschluss an entsprechende Programme, die andere Regionen der Atmosphäre adressieren. Es ist daher mit dem Global Atmosphere Watch (GAW) Programm der World Meteorological Organization (WMO) und dem Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) assoziiert.



Abb.1: Geographische Verteilung der derzeit 49 NDMC-Messstationen weltweit (Stand: November 2010).

NDMC besteht gegenwärtig aus 49 bodengebundenen Messstationen weltweit, die das atmosphärische Luftleuchten („Airglow“) in der Mesopausenregion beobachten (siehe Karte in Abb. 1 oder auf der NDMC-Webseite unter <http://wdc.dlr.de/ndmc>). NDMC ist 2007 auf Initiative des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) gegründet worden und wird seitdem von DLR-DFD in Zusammenarbeit mit der argentinischen Organisation CONICET koordiniert; Koordinationszentrum ist die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS). Das Management wird vom bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit finanziell unterstützt.

NDMC entwickelt sich kontinuierlich weiter. Es werden in den nächsten Jahren neue NDMC-Messstationen aufgebaut, insbesondere in Europa und Afrika, um eine möglichst ausgewogene geographische Verteilung der Messstationen über den Globus zu erhalten. Darüber hinaus ist die Erweiterung von NDMC um weitere Messtechniken (wie z. B. Lidar, Radar, Satelliten oder Modellierung) geplant und teilweise bereits umgesetzt. Das bedeutet gleichzeitig eine Ausweitung des Netzwerkes auf die gesamte Mesosphäre.

Die Datenarchivierung und das Datenmanagement des NDMC's werden vom ICSU/WMO Weltzentrum für satellitenbasierte Fernerkundung der Atmosphäre (WDC-RSAT), übernommen, das auch als Kommunikationsplattform für das NDMC dient.

Die übergeordnete Struktur des Netzwerkes ist in Abb. 2 dargestellt.

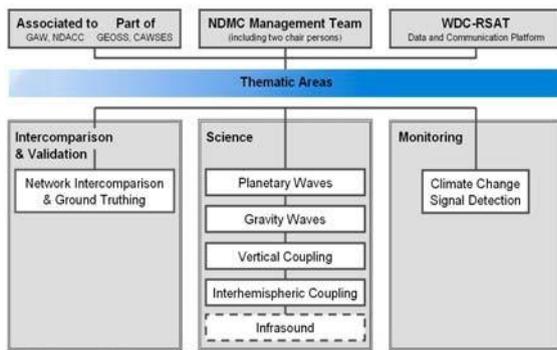


Abb.2: Übergeordnete Struktur des NDMC.

Wissenschaftliche Ziele des Netzwerkes

Die übergeordnete Fragestellung ist: Ändert sich das Klima der Mesopausenregion (80-100 km), und wenn ja, wie und warum? Dabei sind die zentralen Ziele des NDMC:

- Identifikation und Quantifikation von Klimaveränderungen durch die Beobachtung von Schlüsselparametern wie beispielsweise der Temperatur in der Mesopausenregion (Abb. 3) oder der Intensität des Airglow zur frühzeitigen Charakterisierung von Klimasignalen; Identifikation und Quantifizierung der Variabilität auf verschiedenen Zeitskalen (z. B. jahreszeitliche Variationen und Effekte der solaren Zyklen).
- Untersuchung von solaren Effekten auf allen Zeitskalen („Space Weather“)
- Untersuchung anderer wissenschaftlicher Fragestellungen in Bezug auf atmosphärische Dynamik auf verschiedenen Zeitskalen, einschließlich der Beschreibung und der Ursachen der Variabilität periodischer und quasi-periodischer Prozesse. Folgende Prozesse werden untersucht:
 - Akustische Wellen und Schwerewellen
 - Gezeiten und planetare Wellen
 - Jahreszeitliche & jährliche Schwankungen

- Episodische Ereignisse verursacht durch Fremdeinflüsse
- Validierung von satellitenbasierten Instrumenten und deren Nutzen für den Vergleich mit bodengebundenen Instrumenten
- Kooperation im Bereich der Instrumentenentwicklung

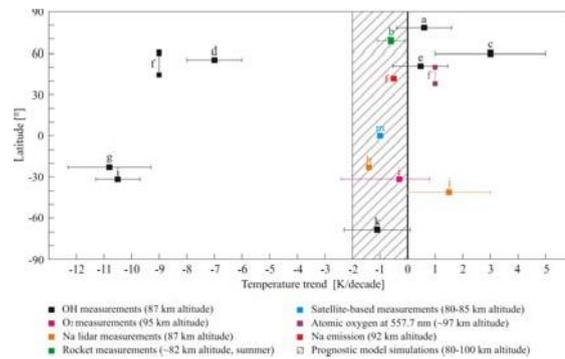


Abb.3: Temperaturtrends in der Mesopausenregion (80-100 km) an verschiedenen geographischen Breiten, abgeleitet aus Modellstudien bzw. bodengebundenen Messungen, zeigen ein sehr inhomogenes Bild. Die Untersuchung der möglichen Ursachen z. B. mögliche Einflüsse solarer Aktivität oder die Änderung der Dynamik in diesem Höhenbereich sind aktuelle Forschungsthemen des NDMC.

Airglow-Messungen

Airglow ist elektromagnetische Strahlung im sichtbaren und nahen infraroten Wellenlängenbereich, die in der oberen Mesosphäre emittiert wird. Für die Messung der Temperatur in der Mesopausenregion wird der Umstand ausgenutzt, dass in diesem Höhenbereich eine Schicht von angeregten Hydroxyl-Molekülen (OH*) mit einer vertikalen Ausdehnung von ca. 8 km existiert, die ihren Schwerpunkt bei etwa 87 km hat. Die photochemische Anregung der OH-Moleküle erfolgt bei der Bildung durch die exotherme Reaktion von Ozon und atomarem Wasserstoff. Eine zweite prominente Airglow-Quelle ist eine Schicht von molekularem Sauerstoff (O₂) bei einer Höhe von 94 km. Über eine geeignete Verhältnisbildung der Strahlungsintensitäten der vermessenen Emissionslinien kann mit hoher Genauigkeit auf die Temperatur in diesem Höhenbereich geschlossen werden. Das DLR-DFD trägt mit seinen eigenen Instrumenten zum NDMC bei. Es betreibt das Infrarot-Spektrometer GRIPS

(Ground-based Infrared P-branch Spectrometer), das derzeit eines der am weitesten entwickelten OH-Instrumente darstellt. Gegenwärtig sind GRIPS-Geräte jeweils in der UFS seit Oktober 2009 und beim DLR in Oberpfaffenhofen seit Januar 2009 routinemäßig in Betrieb. Die Messungen sind in naher Echtzeit über die NDMC-Webseite abrufbar.

Qualitätssicherung in NDMC

- Network Intercomparison -

Zur Einrichtung einer einheitlichen NDMC Datenbasis wird in den nächsten Jahren eine umfassende Qualitätssicherungsstrategie entwickelt. Diese beinhaltet die Entwicklung von Standardprozeduren zur Messung und Auswertung der Daten sowie regelmäßige Vergleichsmessungen der NDMC Messinstrumente über verschiedene Methoden:

- Beobachtung identischer Gesichtsfelder mit verschiedenen Instrumenten
- Verwendung eines mobilen Referenzgerätes
- Verwendung eines Satelliteninstrumentes als Transferstandard.

Optimale Resultate werden durch eine Kombination dieser Methoden erreicht. Ein Beispiel aktueller Arbeiten zu Vergleichsmessungen der GRIPS-Instrumente ist in Abb. 4 gezeigt.

Nächste Schritte der netzwerkweiten ‚Intercomparison‘-Aktivitäten sind die Entwicklung eines operationellen Services für den Vergleich der NDMC Daten mit geeigneten Satellitendaten unter Verwendung definierter Koinzidenzkriterien sowie die Einrichtung eines mobilen Referenzgeräts geplant.

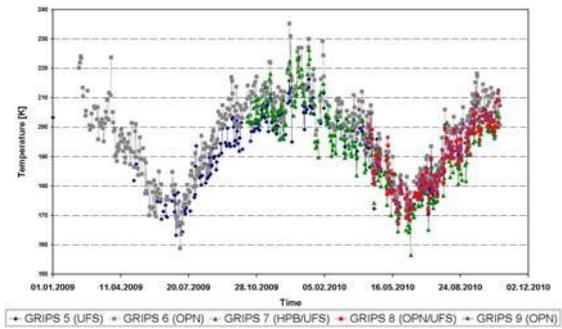


Abb.4: Temperaturmessungen der Mesopausenregion der verschiedenen GRIPS-Instrumente, die an den deutschen NDMC-Stationen Oberpfaffenhofen (OPN), Schneefernerhaus (UFS) und Hohenpeissenberg (HPB) permanent bzw. temporär stationiert sind.

PERSISTENTE ORGANISCHE STOFFE IN ALPINEM QUELLWASSER

KARL-WERNER SCHRAMM^{1,2}, NORBERT FISCHER¹, BERND HENKELMANN¹

¹HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN - GERMAN RESEARCH CENTER FOR ENVIRONMENTAL HEALTH (GMBH),
INSTITUTE OF ECOLOGICAL CHEMISTRY, INGOLSTÄDTER LANDSTR.1,

85764 NEUHERBERG, GERMANY

²TUM, WISSENSCHAFTSZENTRUM WEIHENSTEPHAN FÜR ERNÄHRUNG UND LANDNUTZUNG, DEPARTMENT FÜR
BIOWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN, WEIHENSTEPHANER STEIG 23, 85350 FREISING, GERMANY

SCHRAMM@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE, SCHRAMM@WZW.TUM.DE

Die Belastung hochalpiner Quellwässer mit persistenten organischen Schadstoffen (POP) ist weitestgehend unbekannt. Hinzu kommt die durch den Klimawandel eingeleitete Abschmelzung der Gletscher und auch der hochalpinen Permafrostbereiche der inneren geologischen Formationen.

Ziel der Untersuchungen ist die Erfassung der POP in Quell- und Schmelzwässern im Ultraspurenbereich (Tondeur & Hart, 2009).

Dazu wurde eine spezielle Probenahmeeinrichtung entwickelt und validiert, die es erlaubt, Wässer integrativ über längere Zeiträume von bis zu 6 Monaten mit Volumina bis zu 100 m³ zu beproben (Schramm et al., 2009).

Die Zugspitze mit den angeschlossenen Tunnelsystem am Schneefernerhaus wurde hier als geeignet identifiziert und eine Messstelle an der Grenzfläche zwischen Permafrost und Niederschlagspenetration etabliert, die ganzjährig beprobt werden kann. Die gefundenen Konzentrationsmuster der untersuchten POP bestätigen deren Ferntransport und auch, dass diese Stoffe durchaus durch das anstehende Gestein bis zu 100 m transportiert worden sind. Probenahmestationen im Randbereich des an der UFS vorhandenen Permafrosteiskörpers geben erstmals Einblick in die Interaktion zwischen perkolierendem Wasser und geschmolzenem Eis aus dem hochalpinen Permafrostkörper.

Einleitung

Pleistozäne Permafrostbereiche schmelzen in Folge des Klimawandels und vermischen sich an der Grenzfläche zur Niederschlagspenetration durch das Anstehende mit den damit oberflächlich eher rezent deponierten POP anthropogener Herkunft. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Permafrostschmelzwässer nur geringfügig oder gar nicht – wie z. B. im Falle von DDT – mit POP belastet sind, da auch die geringere Diffusivität im Eis eine weitreichende Kontamination dieser Bereiche voraussichtlich unterdrückt. Dazu gibt es jedoch bislang keine Untersuchungen.

Gletscher hingegen weisen auch jüngere Depositionsschichten der früheren Folgen der Industrialisierung auf, die eine durchaus höhere Belastung einiger POP aufweisen können, die beim Abschmelzen dann freigesetzt werden können. So ist bekannt, dass die PCB etwa ein Maximum in datierten Sedimenten und anderen Matrices in der Mitte der siebziger Jahre aufweisen, die PCDD/F Mitte der achtziger Jahre peaken und z. B. DDT in den sechziger Jahren erhebliche höhere Anwendung erfuhr. Soweit nun derartige Bereiche abschmelzen sind massive Remobilisierungen derartiger Schadstoffe zu erwarten und z.T. bereits nachgewiesen (Bogdal et al., 2009). Im bayerischen Alpenraum ist dieses Phänomen jedoch mangels geeigneter Gletscher, bzw. Zugänglichkeit zu deren Schmelzwässern experimentell bislang nicht zu beschreiben.

Der Permafrostkörper im Bereich der Zugspitze ist jedoch insbesondere geeignet, langfristige Studien zur Schmelz- und Sickerwasserqualität

durchzuführen, da der Quellwasseraustritt in einem ganzjährig zugänglichen Tunnelsystem gefasst werden konnte und nun zur Daueruntersuchung bereit steht.

Ergebnisse und Diskussion

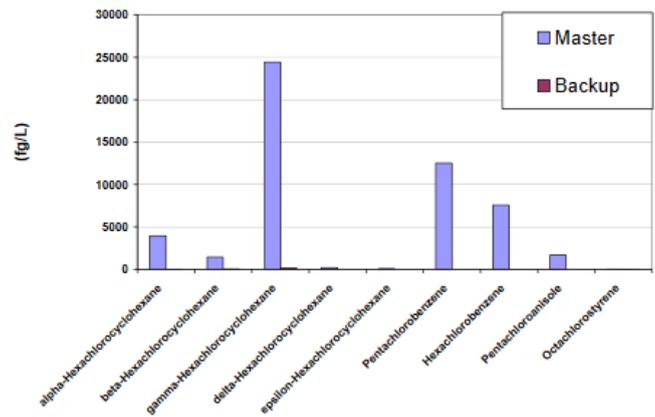
Die Analyse hochalpiner Quellwässer im Kontext mit der durch den Klimawandel eingeleiteten Dynamik der Schmelzvorgänge steht im Fokus der Untersuchungen.

Zunächst wurde ein dementsprechender zentraler Probenahmestandort identifiziert und geeignete Sammelsysteme für großvolumige Proben bis ca. 100m³ potentielle Probenmengen entwickelt und validiert. Die entsprechenden Probenahmen sind langfristig integrativ konzipiert und werden voraussichtlich alle drei Monate durchgeführt, so dass eine kontinuierliche Zeitreihe mit Bezug zu jahreszeitlichen Aspekten avisiert wird.

Das Quellwasser wurde mittels ³H Isotopenanalytik auf dessen Ursprung im Hinblick auf den Permafrostkörper untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die ³H-Konzentrationen in einem Bereich liegen, der die aktuelle Situation widerspiegelt und zugleich auch der Situation vor den oberirdischen Kernwaffenversuchen entspricht, so dass das Quellwasser zunächst nicht dem Eis aus dem Permafrostbereich zugeordnet werden kann.

Zugleich ist das Vorhandensein anthropogener Pestizide, die u.a. auch in der europäischen Wasserrichtlinie geregelt sind (WFD 2000), im Quellwasser ein Indiz, dass es sich vorwiegend um das Perkolat rezenter Deposition handelt.

Weiterhin weisen die $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ -Werte des Quellwassers auf Deposition im Herbst, nämlich dem Zeitraum der Probenahme, im Sept./Okt. 2009 hin. Dieses deutet wiederum auf eine schnelle Passage des Quellwassers durch das Anstehende hin.



Die Ergebnisse der Hexachlorzyklohexane sind beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt. Hier reflektiert die hohe Konzentration des gamma-Konformers die ausgeprägte Anwendung in Europa, aber auch die alpha- und beta-Konformere als Verunreinigungen und als Transformationsprodukte des gamma-Konformers durch Prozesse in der Umwelt sind eindeutig vorhanden. Dennoch liegen die Konzentrationen weit unter den in der deutschen Trinkwasserverordnung niedergelegten Grenzwerten. Die in Abbildung 1 dargestellte Gruppe der chloresubstituierten Chlorbenzenderivate zeigt deutlich die Abhängigkeit der Konzentration von deren Wasserlöslichkeit und damit dem potentiellen Vorkommen im Kompartiment Wasser. Die extrem geringen Befunde in der Backup-Kartusche belegen die quantitative Eigenschaft der Probenahme.

Literatur

Bogdal, C., Schmid, P., Zennegg, M., Ansellmetti, F. S., Scheringer, M. und Hungerbühler, K.: ES&T, 43, 8033, 2009.

Schramm, K.-W., Fischer, N. und Henkelmann, B.: Organohalogen Compounds 71: 724

Tondeur, Y, Hart, J. TRAC 2009; 28, 1137

WFD: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, OJL 327, 22 December 2000, pp. 1-73, 2009.

SATVAL-A: ETABLIERUNG EINER NATIONALEN KONTAKTSTELLE ZUR KOORDINATION VON VALIDIERUNGSAKTIVITÄTEN FÜR SATELLITENBASIERTE MESSUNGEN IN DER ATMOSPHÄRE ALS ELEMENT DES ZENTRUMS FÜR HÖHEN- UND KLIMAFORSCHUNG SCHNEEFERNERHAUS

ENTWICKLUNG NEUARTIGER VALIDATIONSANSÄTZE: EINFLUSS DES NATÜRLICHEN
ATMOSPHÄRISCHEN RAUSCHENS AUF VALIDATIONSMESSUNGEN

VERENA KOPP, SABINE WÜST, MICHAEL BITTNER

DLROBERPFAFFENHOFEN, SABINE.WUEST@DLR.DE

Satellitenbasierte Messungen liefern einen signifikanten Beitrag zur Beobachtung der Atmosphäre. Die Qualitätssicherung dieser Daten ist wesentlich, um Messungen und darauf aufbauende wissenschaftliche Ergebnisse zu interpretieren. Da allgemein Defizite zwischen der zugesicherten Genauigkeit und den Anforderungen der Nutzer bestehen, ist die Entwicklung neuartiger Validationsansätze von großer Bedeutung, um genauere Validationsergebnisse zu erhalten.

Validation basiert in der Regel auf einem einfachen Vergleich von satellitenbasierten Daten mit entsprechenden meist bodengebundenen Messungen. Aus praktischen Gründen kommt es dabei zu kleineren räumlichen und zeitlichen Abweichungen zwischen Satelliten- und Vergleichsmessungen (so genannte **mistime** und **misdistance**).

Da dynamische Prozesse in der Atmosphäre zu zeitlicher und räumlicher Variabilität der atmosphärischen Parameter, wie z. B. Temperatur und Ozon, führen, entstehen schon hierdurch Differenzen zwischen den Messungen, sogenannte Mistime- und Misdistance-Fehler, die zusammengefasst als Mismatch-Fehler bezeichnet werden. Diese Differenzen sollten nicht als Anzeichen eines fehlerhaften Satelliteninstruments interpretiert werden. Zusätzlich entstehen aufgrund unterschiedlicher Messgeometrie der Instrumente Abweichungen zwischen den Messungen (Misintegration-Fehler).

Im Rahmen des Projektes SatVal-A wird dieser Einfluss der natürlichen atmosphärischen Variabilität analysiert und quantifiziert.

Allgemein wird dazu der Mismatch-Fehler als Mittelwert aller Differenzen, die für einen bestimmten Mismatch auftreten, bestimmt. Grundlage für diese Berechnungen sind ERA-40-Temperaturdaten über einen Zeitraum von 24 Jahren (Reanalyse atmosphärischer Variablen), ergänzt durch Satelliten- und Radiosondenmessungen.

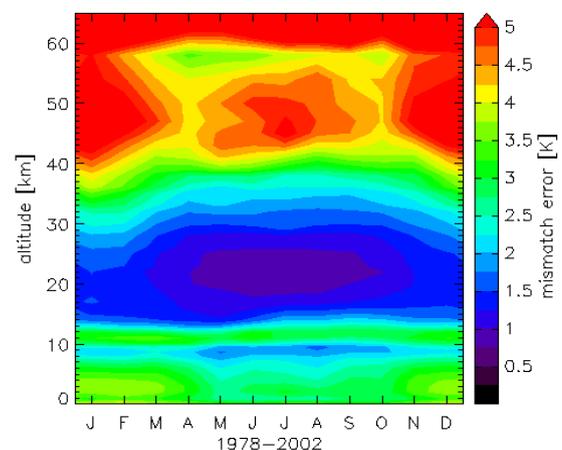


Abb.1: Mismatch-Fehler in der Temperatur im Bereich der UFS (47.4°N, 11.0°E) für 6h Mistime und 375km Misdistance basierend auf ERA-40 Daten. Ruhige Schichten sind in etwa 9 und 20 km Höhe zu sehen.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für den **Mismatch-Fehler** im Bereich der UFS (Monatsmittelwerte über die Jahre 1979 bis 2002 gemittelt). Deutlich werden die Variationen des Mismatch-Fehlers in Abhängigkeit von Höhe und Jahreszeit. Entsprechend des Auftretens und der Stärke dynamischer Prozesse, z. B. planetare Wellen und Schwerewellen, ist der Einfluss der

natürlichen Variabilität allgemein in der unteren Stratosphäre und in den Sommermonaten geringer und steigt mit größerer Höhe und im Winter an.

Dennoch sind Regionen erkennbar, die durch generell geringere Variabilität gekennzeichnet sind. In diesen sogenannten ‚Ruhigen Schichten‘ wird der Vergleich von Messungen erheblich weniger durch dynamische Einflüsse gestört, und Abweichungen zwischen Satelliten- und bodengebundener Messung sind höchstwahrscheinlich auf Fehler der Instrumente oder der Auswertalgorithmen zurückzuführen. Daher bieten Ruhige Schichten die Möglichkeit genauerer Validationsergebnisse.

Ein anderer Aspekt bei der Validierung ist die Wahl angemessener **Koinzidenzkriterien**, die die maximal erlaubten Mistime- und Misdistance-Werte zwischen einem Messpaar angeben. Es muss ein Kompromiss zwischen akzeptabler Störung durch natürliche Variabilität und einer statistisch ausreichend großen Anzahl von Paaren gefunden werden. Der allgemein bestimmte Mismatch-Fehler kann hierfür als Entscheidungsgrundlage dienen. Abbildung 2 stellt die Entwicklung des Mismatch-Fehlers in Abhängigkeit von Mistime und Misdistance dar. In diesem Beispiel wird zwischen Misdistance in zonaler und meridionaler Richtung unterschieden.

Eine andere Darstellung dieser Ergebnisse ist in

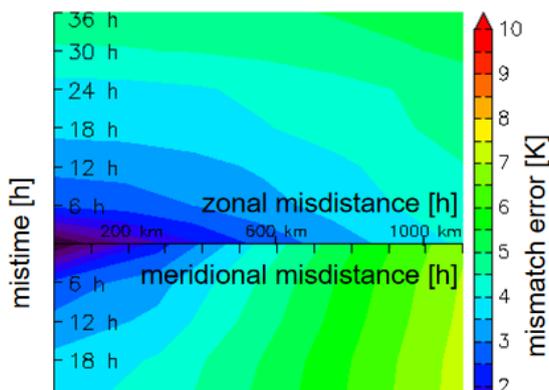


Abb.2: Mismatch-Fehler in der Temperatur bzgl. der Koordinaten der UFS für verschiedene Kombinationen von Mistime und Misdistance in zonaler (oben) und meridionaler Richtung (unten) für Januar gemittelt über 8 bis 65 km Höhe basierend auf ERA-40.

Abbildung 3 zu sehen. Die Karte zeigt den Misdistance-Fehler bzgl. der UFS als Referenzpunkt. Deutlich hervorgehoben ist der Effekt des variierenden Misdistance-Fehlers in unterschiedlicher horizontaler Richtung. Mit Hilfe dieser Informationen ist der allgemein resultierende Mismatch-Fehler für festgelegte Koinzidenzkriterien im Vorhinein bekannt. Zudem wird die Wahl des geeigneten Verhältnisses zwischen Mistime und Misdistance in zonaler und meridionaler Richtung erleichtert.

Die vorgestellten Arbeiten finden im Rahmen des **Projektes SatVal-A** statt. SatVal-A wird unter dem Dach der Betriebsgesellschaft Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (BG UFS GmbH) in enger Kooperation mit DLR und KIT durchgeführt. Es wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie durch die Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. unter dem Förderkennzeichen 50 EE 07020 gefördert

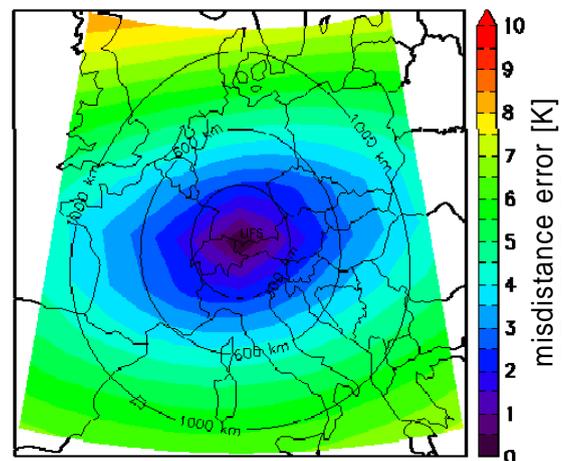


Abb.3: Misdistance-Fehler bzgl. der Koordinaten der UFS in der Temperatur für Januar gemittelt über 8 bis 65 km Höhe basierend auf ERA-40.

SATVAL-A: ETABLIERUNG EINER NATIONALEN KONTAKTSTELLE ZUR KOORDINATION VON VALIDIERUNGSAKTIVITÄTEN FÜR SATELLITENBASIERTE MES- SUNGEN IN DER ATMOSPHÄRE ALS ELEMENT DES ZENTRUMS FÜR HÖHEN- UND KLIMAFORSCHUNG SCHNEEFERNERHAUS - ENTWICKLUNG EINES GESCHÄFTSMODELLS -

*SABINE HAASE-STRAUB, SABINE WÜST, MICHAEL BITTNER
DLR OBERPFAFFENHOFEN, SABINE.WUEST@DLR.DE*

Atmosphärendaten, die von Satelliten aus gemessen werden, finden bei vielfältigen Aufgaben in Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft Einsatz. Verglichen mit Daten anderer Messplattformen bieten sie den Vorteil einer globalen Abdeckung bei homogener Qualität. Die möglichst genaue Kenntnis der Präzision satellitenbasierter Messungen in der Atmosphäre (Validation) ist aber in jedem Fall von grundlegender und entscheidender Bedeutung: mit ihr steht und fällt der Nutzen und die Akzeptanz der Daten sowie der daraus abgeleiteten Informationsprodukte (Abb. 1).

Projektziele

Gegenstand des Projektes SatVal-A ist die Erarbeitung eines sich selbst tragenden Konzeptes für die Einrichtung einer nationalen Kontaktstelle in der UFS mit dem Ziel Validierungsaktivitäten bei satellitenbasierten Messungen in der Atmosphäre zu koordinieren.

Das Projekt umfasst u.a.:

- die Erhebung des gegenwärtigen sowie künftig zu erwartenden Daten- und Informationsbedarfs vornehmlich der operativen Nutzer. Ein Schwerpunkt liegt hier auf GMES und GEOSS;
- die Analyse vorhandener Validationskonzepte und die Identifikation enthaltener Lücken sowie genereller Defizite;
- die Erarbeitung von neuen Validationsansätzen. Die Ergebnisse sollen auch Impulse für die Industrie hinsichtlich der Entwicklung neuartiger Instrumentierungen geben.

Die Ergebnisse werden in einem entsprechenden Konzept zusammengefasst. Durch Serviceleistungen und eigenständige Forschung im Bereich der Entwicklung neuer Validationsansätze soll die Kontaktstelle später ihre Expertise für die Qualitätssicherung zur Verfügung stellen, die dem uneingeschränkten Einsatz von Produkten aus satellitenbasierten Messungen für den wissenschaftlichen, administrativen und kommerziellen Bereich dient.

Aufgrund der national und international hervorragenden Vernetzung der UFS und der wissenschaftlichen Interdisziplinarität des Betreiberkonsortiums eignet sich die UFS besonders als Sitz für eine solche Kontaktstelle.

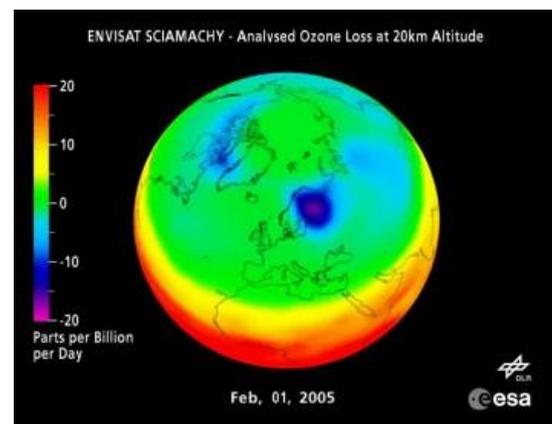


Abb.1: Ozonabbau in 20km Höhe

Ausgewählte Ergebnisse

Als Basis für das selbsttragende Konzept wird eine ausführliche Bestandsaufnahme aller aktuellen und geplanten Atmosphärenmissionen, (Tabelle 1) der satellitenbasierten Atmosphärendaten und -produkte einiger ausgewählter aber repräsentativer Projekte / Initiativen (PROMOTE, GEMS, TEMIS und ENVISO-LAR,

dem „Climate Monitoring SAF“ und dem WDC-RSAT) sowie ihrer Validierung vorgenommen. Hiermit sind fast alle europäischen Forschungseinrichtungen sowie satellitenbasierte Beobachtungen und Modellierung von Treibhausgasen, Ozonschicht und Luftqualität, auf globaler und auf regionaler Ebene, erfasst.

Für die Beschreibung der Validation, also der Qualitätssicherung der jeweiligen Daten und Informationsprodukte, wurde die Qualitätssicherung der eingesetzten Modelle, der Assimilations- und Retrievalverfahren, des Validationsvorgehens und der Validationsdaten (z. B. Bodendaten, andere in-situ Daten, Modellergebnisse und andere Satellitendaten) erhoben. Politische Markteinflüsse auf die Geschäftsidee wurde eingehend unter Berücksichtigung wichtiger Mitbewerber und Konkurrenztechnologien auf dem Gebiet der Validation satellitenbasierter Atmosphären-daten analysiert. Europäische Organisationen, Arbeitsgruppen (z. B. die CEOS „Working Group on Calibration and Validation“) und Experten auf dem Gebiet der Validation werden abgebildet.

Anforderungs- und Bedarfsanalysen zu aktuellen und zukünftigen Daten und Informationsprodukten für den operativen Nutzer - mit Schwerpunkt auf GMES und GEOSS – stehen z.T. bereits in umfassenden Umfragen und Untersuchungen zur Verfügung. Für das Projekt PROMOTE wurde zusätzlich

eine Gegenüberstellung von Anwendungsgebieten (z. B. Montreal Protokoll) und benötigten satellitenbasierten Datenprodukten mit Zuordnung zu den Kategorien „stratosphärische Ozonabbau“, „bodennahe UV-Strahlung“ und „Luftqualität“ sowie zu den Themen „Klimawandel“, „Treibhausgase“ und „Aerosole“ aufgeschlüsselt für die Bereiche Wissenschaft, Administration und Industrie, erstellt.

Auch für die **Analyse der Defizite** in Bezug auf satellitenbasierte Atmosphären-daten stehen umfassende Studien zur Verfügung (z. B. WMO GOS-2009 Dossier „The space-based global observing system in 2009“ mit globalem Fokus, und europäische Studien zu der zukünftigen Weltrauminfrastruktur, also Sentinels). Für das vorliegende Projekt wurde zusätzlich der abgefragte Nutzerbedarf in Abgleich mit den erreichten Validationsergebnissen für die PROMOTE Services gebracht. Diese Defizite weisen auf potentielle Geschäftsfelder hin und werden im zu erarbeitenden Konzept aufgezeigt kategorisiert nach Aktivitäten wie Validierungsunterstützung und -durchführung, Bereitstellung von Hilfsmitteln, einschlägige Ausbildungsangebote u. v. m..

Das **Projekt SatVal-A** wird unter dem Dach der Betriebsgesellschaft Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (BG UFS GmbH) in enger Kooperation mit DLR und KIT durchgeführt. Es

Tab. 1: Ausschnitt aus der Bestandaufnahme aller gegenwärtigen und geplanten Atmosphärenemissionen

| Hauptkategorie | | Orbit | Programm | Satellit | Zielsetzung | Satelliten-start | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | | |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------|------------|-------------|------------------|------------|------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| EUMETSAT | Meteosat 1st Gen. | | | | | | METEOSAT-5 | | 20.11.1993 | | 93 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | METEOSAT-7 | | 03.08.1997 | | 97 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Meteosat 2nd Generation | MSG-1 (METEOSAT-8) | | 28.08.2002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | MSG-2 (METEOSAT-9) | | 21.12.2005 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MSG-3 (METEOSAT-10) | | | 31.01.2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MSG-4 (METEOSAT-11) | | | 31.01.2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Meteosat 3rd Generation (Imaging) | MTG-1 | | 15.12.2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MTG-2 | | 15.06.2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MTG-3 | | 15.01.2025 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MTG-4 | | 15.06.2029 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | EUMETSAT Polar System (EPS) | MetOp-A (MetOp-2) | | 19.10.2006 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MetOp-B (MetOp-1) | | 02.04.2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MetOp-C (MetOp-3) | | 02.04.2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie durch die Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. unter dem Förderkennzeichen 50 EE 07020 gefördert.

KOSMISCHE STRAHLUNG

WERNER RÜHM, ULRICH ACKERMANN, GERHARD DONTH, CONSTANZE HELBIG, TOMASZ MACZKA,
VLADIMIR MARES, HERWIG PARETZKE, CHRISTIAN PIOCH, SEBASTIAN TRINKL, ERWIN WEITZENEGGER,
MAREK WIELUNSKI

INSTITUT FÜR STRAHLENSCHUTZ, HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN;

WERNER.RUEHM@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE

Im Berichtszeitraum 2009 und 2010 lieferten die beiden vom Institut für Strahlenschutz betriebenen Bonner Vielkugelspektrometer (Bonner Sphere Spectrometers - BSSs) kontinuierlich Daten. Das erste BSS-System steht auf der Messterrasse der UFS, das zweite auf Spitzbergen auf der Koldewey Station des Alfred-Wegener-Instituts (AWI). Die Koldewey Station ist Teil der deutsch-französischen arktischen Forschungsstation AWIPEV, die in Kooperation zwischen dem deutschen AWI und dem französischen Polar-Institut Paul Emile Victor (IPEV) betrieben wird. Sie befindet sich in Ny-Ålesund auf Meeressniveau und ist etwa 800 km vom Nordpol entfernt. Beide BSS Spektrometer erlauben es, die Energieverteilung der sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung zu messen. Zusätzlich werden auf der UFS einige sogenannte REM-Counter betrieben, die die Dosisleistung durch die sekundären Neutronen der kosmischen Strahlung aufzeichnen. Es wurde eine erste Auswertung und ein quantitativer Vergleich der Neutronen-Energieverteilungen, die auf beiden Mess-Stationen gemessen wurden, durchgeführt. Die Ergebnisse werden hier kurz zusammengefasst und können im Detail in zwei Veröffentlichungen nachgelesen werden (Rühm et al., 2009a, Rühm et al., 2009b).

Vergleich der Neutronen-Energieverteilungen auf der UFS und der Koldewey Station
Die auf der UFS und der Koldewey Station installierten BSS Systeme sind sehr ähnlich. Sie bestehen aus 15 mit ^3He Gas gefüllten

Proportionalzählern, die sich innerhalb von unterschiedlich großen Kugeln aus Polyethylen (PE) 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 die thermalisierten Neutronen über die Reaktion $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$ nachgewiesen. Jeweils zwei weitere PE-Kugeln (Durchmesser: 9 Inch) enthalten zudem Bleischalen, um das Ansprechvermögen der Spektrometer für hochenergetische Neutronen mit Energien oberhalb 10 MeV zu erhöhen. Jeweils ein Proportionalzähler wird schließlich ohne jegliche PE-Abschirmung betrieben, um thermalisierte Neutronen nachzuweisen (Abb. 1).

Die Detektorsignale werden verstärkt, digitalisiert und schließlich mit einem Computer analysiert. Die gewonnenen Pulshöhen-Spektren werden gespeichert, und die Zählraten der einzelnen Detektoren durch Integration über einen ausgewählten Energiebereich bestimmt, der vorher für jeden Detektor unter Verwendung einer Am/Be-Neutronen-Kalibrierquelle definiert wurde. Die BSS-Daten werden auf der UFS jede Stunde, auf der Koldewey Station alle 5 Minuten gespeichert (Abb. 2).

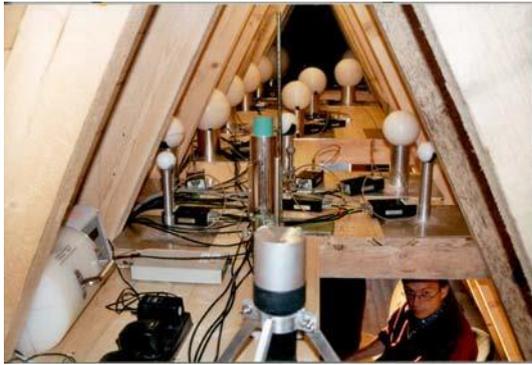


Abb.1: Bonner Vielkugelspektrometer auf der UFS.



Abb.2: Links sind einige der Kugeln des Bonner Vielkugelspektrometers im Fenster der Koldewey Station zu sehen (Bild: R. Vockenroth, AWI).

Um die Abschirmung der kosmischen Strahlung durch die Erdatmosphäre zu berücksichtigen, müssen die Zählraten der BSS-Detektoren auf Änderungen des Luftdrucks korrigiert werden. Dies geschieht mittels Gleichung 1:

$$N_{cor} = N \cdot e^{[-\beta(p_0 - p)]}$$

dabei ist N die bei einem Luftdruck p gemessene Zählrate eines Detektors, und N_{cor} ist die auf einen Referenzdruck p_0 korrigierte Zählrate. Für den barometrischen Koeffizient β wird für die UFS ein Wert von 0.721 % pro hPa (Röhrs, 1995), für den an der Koldewey Station gemessenen ein Wert von 0.741 % pro hPa verwendet (Vashenyuk E, Polar Scientific Center, Apatity, Russia (2008), private Mitteilung).

Die normierten Zählraten werden dann für jedes BSS-System unter Verwendung der simulierten Ansprechvermögen der einzelnen

Bonner Kugeln mit dem Programm MSANDB entfaltet (Matzke 1987), das eine modifizierte Version des Programms SAND (McElroy et al., 1967) darstellt, entfaltet und so die entsprechenden Neutronenspektren berechnet. Das dazu nötige Ansprechvermögen der Bonner Kugeln als Funktion der Neutronenenergie wurde für Energien unterhalb von 20 MeV mit dem Programm MCNP, das für Energien oberhalb 20 MeV mit einer Kombination der Programme MCNPH und LAHET berechnet (Mares et al., 1991; Mares et al., 1998).

Da die UFS mit 2650 m viel höher gelegen ist als die auf Meeresebene gelegene Koldewey Station, ist bei der Koldewey Station die Abschirmung der kosmischen Strahlung durch die Atmosphäre viel weniger ausgeprägt. Daher betrug der mittlere Luftdruck auf der UFS im Januar und Februar 2008 nur 735.8 hPa, während er auf der Koldewey Station im selben Zeitraum 999.7 hPa betrug. Unter Verwendung von Gl. 1 lässt sich nun ein Korrekturfaktor von $\exp(-0.00721 \times (735.8 - 999.7)) = 6.7$ abschätzen, um den die Intensität der Neutronen auf der Koldewey Station geringer ist als auf der UFS. Daher wurde in Abb. 2 das Neutronenspektrum, das für diesen Zeitraum auf der Koldewey Station gemessen wurde, mit diesem Faktor multipliziert, um es mit dem auf der UFS gemessenen Neutronenspektrum, das ebenfalls in Abb. 3 gezeigt ist, vergleichen zu können. In dieser Abbildung sind die Daten in der sogenannten Lethargiedarstellung gezeigt – gleiche Flächen unterhalb der Kurve entsprechen dabei im entsprechenden Energieintervall einer gleichen Neutronenintensität. Die wesentlichen Komponenten des Spektrums sind a) ein Maximum von thermalisierten Neutronen im Energieintervall zwischen etwa 20 und 40 meV, b) ein zweites Maximum bei etwa 1-2 MeV, das von Verdampfungsneutronen, die von angeregten Kernen in der Umgebung emittiert werden, herrührt, und c) ein drittes Maximum bei etwa 100 MeV, das daher rührt,

dass die Wechselwirkungsquerschnitte von Neutronen in Luft bei diesen Energien ein breites Minimum aufweisen.

Abbildung 3 zeigt, dass die beiden Neutronenspektren der Form nach sehr ähnlich sind. Für eine quantitativere Diskussion der Kurven muss man beachten, dass Umweltparameter wie zum Beispiel die Schneehöhe in der Umgebung die Form der Spektren insbesondere im Energiebereich unter 20 MeV beeinflussen können. Daher wurde für die weitere Auswertung der Energiebereich oberhalb 20 MeV verwendet. In diesem Bereich finden sich im UFS-Spektrum insgesamt $3.3 \times 10^{-2} \text{ n / (cm}^2 \text{ s)}$ (bei einem Referenzdruck von 735.8 hPa). Verglichen damit weist das Koldewey- Spektrum in Abb. 2 nur $6.0 \times 10^{-3} \text{ n / (cm}^2 \text{ s)}$ (bei einem Referenzdruck von 999.7 hPa) auf. Der Unterschied – ein Faktor 5,5 – entspricht in etwa dem Faktor 6,7, den man unter Verwendung von Gl. 1 auf Grund der unterschiedlichen Höhe beider Stationen zu erwarten ist. Die unterschiedliche geomagnetische Abschirmung bei beiden Orten, die bei Verwendung von Gl. 1 nicht berücksichtigt wurde, könnte einen Teil des Unterschieds zwischen den Faktoren 6,7 und 5,5 erklären.

Literatur

Mares, V., Schraube, G. und Schraube, H.: Calculated neutron response of a Bonner sphere spectrometer with ³He counter. Nucl Instrum Meth A307, 398-412, 2009.

Mares, V., Sannikov, A., Schraube, H.: The response functions of a ³He-Bonner spectrometer and their experimental verification in high energy neutron fields. In Proc. Third Specialist Meeting on shielding aspects of accelerators, targets and irradiation facilities (SA-TIF 3), May 12-13, 1997, Sendai, Japan, OECD Nuclear Energy Agency, 237-248, 1998.

Matzke M: Private communication, later integrated into the Neutron Metrology File NMF-90, available from NEA Databank (www.nea.fr/abs/html/iaea1279.html), 1987.

McElroy, W. N., Berg, S., Crockett, T. und Hawkins, R. G.: Spectra Unfolding“ Vol. I-IV, Report AFWL-TR-67-41, 1967.

Röhrs, K.: The neutron monitor at Kiel (Germany) operated by the Extraterrestrial Physics Department of the Institute for Experimental and Applied Physics of the Christian-Albrechts University of Kiel, 1995.

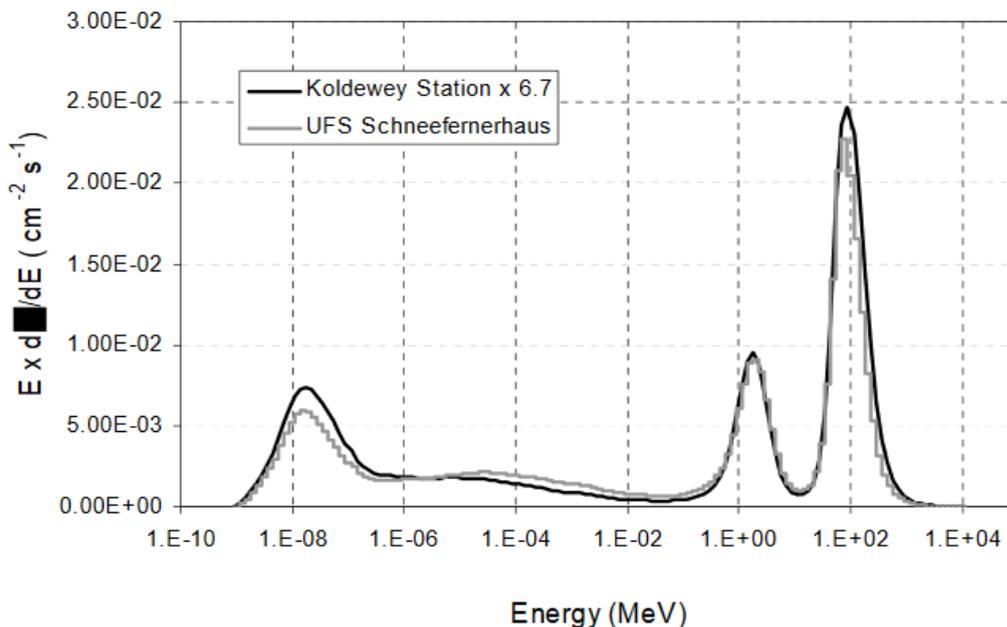


Abb. 3: Auf der UFS und der Koldewey Station in den Monaten Januar und Februar 2008 gemessene Neutronenspektren.

Rühm, W., Mares, V., Pioch, C., Weitzenegger, E., Vockenroth, R. und Paretzke, H. G.: Measurements of Secondary Neutrons from Cosmic Radiation with a Bonner Sphere Spectrometer at 79°N. *Radiat Environ Biophys* 48,125-133, 2009a.

Rühm, W., Mares, V., Pioch, C., Simmer, G. und Weitzenegger, E: Continuous measurement of secondary neutrons from cosmic radiation at mountain altitudes and close to the North Pole-A Discussion in terms of $H^*(10)$. *Radiat Prot Dosim* 136, 256-261, 2009b

ANALYSE DER EMISSIONEN DES EYJAFJALLAJÖKULL-AUSBRUCHS AM STANDORT SCHNEEFERNERHAUS

*STEFAN GILGE, HARALD FLENTJE, CHRISTIAN PLASS-DÜLMER, WERNER THOMAS, WOLFGANG FRICKE
DWD, METEOROLOGISCHES OBSERVATORIUM HOHENPEIßENBERG, 82383 HOHENPEIßENBERG
STEFAN.GILGE@DWD.DE.*

Mehrere massive Ausbrüche des Vulkans Eyjafjallajökull an der Südküste Islands im April und Mai 2010 transportierten große Mengen an Asche, Partikeln und Schwefeldioxid (SO₂) nach Mitteleuropa. Am Schneefernerhaus (UFS) wurden stark erhöhte Konzentrationen von SO₂ und während der ersten Phase auch erhöhte Partikelkonzentrationen über mehrere Tage hinweg beobachtet. Die gemessenen SO₂-Werte lagen deutlich über den langjährigen Mittelwerten für April und Mai der Messungen der Jahre 2000-2007.

1. Phase April 2010: Synopsis

Zu Beginn der ersten Ausbruchphase vom 15. April bis 25. April wurden auf der Vorderseite eines Hochdruckgebietes zwischen Island und den Britischen Inseln innerhalb von 24 Stunden Aschepartikel und Schwefeldioxid nach Mitteleuropa transportiert. Diese erreichten in der Nacht vom 15. April auf 16. April Norddeutschland und drangen im weiteren Verlauf bis nach Süddeutschland und später in den Alpenraum vor. In der Nacht zum 17. April wurde die Aerosolschicht in einer Höhe von 4-6 km über Grund von Lidarmessungen in München erfasst, im Verlauf der Morgenstunden wurden von der Aerosolschicht auch Luftmassen beeinflusst, die am Schneefernerhaus (2650m) vermessen werden konnten.

Schwefeldioxidmessungen

Seit 2000 wird am Schneefernerhaus kontinuierlich die SO₂-Konzentration der Atmosphäre mit einem UV-Fluoreszenzanalysator gemessen. Lokale anthropogene Quellen spielen im Umfeld der Zugspitze eine untergeordnete Rolle und so werden typischerweise sehr niedrige Mischungsverhältnisse von meist unter 0.2 ppb beobachtet. Die SO₂-Mischungsverhältnisse am Schneefernerhaus lagen bis zum Morgen des 17. April wie im langjährigen Median für April bei etwa 0.1 ppb (durchgezogene braune Linie in Abb. 1). Im Laufe des Vormittags des 17.04.2010 stiegen die Konzentrationen stark an. Mit bis zu 3.5 ppb waren es die bis dato höchsten SO₂-Konzentrationen, die jemals im April an der UFS registriert wurden (zur besseren Orientierung sind das 99-Perzentil (braun gestrichelt) und das Maximum (braun gepunktet) der im April 2000-2007 gemessenen Stundenmittelwerte in Abb. 1 eingezeichnet). Die SO₂-Konzentrationen erreichten ihr erstes Maximum in der Nacht zum 18.4., schwächten sich im Laufe des 18.4. ab und stiegen am 19.4. erneut auf ein zweites Maximum am Nachmittag an. Von da an erfolgte ein kontinuierlicher Rückgang auf übliche Werte ab dem Nachmittag des 20.4. Danach blieben die Werte im typischen Bereich.

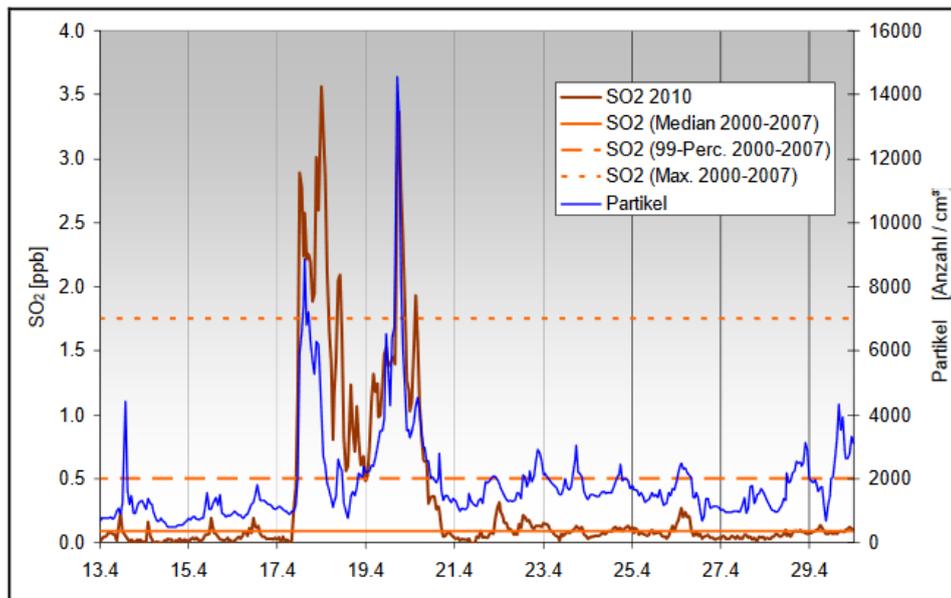


Abb. 1: Zeitreihe der SO_2 -Mischungsverhältnisse (braun) und der Anzahldichte von Partikeln (blau) am Schneefernerhaus für den Zeitraum 13.04. bis 29.04.2010. Die orange gefärbten Linien zeigen den Median (durchgezogen), das 99-Perzentil (unterbrochen) und das Maximum (punktirt) für SO_2 -Konzentrationen im April

Partikelmessungen

Die Partikelanzahlkonzentration wird an der UFS ebenfalls seit dem Jahr 2000 mit einem Kondensationspartikelzähler (CPC) gemessen. Parallel zu den SO_2 -Werten stiegen die gemessenen Partikelzahlen am Morgen des 17. April stark an, sanken mit diesen im späteren Verlauf und am 18. April ab und stiegen erneut zusammen mit den SO_2 -Konzentration am 19. April stark an. Nach dem 20. April lagen die Werte im üblichen Rahmen (Abb. 1). In parallel laufenden Messungen eines „optical particle counters“ (GRIMM-OPC) an der Station Hohenpeißenberg wurden stark erhöhte Partikelkonzentrationen wesentlich für Teilchen zwischen 2 μm und 7,5 μm Durchmesser gefunden.

2. Phase Mai 2010: Synopsis

Die zweite Ausbruchphase des Eyjafjöll begann nach einer Phase der relativen Ruhe am 4. Mai 2010 und dauerte bis etwa zum 25. Mai 2010. Die synoptischen Bedingungen waren in dieser Periode jedoch stark variabel und der Transport nach Mitteleuropa war nur an wenigen Tagen begünstigt. Zwischen dem 5. Mai und dem 13. Mai wurden große Mengen vulkanischen Materials in den Atlantikraum südlich und westlich von Island und teilweise in

die westlichen europäischen Länder (Portugal mit Azoren, Spanien, Westfrankreich, Irland) getragen, im weiteren Verlauf bis in den Mittelmeerraum. Vom 14. bis 16. Mai waren die britischen Inseln und Irland von Aschewolken betroffen. Zwischen einem Tiefdruckgebiet östlich von Island und dem bis zu den britischen Inseln reichenden Azorenhoch und mit Unterstützung eines schnell nahenden Atlantiktiefs gelangten im Verlauf des 17. Mai mit nordwestlicher Strömung schließlich Asche- und Schwefeldioxidwolken erneut nach Mitteleuropa. Satellitenbeobachtungen des Meteosat/SEVIRI- Instrumentes legen nahe, dass sowohl gealterte Emissionen der starken Eruptionen vom 13./14. Mai als auch jüngere Emissionen der darauffolgenden Tage im Verlauf der Nacht vom 17. auf den 18. Mai gemeinsam die Benelux-Staaten, Ostfrankreich und Nordwestdeutschland erreichten. In den Morgenstunden des 18. Mai wurden der westliche Alpenraum, die Schweiz und im Laufe des Tages auch die Po-Ebene erreicht. Angetrieben durch ein Tiefdruckgebiet über Südosteuropa gelangten auf seiner Rückseite die südlich der Alpen gelegenen Vulkanemissionen am 19. Mai erneut mit einer östlichen Strömung in den süddeutschen Raum. Einsetzende

Niederschläge beendeten schließlich diese Phase erhöhter SO_2 - und Partikelkonzentrationen.

Schwefeldioxid und Partikelmessungen

Die SO_2 -Mischungsverhältnisse stiegen am Schneefernerhaus am Morgen des 18. Mai 2010 erneut stark an (Abb. 2) und erstere erreichten mit Spitzenwerten über 6 ppb nochmals deutlich höhere Werte als bereits im April (3,5 ppb). Ein zweiter, schwächer ausgeprägter Anstieg der SO_2 -Werte erfolgte am 19. Mai. Die stark angestiegenen Partikelzahlen am 18. Mai am Schneefernerhaus sind auf lokale Kontamination durch Schneefräsarbeiten zurückzuführen (abruptes Ende zum Dienstschluss um 15:00 Uhr); sie stehen nicht

im Zusammenhang mit den Vulkanemissionen. Weniger stark ausgeprägt, jedoch immer noch deutlich erkennbar, war der Anstieg der SO_2 -Mischungsverhältnisse an der ca. 40 Kilometer entfernten Station Hohenpeißenberg (Abb. 2). Die Partikelzahlen hingegen blieben, wie am 19. Mai bei beiden Messstationen auf üblichem Niveau. Dies dürfte in den z.T. sehr langen Transportwegen der Luftmassen begründet sein, die das Partikelwachstum der kleinen und die Sedimentation der großen Teilchen begünstigt haben. Die gegenüber der ersten Ausbruchphase deutlich gestiegenen SO_2 -Emissionen wurden auch durch Satellitenmessungen (GOME-2, OMI) und Flugzeugmessungen (DLR, Falconflüge) bestätigt.

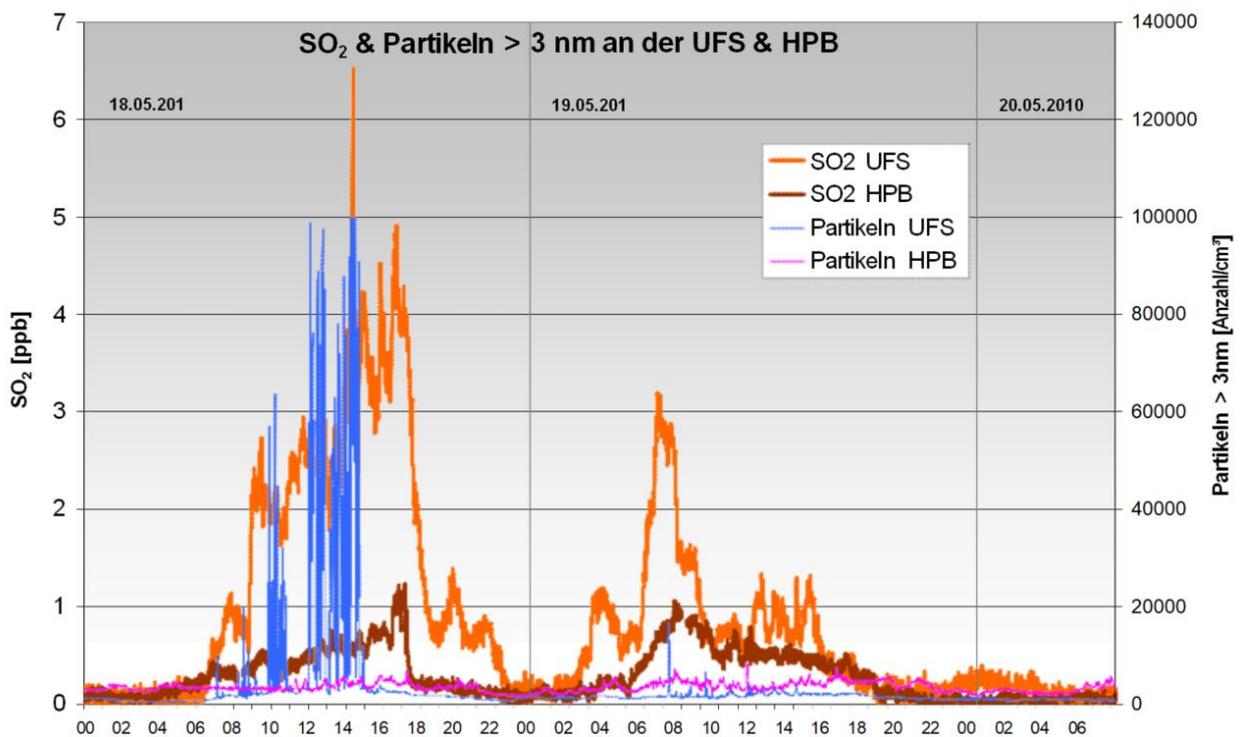


Abb.2: Schwefeldioxid-Mischungsverhältnisse (orange) und Partikelkonzentrationen (blau) am Schneefernerhaus (UFS) und an der Station Hohenpeißenberg (HPB, braun bzw. magenta) im Zeitraum vom 18. Mai bis 20. Mai 2010. Die starke Abnahme der SO_2 -Werte vom 18. auf den 19. Mai an beiden Stationen ist mit großer Wahrscheinlichkeit eine Folge lokaler Niederschläge.

UNTERSUCHUNG DER RAYLEIGH-BRILLOUIN STREUUNG IN DER ATMOSPHERE MIT LASER-FERNERKUNDUNG FÜR ZUKÜNFTIGE SATELLITENMISSIONEN

OLIVER REITEBUCH, CHRISTIAN LEMMERZ, BENJAMIN WITSCHAS

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT, INSTITUT FÜR PHYSIK DER ATMOSPHERE,

OBERPFAFFENHOFEN

OLIVER.REITEBUCH@DLR.DE

Zur Vorbereitung zukünftiger Satellitenmissionen der ESA wurden im Winter 2009 Messungen zur Streuung von Laserlicht in der Atmosphäre durchgeführt. Erstmals konnte damit die Linienform der Rayleigh-Brillouin Streuung in der Atmosphäre mit hoher Genauigkeit vermessen werden, was bislang nur im Labor gelang. Mit diesen Messungen wurde eine Übereinstimmung zu Modellrechnungen von 98% erreicht.

Von der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus UFS führten Wissenschaftler des Instituts für Physik der Atmosphäre des DLR Messungen mit einem Lidar durch. In wenigen Jahren soll dieses Lidar – von *Light Detection and Ranging* – auf einem Satelliten der europäischen Raumfahrtagentur ESA im Rahmen der *Atmospheric Dynamics Mission* ADM-Aeolus fliegen.

Die ADM-Aeolus Mission

Der ADM-Aeolus Satellit wird voraussichtlich 2013 starten und soll die Wettervorhersage und das Verständnis von dynamischen Prozessen in der Atmosphäre verbessern. Die Mission nutzt dabei erstmalig auf einem europäischen Satelliten ein Lidar. Bei dieser Messmethode werden kurze, energiereiche Laserimpulse durch die Atmosphäre geschickt. Hier treffen sie auf Luftmoleküle, Aerosole und Wolkenpartikel. Ein Teleskop sammelt das hierbei zurückgestreute Licht, welches anschließend in einem optischen Empfänger analysiert wird. In der Atmosphäre bewegen sich Teilchen und Moleküle mit Windgeschwindigkeit fort. Wird nun Licht an einem bewegten Teilchen gestreut, verändert sich aufgrund des sogenannten

Doppler-Effekts dessen Frequenz. Damit können Wissenschaftler die Windgeschwindigkeit in der Atmosphäre bestimmen.

Rayleigh-Brillouin Streuung

Die exakte Kenntnis der spektralen Verteilung des gestreuten Lichts – die Linienform – ist wichtig für die Bestimmung der Windgeschwindigkeit bei ADM-Aeolus. Auch die zweite Lidar-Mission der ESA mit Namen EarthCARE benötigt die Linienform zur Bestimmung von Aerosol-Eigenschaften. Ziel der Messungen auf der UFS war es, mit einem extrem frequenzstabilen Laser die physikalischen Eigenschaften der Rayleigh-Brillouin Streuung an Molekülen in der Atmosphäre hochpräzise zu vermessen und das zugrunde liegende theoretische Modell zu validieren. Dieses Modell, das sogenannte Tenti-Modell, wurde bisher lediglich auf seine Gültigkeit in molekularen Gasen in Labormessungen validiert, und erst kürzlich in Luft durch die Universität Amsterdam und das DLR.

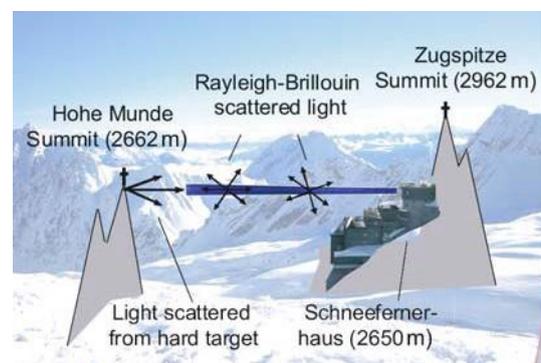


Abb.1: Horizontale Laser-Licht Ausbreitung von der UFS in Richtung Süden zur Untersuchung der Rayleigh-Brillouin Streuung.

Laser-Messung des „Fingerabdrucks“

Der Laserstrahl des ADM-Aeolus Lidar des DLR

wurde dabei horizontal aus einem Labor der UFS in den dort klaren und tiefblauen Himmel ausgesandt (Abb. 1. und 2). Die blaue Himmelsfarbe resultiert aus der Rayleigh Streuung des Sonnenlichts an den Luftmolekülen. Obwohl dieser Effekt schon 1871 von Lord Rayleigh erklärt wurde, ist es bis heute nicht gelungen, die Linienform der Rayleigh- Streuung präzise in der Atmosphäre zu vermessen. Von Labormessungen ist bekannt, dass das Spektrum annähernd einer Gaußkurve folgt aufgrund der thermischen Bewegung der Moleküle. Kleine Abweichungen von der Gaußkurve im Prozentbereich werden durch Streuung an Dichteschwankungen in der Atmosphäre hervorgerufen – dies wird als Brillouin-Streuung bezeichnet. Diese kleine Abweichung von der Gaußkurve kann als „Fingerabdruck“ der Brillouin-Streuung nachgewiesen werden. Diesen „Fingerabdruck“ wollten die Wissenschaftler des DLR mit ihren Laser-Messungen nachweisen, in dem sie die Linienform mit mehr als 200 Punkten im Abstand von nur 20 Femtometern (ein Femtometer entspricht 10^{-15} m) abtasteten.

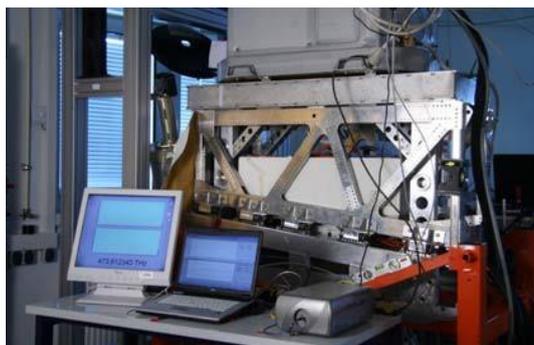


Abb. 2: ADM-Aeolus Lidar des DLR auf der UFS in 2009.

Messungen auf der UFS im Winter 2009

Die Messungen fanden auf der UFS im Winter statt, da die Atmosphärenbedingungen zu dieser Zeit und die Infrastruktur und Labore der UFS ideal geeignet waren. Die Luftschichten in der Höhe der UFS von 2650 m liegen im Winterhalbjahr oberhalb der atmosphärischen Grenzschicht. Daher wird die Messung nicht durch Mie-Streuung an Aerosol-Partikeln gestört. Der Laserstrahl konnte in

horizontaler Richtung ausgesandt werden und damit auf Höhen nahezu konstantem Druck und Temperatur. Dies erlaubt eine Mittelung über große horizontale Längen von mehreren Kilometern. Des Weiteren wird eine Vielzahl atmosphärischer Parameter auf der UFS gemessen wie Temperatur, Druck oder Aerosolgehalt, was die Interpretation der Lidar-Messungen erleichtert.

Übereinstimmung mit Modell besser 98 %

Die Messungen wurden mit dem Tenti-Modell verglichen. Dieses in den 70er Jahren entwickelte Modell führt makroskopische Gaseigenschaften wie beispielsweise die thermische Leitfähigkeit und die Viskosität auf die Bewegung der einzelnen Moleküle zurück. Somit bietet es die Möglichkeit, die Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle und dadurch die spektrale Verteilung des gestreuten Lichts zu berechnen. Die Überprüfung des Modells in Luft war notwendig, da das Modell nur für molekulare Gase mit einem Bestandteil abgeleitet wurde und sich die verschiedenen Moleküle in einem Gasgemisch wie Luft anders verhalten. Die leitende Fragestellung war also, wie gut das Tenti-Modell für in Luft gestreutes Laserlicht verwendet werden kann. Nachdem einige der bisher im Modell benutzten Gastransporteigenschaften auf die Eigenschaften von Luft angepasst waren, ergab sich eine Übereinstimmung von Messung und Modell von besser als 98 % (Abb. 3).

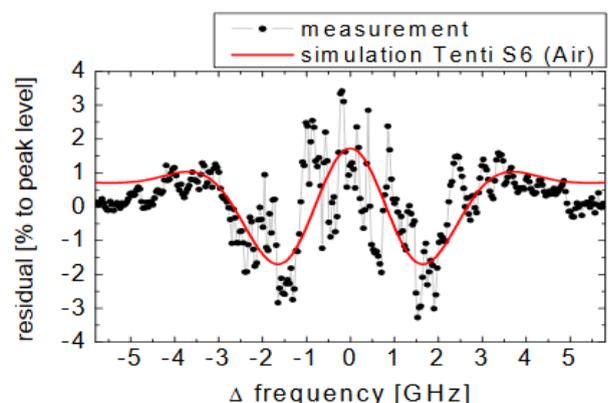


Abb. 3: ‚Fingerabdruck‘ der Linienform von Brillouin-Streuung aus Tenti-Modell (rot) und horizontaler Lidar-Messung von der UFS (schwarz)

Die Messungen auf der UFS bieten damit zum einen die Möglichkeit, molekulare Transportprozesse in Gasen besser zu verstehen, und zum anderen die Gewissheit, dass es bei der Auswertung der Lidar-Daten mit dem Tenti-Modell zu vernachlässigbaren Fehlern kommt. Die Ergebnisse sind daher ein wichtiger Beitrag zur Validierung zukünftiger Satellitenmissionen mit Lidar wie ADM-Aeolus und EarthCARE.

SPEKTROSKOPISCHE MESSUNGEN ATMOSPHÄRISCHER SPURENGASE AUF DER UMWELTFORSCHUNGSSTATION SCHNEEFERNERHAUS

KATJA SEITZ¹, PIETER VALKS², MORITZ JURGSCHAT¹, ULRICH PLATT¹

¹INSTITUT FÜR UMWELTPHYSIK, UNIVERSITÄT HEIDELBERG

²DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT UND RAUMFAHRT, OBERPFAFFENHOFEN

In den letzten Jahrzehnten hat die Untersuchung der Luftzusammensetzung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Nicht nur die Luftqualität der unteren Schicht der Atmosphäre (Troposphäre) ist für das Leben des Menschen von Bedeutung, vielmehr ist auch eine intakte Ozonschicht in mehreren zehn Kilometern Höhe (Stratosphäre) für alles Leben auf der Erde maßgeblich. Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus ist mit ihrer Lage in der freien Troposphäre der ideale Standpunkt um sowohl die Luftzusammensetzung der Tropo- als auch der Stratosphäre zu untersuchen. Das hierzu verwendete Verfahren ist die differentielle optische Absorptionsspektroskopie (DOAS), eine etablierte Methode zur Fernerkundung. Der Messaufbau, der Anfang 2011 realisiert werden soll, erlaubt neben der direkten Messung atmosphärischer Spurengase auch die Validation von satelliten-gestützten 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 umwelt- physikalischen Prozessen geführt. Aber auch weniger langfristige Ereignisse wie zum Beispiel Vulkanausbrüche können nicht nur den Flugverkehr sondern auch die Luftchemie

beeinflussen und mittels DOAS studiert werden. Abbildung 1 zeigt DOAS Satellitenmessungen von Schwefeldioxid (SO_2) über Europa vom 16-18 Mai 2010 während des Ausbruchs des isländischen Vulkans Eyjafjöll. Die Messungen zeigen erhöhte SO_2 Konzentrationen auch im Zugspitzgebiet. Das neue Messgerät würde in diesem Fall neben direkten Messungen von SO_2 auch die Validation der Satellitenergebnisse ermöglichen.

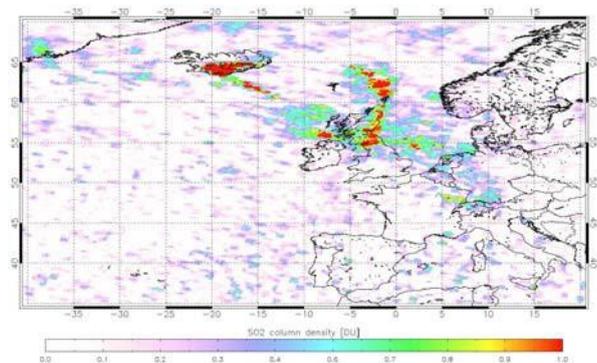


Abb.1: Satellitengestützte DOAS SO_2 Messungen nach Ausbruch des Eyjafjöll gemessen vom 16-18 Mai 2010 (vom GOME-2 Instrument auf dem MetOp Satelliten).

Standort Schneefernerhaus

Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus liegt mit 2650 m ü. N. N. in der freien Troposphäre. Die relativ große Entfernung zu den Großstädten Innsbruck (36 km), Augsburg (103 km) und München (89 km), vor allem aber die Höhenlage machen das Schneefernerhaus zum idealen Ort zur Untersuchung der freien Troposphäre. So können z. B. Verschmutzungsereignisse in der freien Troposphäre beobachtet werden. Obwohl die Luft in dieser Höhe normalerweise rein ist, konnten erhöhte Konzentrationen von frei-troposphärischem Stickstoffdioxid (NO_2) nachgewiesen werden: ein Hinweis auf klein- und weiträumige Transportprozesse. Diese Messungen sind von großer Bedeutung da

weltweit nur wenige Geräte Messungen troposphärische Profile von NO_2 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.

MAX-DOAS Messungen auf dem Schneefernerhaus

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

Am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg wurde eine neue Generation von MAX-DOAS Geräten entwickelt (Abbildung 2). Das neue MAX-DOAS Instrument ist vergleichsweise einfach konstruiert. Mess- und Kalibrationsspektren können vollautomatisiert aufgenommen werden und das Gerät kann via Internet angesteuert werden. Somit eignet sich das Gerät besonders für kontinuierliche Langzeitmessungen.



Abb.2: MAX-DOAS Instrument

MAX-DOAS Geräte werden weltweit zur Untersuchung des Einflusses anthropogener Emissionen auf Luftqualität und Zusammensetzung der Atmosphäre eingesetzt. Darüber hinaus sind MAX-DOAS Messungen für die langfristige Validation satellitengestützter Spurengasmessungen, z. B. von den SCIAMA- CHY, GOME-2 und OMI Instrumenten, unerlässlich.

HÖHENZUG: „HÖHENABHÄNGIGE VEGETATIONS- UND STANDORTKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN DER SUBALPINEN BIS SUBNIVALEN STUFE AUF DEM ZUGSPITZPLATT (WETTERSTEINGEBIRGE)“

ARNE FRIEDMANN UND OLIVER KORCH ARBEITSGRUPPE BIOGEOGRAPHIE, INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE,
UNIVERSITÄT AUGSBURG, UNIVERSITÄTSSTR. 10, D-86135 AUGSBURG
EMAIL: ARNE.FRIEDMANN@GEO.UNI-AUGSBURG.DE; OLIVER.KORCH@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Das Teilprojekt HöhenZug „Höhenabhängige vegetations- und standortkundliche Untersuchungen der subalpinen bis subnivalen Stufe auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge)“ ist Teil des Verbundprojekts „Auswirkungen des Klimawandels in den Alpen - Erfassung mittels Höhengradienten (KlimaGrad)“, welches seit Oktober 2009 über einen Zeitraum von drei Jahren vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit gefördert wird.

Fragestellung, Methodik und Zielsetzung

HöhenZug befasst sich mit den Auswirkungen klimatischer sowie anthropo-zoogener Einflüsse auf die Flora des Zugspitzplatts. Über eine 2009 begonnene, flächendeckende Vegetationskartierung des Zugspitzplatts, die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen, standortkundliche Untersuchungen und dem Vergleich mit älteren Kartierungen des Gebiets sowie Orthofotos soll das Ziel eines langfristigen Monitorings der Vegetationsdynamik einschließlich der Krummholzgrenze auf dem Zugspitzplatt realisiert werden.

Deutschlands höchstes Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst das gesamte Zugspitzplatt mit einer Fläche von 7,5 km². Ausgenommen sind die unwegsamen Steilwände der Plattumrahmung. Es wird aus den stark verkarsteten, ladinischen Wettersteinkalken aufgebaut, was sich in einem Karstrelief ohne Oberflächengewässer manifestiert. Die Zugspitzplattoberfläche besteht zu 52 % aus Gesteinsschutt, zu 32 % aus anstehendem Fels und zu 16 % aus vegetationsbedeckten Flächen.

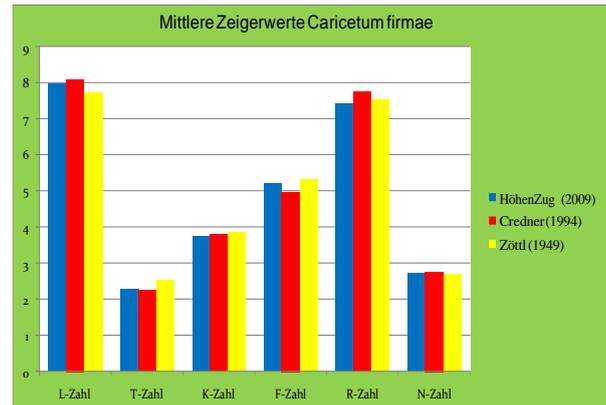


Abb. 2: Mittlere Zeigerwerte für das Caricetum firmae

Weiter wurden die mittleren Zeigerwerte der einzelnen Kartierungen auf Assoziationsebene verglichen, um Veränderungen aufzuzeigen (Abb. 2).

Anthropo-zoogene Beeinflussung

Sowohl der Wander- und Skibetrieb als auch die Beweidung durch Schafe im Sommer beeinflussen die Vegetation des Zugspitzplatts. Es erscheint daher sinnvoll, das Untersuchungsgebiet in drei Zonen zu gliedern:

Zone 1:

Dominanz der natürlichen Dynamik, sehr geringer anthropogener Einfluss (oligohemerob).

Zone 2:

Flächen die überwiegend einer natürlichen Dynamik unterliegen, aber linienhaft oder punktuell in unterschiedlicher Periodizität und Intensität anthropo-zoogen beeinflusst werden.

Zone 3:

Starke anthropo-zoogene Störungen (Beweidung, Wandertourismus, Bebauung u. a.) und natürliche Dynamik (meso- bis euhemerob).

Geplante Arbeiten

Die rechnergestützte statistische Auswertung soll mit den umfangreichen, während der Feldsaison 2010 erhobenen Daten erweitert und ausgebaut werden sowie die Auswirkungen des Klimawandels im Zuge des Monitoring erfaßt werden. Ziel ist u. a. auch eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen zur alpinen Vegetation.

Es ist weiter die Erstellung einer aktuellen und detaillierten Vegetationskarte geplant, die auf der pflanzensoziologischen Kartierung basiert.

Literatur

Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl. - Springer Verlag, Wien, New York., 865 S, 1964.

Credner, B.: Vegetations- und Bodenentwicklung im Bereich des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge). Unveröffentlichte Diplomarbeit, LMU München, 101 S., 1995.

Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V. und Werner : Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Scripta Geobotanica 18, 262 S., Göttingen, 1992.

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

Zöttl, H.: Die Vegetationsentwicklung auf Felsschutt in der alpinen und subalpinen Stufe des Wettersteingebirges. Diss. Univ. München, München, 74 S., 1950.

TAUT DER PERMAFROST AUF DER ZUGSPITZE ? - PERMAFROST-MESSUNGEN DES LFU IM ZUGSPITZGEBIET-

ANDREAS VON POSCHINGER, THOMAS GALLEMANN
BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT

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.



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

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.

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 abzurufen.

Mittlerweile liegen Messungen aus drei Jahren vor. Die Daten zeigen, dass der Permafrost an der sonnenexponierten Südseite im Sommer rund 13 Meter auftaut, an der Nordwand nur etwa 1,5 Meter

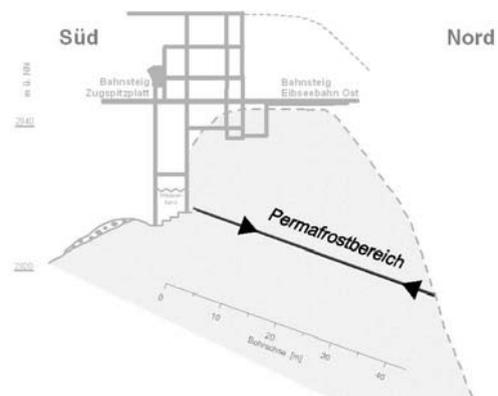


Abb.2: Der Permafrostbereich im Inneren der Zugspitze

Im Kern des Permafrosts schwankt die Temperatur im Laufe des Jahres um gut ein halbes Grad. Mit $-1,4$ Grad, am „wärmsten“ ist es im Felsinneren im Februar, mit $-2,0$ 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.

Auch wenn uns die bislang gemessenen Jahreszyklen interessante Informationen bringen – für Aussagen, ob der Permafrost tendenziell taut, sind langjährige Messreihen erforderlich. Deshalb ist das Projekt auf 15 Jahre ausgelegt.

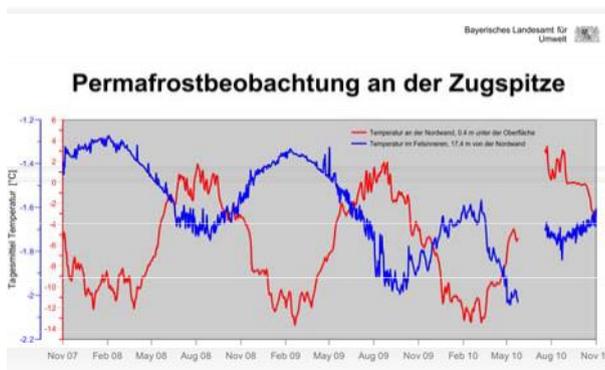


Abb. 3: Gestein leitet Wärme nur langsam, deshalb ist der Felskern im Winter wärmer als im Sommer

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.

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, werden die Untersuchungen des LfU auf der Zugspitze jetzt von dem EU-Projekt „PermaNet“ begleitet. Im alpenweiten Messnetz des Projektes ist die Bohrung in der Zugspitze der

nördlichste Beobachtungspunkt. Ziel ist es, eine Karte der Permafrost-Gebiete im gesamten Alpenraum zu erstellen und mit Computermodellen zu berechnen, wo der tauende Permafrost zu Problemen führen könnte. Außerdem werden 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 Zugspitzgebiet finden Sie im Internet unter:
[www.lfu.bayern.de/Geologie/Forschung und Projekte](http://www.lfu.bayern.de/Geologie/Forschung%20und%20Projekte/) > „Permafrost an der Zugspitze“ bzw. „PermaNet-BY“,
 Informationen zum Projekt PermaNet unter:
www.permanet-alpinespace.eu

AUFBAU EINES DATENANALYSEZENTRUMS FÜR DIE UMWELTFORSCHUNGSSTATION SCHNEEFERNERHAUS (UFS) DURCH DAS ICSU/WMO WELTDATENZENTRUM FÜR FERNERKUNDUNG DER ATMOSPHÄRE (WDC-RSAT)

SÉVERINE BERNONVILLE

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT DLR

Das UFS-Datenanalysezentrum (UFS-DAZ), das im Rahmen eines FuE-Projektes vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit aufgebaut wird, wird 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 Validation relevant sind.

Funktionalitäten des Datenanalysezentrums

Das UFS-Datenanalysezentrum bietet den Wissenschaftlern der UFS den schnellen, komfortablen und sicheren Zugang zu den dort gemessenen Daten. Darüber hinaus ermöglicht das UFS-DAZ den Wissenschaftlern auch den Zugriff auf:

- satellitenbasierte Daten,
- andere Stationsdaten (z. B. aus bodengebundenen Messsystemen wie NDMC usw.),
- value-added Daten und Informationsprodukte (z. B. atmosphärische dynamische Aktivitäten oder die globale Ozonverteilung).

Im Rahmen der zweiten Entwicklungsstufe des Ausbaus des UFS-DAZ soll zur Unterstützung der Forschungsaktivitäten in der UFS zusätzlich auch der Zugriff auf:

- Services (z. B. Luftqualitätsprognosen),
- ausgewählte numerische Atmosphärenmodelle (z. B. Trajektorien Modelle oder 3D-Chemie Transport Modelle),
- und spezifische Datenanalysewerkzeuge (z. B. Web Mapping Tools).

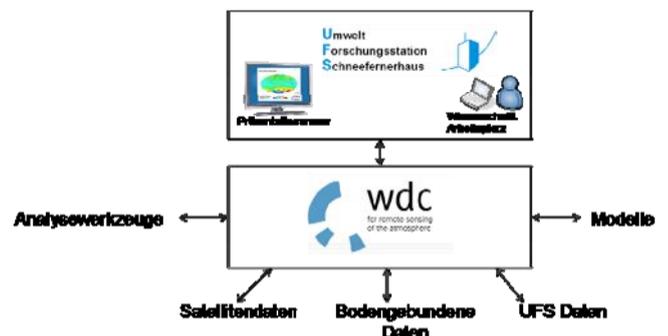


Abb. 1: UFS-DAZ Konzept

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.

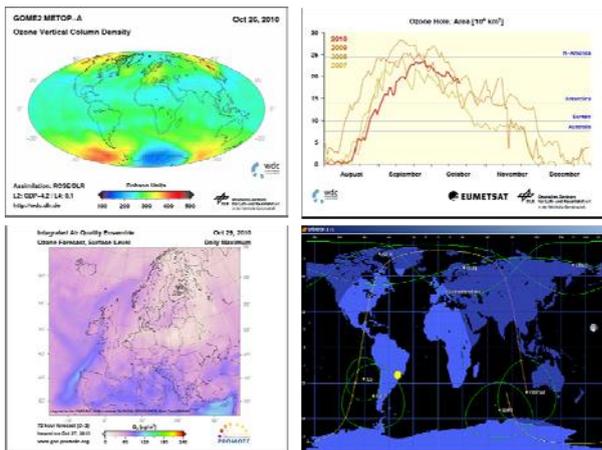


Abb.2: Beispiele für tagesaktuelle Satelliten-Produkte / Programm Orbitron zur Verfolgung von Satelliten

Der Weg von der Messung zur Datenanalyse

- Die UFS Messungen werden zunächst in der UFS gesammelt und temporär im lokalen Server des UFS-DAZ gespeichert.
- Die UFS Messdaten werden dann zum WDC-RSAT übertragen (Datensynchronisation).
- Die UFS Messdaten werden im WDC- RSAT standardisiert archiviert (Datenmanagement).
- Der Wissenschaftler der UFS kann auf die UFS Daten in Verbindung mit Satellitendaten und andere Stationsdaten zugreifen.

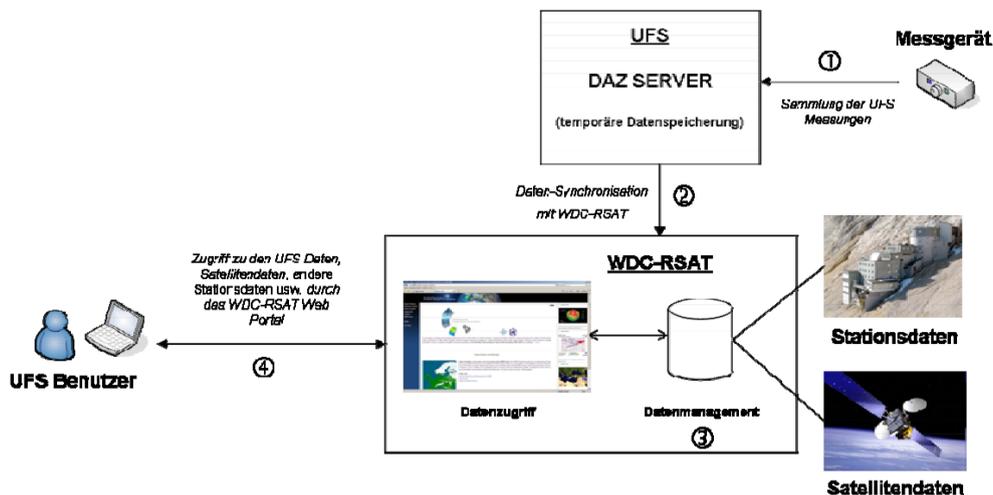


Abb. 3: Zugriff zu den Daten durch das UFS-DAZ

UNTERSUCHUNGEN ZUR INHOMOGENITÄT VON EXTREMTEMPERATUR- MESSREIHEN DURCH ÄNDERUNGEN DER MESSTECHNIK

KLAUS HAGER, JUCUNDUS JACOBEIT INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE, UNIVERSITÄT AUGSBURG,
KLAUS.HAGER@GEO.UNI-AUGSBURG.DE, JACOBEIT@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Die täglichen Extremwerte der Lufttemperaturen wurden viele Jahrzehnte mit konventionellen Sensoren gemessen, einem speziellen Quecksilberthermometer im Falle der täglichen Maxima und einem Alkoholthermometer im Falle der täglichen Minima. Seit den 1990-er Jahren wurde die Messensorik auf elektronische Messfühler umgerüstet, wodurch ein Potential für technisch bedingte Inhomogenitäten in langzeitlichen Messreihen erzeugt wurde. Tatsächlich haben Vergleichs-untersuchungen an Flachlandstationen ergeben, dass zum Teil erhebliche Differenzen bei den täglichen Extremtemperaturen zwischen alter und neuer Messensorik auftreten können. Besonderes Gewicht erlangen solche Unterschiede – insbesondere im Kontext der Quantifizierung des langfristigen Klimawandels – in Hochgebirgsräumen wie den Alpen, die weit überproportional von der aktuellen Klimaveränderung betroffen sind. Daher werden seit Sommer 2010 am Schneefernerhaus Vergleichsmessungen der täglichen Maximum- und Minimumtemperaturen mit verschiedener Messensorik durchgeführt, um dadurch bedingte Inhomogenitäten in langzeitlichen Messreihen des Hochgebirgsraumes quantifizieren und bewerten zu können.

Dazu wurde auf der Messplattform des Schneefernerhauses eine Messeinrichtung installiert, die aus einer automatischen Wetterstation der Firma Reinhardt und einer konventionellen Wetterhütte besteht (siehe Abb.1). Die Wetterstation ist mit elektronischen Messfühlern für Wind, Strahlung, Temperatur und Niederschlag ausgestattet, die im vorliegenden Kontext interessierende Temperatur wird mit einem Pt 100

Widerstandsthermometer gemessen. In der Wetterhütte befinden sich die herkömmlichen Quecksilber- bzw. Alkoholthermometer (dankenswerterweise werktäglich abgelesen von DWD-Personal der Wetterdienststation Zugspitze); ergänzend wird hier auch noch ein Halbleitersensor LM 335 eingesetzt. Die gesamte Messeinrichtung ist seit Anfang August 2010 in Betrieb, erste vergleichende Auswertungen zeigen teils bemerkenswerte Unterschiede.



Abb.1: Automatische Wetterstation und konventionelle Wetterhütte am Schneefernerhaus zur vergleichenden Messung der täglichen Extremtemperaturen

Tägliche Maximumtemperaturen

Abbildung 2 (oben) zeigt die täglichen Differenzen der Temperaturmaxima zwischen Wetterstations- und Wetterhütten-Messung im Zeitraum August bis Oktober 2010. Es ist klar zu erkennen, dass in der stark überwiegenderen Mehrzahl der Fälle die elektronisch bestimmte

Maximumtemperatur an der automatischen Wetterstation höher lag als diejenige in der konventionellen Wetterhütte (81 % aller Tage der dreimonatigen Messperiode). Die mittlere Differenz beträgt immerhin $0,8^{\circ}\text{C}$, die höchste Einzelabweichung sogar $3,5^{\circ}\text{C}$. In 41% der Fälle war der Unterschied in den Höchsttemperaturen größer als 1°C , in 8 % der Tage größer als 2°C .

Inwieweit die Sonneneinstrahlung oder andere Ursachen dabei beeinflussend wirken, bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten. Ebenso sind die spezifischen Bedingungen für die zwar seltenen, aber nicht ausgeschlossenen Fälle zu klären, in denen die Wetterhüttenmessungen höhere Maximumtemperaturen als an der elektronischen Wetterstation indizieren.

Tägliche Minimumtemperaturen

Hier zeigen sich generell entgegengesetzte Abweichungen (Abb. 2 unten): nur in ca. 10 % der Einzeltage übersteigt das Wetterstations-Temperaturminimum dasjenige in der Wetterhütte, im Mittel jedoch liegt es $0,4^{\circ}\text{C}$ unter den Wetterhütten-Messwerten. An 22 % der Einzeltage beträgt der Unterschied mehr als ein halbes Grad, die höchste Abweichung erreicht betragsmäßig 1°C .

Die Minimumtemperaturen der Wetterhütte zeigen also einen gedämpfteren täglichen

Temperaturrückgang, wobei die entsprechenden Differenzen zur Stations-Messung im allgemeinen kleiner ausfallen als bei den entgegengesetzten Abweichungen der Maximumtemperaturen. Insgesamt produzieren die Stations-Messungen also ein extremeres thermisches Klima im Tagesgang (größere tägliche Temperaturamplituden), was bei Umstellungen der Messensorik in langzeitlichen Datenreihen zu berücksichtigen sein wird. Selbstverständlich werden genauere Aussagen und statistische Absicherungen erst auf der Grundlage größerer Stichproben (längerer Vergleichsmessungen) möglich sein

Ausblick

Neben der langfristigen Weiterführung der Messreihen werden auch vormals erhobene Daten in die Untersuchungen einbezogen. Darüber hinaus ist vorgesehen, auch vergleichende Messungen des Niederschlags im Hochgebirgsraum mit verschiedenen Messgeräten durchzuführen. Generelles Ziel bleibt die Quantifizierung und Behebung technisch bedingter Inhomogenitäten in langzeitlichen Messreihen, die zur Beurteilung der bereits erfolgten Klimaveränderung im Hochgebirgsraum herangezogen werden.

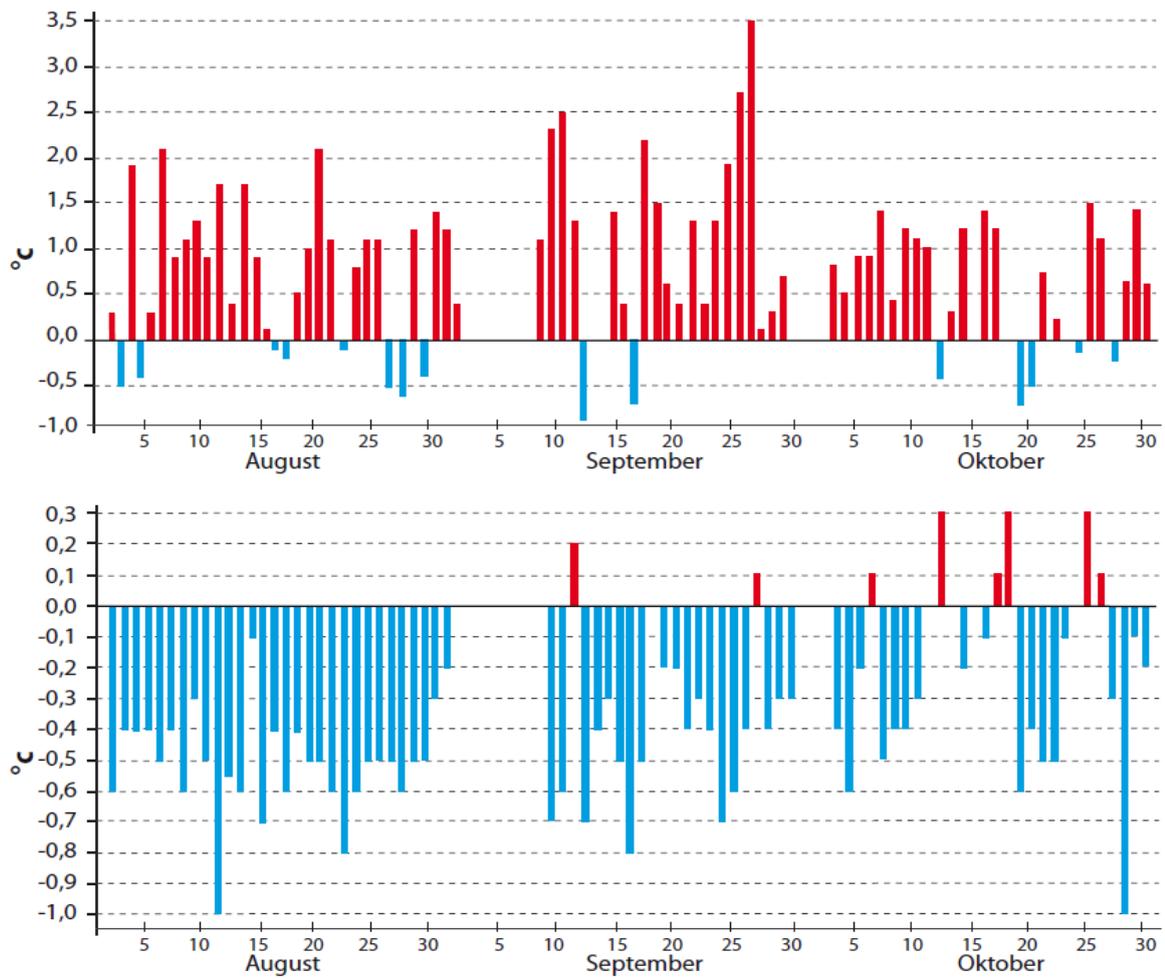


Abb.2: Tägliche Differenzen (°C) der Maximumtemperaturen (oben) und der Minimumtemperaturen (unten) zwischen automatischer Wetterstation und konventioneller Wetterhütte am Schneefernerhaus im Zeitraum August bis Oktober 2010.

ZUR HYDROLOGIE DES ZUGSPITZGEBIETES

KARL-FRIEDRICH WETZEL

INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE, UNIVERSITÄT AUGSBURG, WETZEL@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Im Laufe des Berichtszeit-raumes hat sich eine Reihe von positiven Entwicklungen im Bereich der Hydrologie ergeben. Allerdings konnte insbesondere der für 2010 vorgesehene Markierungsversuch nicht in der geplanten Form durchgeführt werden. Insgesamt kann dennoch von einer positiven Bilanz des vergangenen Jahres gesprochen werden. Dabei ist an dieser Stelle noch darauf hinzuweisen, dass die Hydrologie als neue thematische Säule bislang keine Fördermittel aus den F.u.E. Vorhaben der UFS Schneefernerhaus erhalten konnte, da die Universität Augsburg erst nach Beginn des Förderzeitraumes dem Konsortium UFS Schneefernerhaus beigetreten ist. Alle Projekte wurden bislang aus Eigenmitteln finanziert.

Tracerversuch Zugspitzplatt

Der schon lange für den Sommer 2010 angekündigte Grundwassermarkierungsversuch musste verschoben werden. Dafür gibt es verschiedene Ursachen. Die Durchführung eines solchen Versuches, der sich von der Eingabe des Markierungsmittels bis zum Abschluss der Beprobung über mehr als 3 Monate erstreckt, ist gerade im Hochgebirge eine logistische Herausforderung. Für die Versuchsdurchführung muss genügend Personal zur Verfügung stehen, das eine spezifische Qualifikation haben muss. Daher ist für derartige Versuche vorgesehen, dass Studierende im Rahmen von geländebezogenen Lehrveranstaltungen (Praktika) und Abschlussarbeiten eingesetzt werden. Allerdings standen im vergangenen Jahr keine Bearbeiter für die Durchführung von derartigen speziellen und arbeitsaufwändigen Qualifizierungsarbeiten im Hochgebirge zur Verfügung. Darüber hinaus waren die Witterungsverhältnisse im vergangenen

Sommer, mit Hitze und Trockenheit im Juli sowie häufigen Kaltlufteinbrüchen im August, dezidiert ungünstig für eine Versuchsdurchführung. Der Versuch wurde daher auf den kommenden Sommer verschoben.

Kartierung von Karsterscheinungen

Statt des geplanten Markierungsversuches wurden im Rahmen eines anderen Geländepraktikums auf dem Zugspitzplatt umfangreiche Kartierungen und Vermessungen der Karsterscheinungen sowie des Kluftnetzes vorgenommen. Ziel dieser Kartierungsarbeiten ist die Erstellung einer räumlichen Übersicht der Oberflächenhydrologie des Zugspitzplatts. Aufgrund der intensiven Verkarstung der Oberfläche können auch bei Niederschlägen nur kurze temporäre Fließgewässer beobachtet werden, die nach einer meistens unter 100 m langen Laufstrecke durch Karstschwinden oder Dolinen in den Untergrund abgeleitet werden. Der Gesteinsuntergrund ist durch die dabei ablaufenden Lösungsprozesse stellenweise extrem perforiert worden, so dass selbst bei Starkregen eine effektive Abfuhr des Oberflächenwassers in den Untergrund gewährleistet ist.



Abb.1: Vermessung und Kartierung von Karstphänomenen auf dem Zugspitzplatt

Mit den im vergangenen Sommer aufgenommenen Arbeiten soll eine räumliche Übersicht

über die Oberflächeneinzugsgebiete auf dem Zugspitzplatt mit dem Ziel erstellt werden, die Bereiche mit der quantitativ höchsten Versinkung in den Untergrund zu identifizieren. Dazu ist neben den Kartierungsergebnissen eine Relieffanalyse mit Hilfe eines hochauflösenden digitalen Geländemodells (DGM) geplant. Unter den Bereichen mit starker Versinkung von Oberflächenwasser sind im geologischen Untergrund die effektivsten Karstwasserleiter (Conduits) zu erwarten, die für die schnelle Entwässerung des Gebietes und die rasche Abflussreaktion des Partnach-Ursprungs verantwortlich sind. Die Identifizierung der Conduits ist insbesondere für die karsthydrologische Modellierung von besonderer Bedeutung, für die die Kenntnis der Geometrie der Karstwasserleiter hilfreich ist. Darüber hinaus wurden für die Aufstellung einer langjährigen Tracer-Messreihe der stabilen Umweltisotope ^{18}O und ^2H Beprobungen verschiedener Gewässer und von Schnee- und Gletschereis durchgeführt. Ziel dieser isotopechemischen Untersuchungen soll es sein, die Prozesse der Abflussbildung im Einzugsgebiet des Partnach-Ursprungs besser zu verstehen. Da sich die isotopechemische Signatur von Schmelzwässern, Karstgrundwasser und aktuellen Niederschlägen unterscheidet, können die jeweiligen Anteile im Abfluss durch entsprechende Separationsverfahren abgetrennt werden.

Bildung der Arbeitsgruppe Hydrologie

Als wohl für die Zukunft wichtigste Entwicklung ist die Bildung einer Arbeitsgruppe zur Hydrologie zu nennen, für die namhafte Wissenschaftler gewonnen werden konnten. Zu der Arbeitsgruppe gehören neben dem Koordinator Prof. K.-F. Wetzel (Augsburg, Karsthydrologie und Wasserhaushalt) bislang

- Prof. K. Schulz und Dr. M. Bernhardt (LMU, Schneehydrologie)
- Dr. J. Lange mit Dipl. Geogr. A. Hartmann (IHF Institut für Hydrologie, Uni Freiburg, Karstmodellierung)
- Prof. N. Goldscheider mit Dipl. Geol. U.

Bellmann (TUM, Hydrogeologie)

- Dr. D. Morche (Uni Halle, Stofftransporte)
- Prof. H. Kunstmann (KIT & Uni Augsburg, Downscaling atmosphärischer Parameter)

Bei einem ersten Workshop im Oktober 2010 wurden die gemeinsamen Ziele der beteiligten Wissenschaftler formuliert und erste Schritte für die Etablierung einer DFG-geförderten Forschergruppe zum Thema Hochgebirgshydrologie unternommen.

Drittmittelanträge

Diese neuen Entwicklungen haben den Zeitplan und auch die inhaltliche Ausrichtung für die zunächst angestrebte Antragsstellung bei der DFG im Normalverfahren (Kooperation Augsburg/Halle) verschoben. Hier ist die Antragstellung für das erste Halbjahr 2011 zu erwarten. Das Thema werden die Prozesse der Abflussbildung im Karst des Zugspitzgebietes sein, die in Zusammenarbeit mit der Uni Halle (Dr. D. Morche) bearbeitet werden sollen.

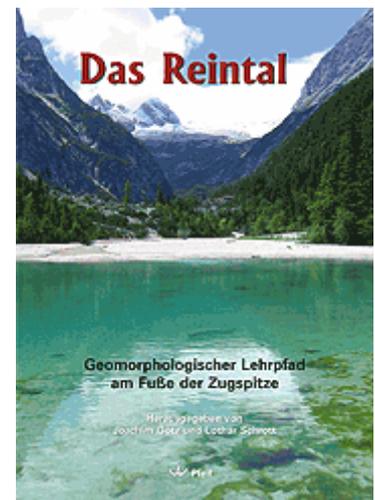
Publikationen:

Morche, D. und. Wetzel, K. F.: Karst hydrology and dissolved load of the upper Partnach River, Reintal/ Zugspitze. - 5th I.A.G./A.I.G. SEDIBUD Workshop, Saudarkrokur, Iceland, September 19 – 25, 2010.

Rappl, A., Wetzel, K. F., Büttner, G. und Scholz, M.: Tracerhydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 54, S. 222 – 230, 2010.

Götz, J. und Schrott, L. (Hrsg.): Geomorphologischer Lehrpfad am Fuße der Zugspitze, 2010. (Mit Beiträgen von Wetzel, K. und Morche, D.) – Pfeil Verlag, 104 S., München.

Abb.2: Publikation zum Reintal im Pfeil-Verlag



BEOBACHTUNG DES OH-NACHTLEUCHTENS IM ALPENRAUM MIT GRIPS

CARSTEN SCHMIDT, KATHRIN HÖPPNER UND MICHAEL BITTNER DLR-DFD, OBERPFAFFENHOFEN,
CARSTEN.SCHMIDT@DLR.DE

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

Dieses atmosphärische Leuchten rührt aus einer exothermen chemischen Reaktion her, bei der Ozon mit atomarem Wasserstoff reagiert und molekularen Sauerstoff sowie Hydroxyl-Moleküle (OH) produziert. Die freigesetzte Energie wird dabei überwiegend auf das Hydroxyl-Molekül übertragen, das diese Energie nach kurzer Zeit in Form sichtbarer und infraroter Strahlung wieder abgibt. Dieser kurze Zeitraum reicht jedoch aus, dass die angeregten Moleküle mit der restlichen Atmosphäre lokal ins thermodynamische Gleichgewicht kommen. Aus den am Boden registrierten Spektren kann somit auf die Umgebungstemperatur in 87 km Höhe geschlossen 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. Dem- entsprechend 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. Man unterscheidet folgende Wellentypen:

- **Infraschall:** Wellen im Periodenbereich von weniger als fünf Minuten und einer räumlichen Ausdehnung von einigen hundert Metern bis wenigen Kilometern; maßgebliche Rückstellkraft ist die Druckgradientenkraft.
- **Schwerewellen:** Wellen im Periodenbereich von mehr als 5 Minuten bis zu einigen Stunden bei einer räumlichen Ausdehnung von wenigen bis vielen hundert Kilometern; maßgebliche Rückstellkraft stellt hier die Schwerkraft dar.
- **Planetare Wellen:** Wellen im Periodenbereich von wenigen Tagen bis mehreren Wochen bei einer räumlichen Ausdehnung von mehreren tausend Kilometern; maßgebliche Rückstellkraft ist die Corioliskraft

Messungen

Da insbesondere Schwerewellen beim Überströmen von Gebirgsketten angeregt werden können, stellt die UFS eine hervorragend geeignete Beobachtungsplattform, sozusagen am „Geburtsort“ der Schwerewellen, dar.

Die Messungen werden mit einem speziell für diesen Zweck neu entwickelten GRIPS Instrument durchgeführt, das erstmals 2008 auf der UFS in Betrieb genommen wurde (Abb. 1). Mit einer zeitlichen Auflösung von lediglich 15 Sekunden

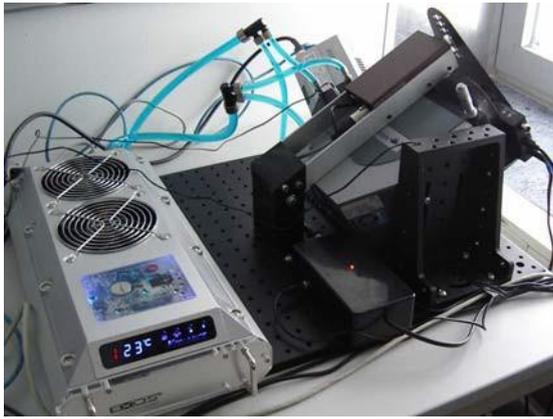


Abb.1: GRIPS Instrument der neuen Generation, wie es seit 2008 im Schneefernerhaus vom DLR-DFD operationell betrieben wird.

für einen einzelnen Temperaturwert gehört es damit weltweit zu den leistungsfähigsten Instrumenten in diesem Bereich.

Jede Nacht werden dabei bis zu 3500 Spektren der OH Emission im Wellenlängenbereich zwischen $1,5\mu\text{m}$ und $1,6\mu\text{m}$ aufgezeichnet. Die Bedingungen sind aufgrund der Höhenlage der Umweltforschungsstation ideal für optische Beobachtungen. Die einzelnen Temperaturwerte weisen in der Regel eine Unsicherheit von weniger als 10 K auf. Es ist daher möglich, für etwa 80 % der Nächte eines Jahres einen repräsentativen Nachtmittelwert abzuleiten (Abb. 2). Besonders deutlich tritt dabei der Jahresgang von etwa 60 K hervor, mit warmen Temperaturen im Winter und kalten Temperaturen im Sommer.

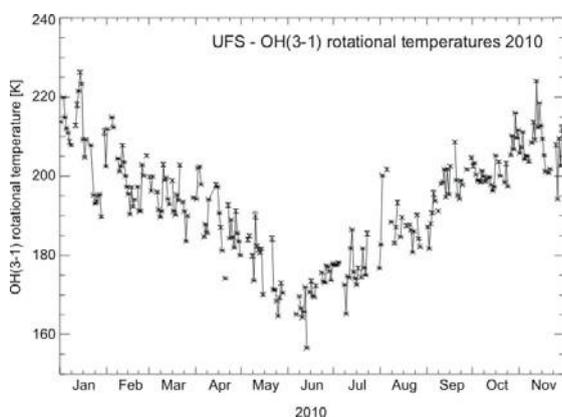


Abb.2: Verlauf der im Jahr 2010 am Schneefernerhaus gemessenen Nachtmittelwerte der OH-Temperaturen. Die Streuung der einzelnen Temperaturen ist nicht auf Messunsicherheiten, sondern auf atmosphärische Variabilität, vor allem planetare Wellen, zurückzuführen.

Ein Effekt, der auf globale Strömungen in der oberen Atmosphäre und indirekt auf den Einfluss von Schwerewellen zurückzuführen ist.

Wellenaktivität

Bei ausreichender zeitlicher Abdeckung während einer einzelnen Nacht eignen sich die hoch aufgelösten Temperaturzeitreihen für eine Untersuchung mit Hilfe von Spektralanalysemethoden. Zum Einsatz kommt dabei vor allem die Harmonische Analyse, die gegenüber anderen Methoden die Vorteile hat, dass sie die in der Zeitreihe enthaltenen stärksten Schwingungen sehr gut identifiziert und weitgehend unempfindlich gegenüber Datenlücken ist. Mit letzteren ist bei optischen Beobachtungen aufgrund des Wettergeschehens in der Atmosphäre leider immer zu rechnen.

Abbildung 3 zeigt im oberen Teilbild die Nacht vom 6. auf den 7. April 2009. Die Anwendung der Harmonischen Analyse ergab vier dominante Schwingungen im Periodenbereich von 1,5 bis 8 Stunden. Die Amplituden reichen dabei auch von 1,5 bis 8 Kelvin. Dies bedeutet, dass Schwerewellen in der oberen Mesosphäre ohne Weiteres eine Fluktuation der ungestörten Temperatur von fünf Prozent bewirken können, was ein weiteres Indiz für die hohe Sensitivität dieser Höhenregion gegenüber induzierten Störungen ist.

Das untere Teilbild in Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen den Perioden und Amplituden der im Zeitraum von Februar 2009 bis Februar 2010 für 283 identifizierten Schwerewellenereignisse. Der Anteil kurzperiodischer Wellen mit Perioden von weniger als drei Stunden überwiegt dabei deutlich. Allerdings weisen sie auch deutlich kleinere Amplituden auf, ein Indiz für einen geringeren Energiegehalt.

Ziel der Untersuchungen ist eine genaue Charakterisierung der Wellenaktivität im OH-Nachtleuchten im Alpenraum. Dies ist wichtig, da atmosphärische Wellen eine bedeutende Rolle in der Steuerung globaler Strömungen spielen. Aber gerade kleinskalige Phänomene, die in

diesem Zusammenhang von Interesse sind, sind noch weitgehend unverstanden und unterliegen verstärkt lokalen Einflüssen. Unterstützt werden die Messungen daher von anderen mit GRIPS-Geräten ausgestatteten Messtationen im bayerischen Voralpenland am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg und am DLR-DFD in Oberpfaffenhofen.

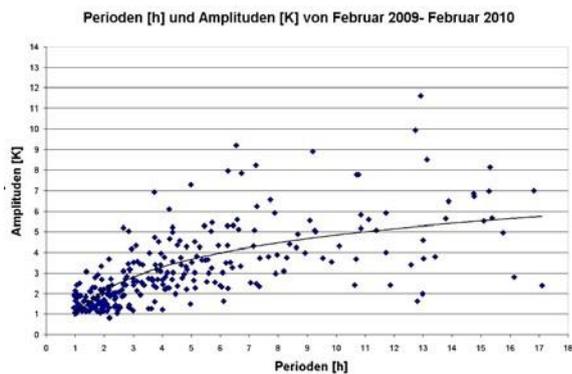
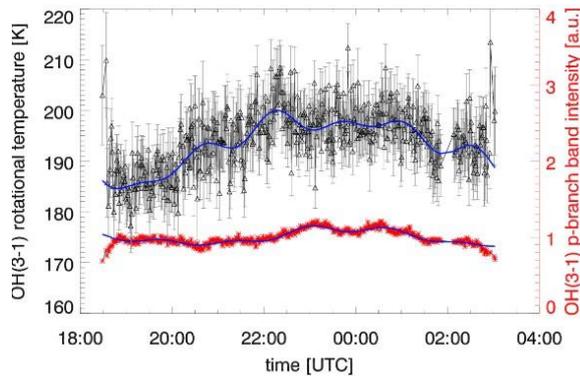


Abb.3: Das obere Teilbild zeigt den nächtlichen Verlauf der mit GRIPS gemessenen OH-Temperaturen (schwarz) und Intensitäten (rot). Die blauen Linien zeigen die Ergebnisse der mit der Harmonischen Analyse gefundenen signifikanten Schwingungen, die in beiden Parametern auftreten und auf Schwerewellen zurückzuführen sind. Das untere Teilbild zeigt den Zusammenhang zwischen Amplituden und Perioden der Schwerewellen für den Zeitraum von Februar 2009 bis Februar 2010.

FREIBEWITTERUNG VON PV-MODULEN IN EXTREMEN KLIMATEN

MARKUS HECK, MICHAEL KÖHL, DANIEL PHILIPP, KARL-ANDERS WEIß

FRAUNHOFER INSTITUT SOLARE ENERGIESYSTEME, MICHAEL.KOEHL@ISE.FRAUNHOFER.DE

HEIDENHOFSTR. 2, 79110 FREIBURG, GERMANY

In der Photovoltaikindustrie sind Garantien für Solarmodule über einen Zeitraum von teilweise mehr als 20 Jahren üblich, obwohl über das Alterungsverhalten und die Lebensdauer neuer Modultypen nur wenig bekannt ist. Wie verhalten sich diese in salzhaltigem Meeresklima, in der Wüste, in den Tropen oder bei hohen Schneelasten? Das Fraunhofer-ISE betreibt deshalb Freibewitterungs-Teststände, an denen die Module extreme Klimabedingungen erfahren: Hohe Temperaturen verbunden mit großen Temperaturunterschieden im Tagesverlauf in der Negev in Israel, Schnee, Wind und extreme UV-Belastung auf der Zugspitze, hohe Luftfeuchtigkeit und Temperaturen in Indonesien und hohe Temperaturen, hohe Einstrahlung sowie hohe Feuchte und Salzbelastung in Gran Canaria. Neben Serienmodulen von Industriepartnern werden experimentelle Module mit innovativen Einkapselungs- und Rückseitenmaterialien exponiert. Die dabei gemessenen Daten zur UV-Strahlung, Globalstrahlung, Umgebungs- und Modultemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit werden auf einem zentralen Server gesammelt. Auf Basis dieser Daten wurden die Belastungen durch das Klima an den verschiedenen Standorten berechnet und zu einer Abschätzung der Lebensdauer herangezogen.

Für die Bewitterung von Materialien und Komponenten zur Umwandlung von Sonnenenergie sind hauptsächlich folgende Faktoren relevant: ultraviolette Strahlung, mechanische Belastung durch Schnee und Wind, Schadstoffe (insbesondere Salz), innere Spannungen infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten sowie die Permeation von Wasser

und Sauerstoff durch die polymere Verkapselung. Es ist schwierig, in beschleunigten Laborprüfungen alle Abbaufaktoren realitätsnah zu kombinieren, um deren Wechselwirkung bei der Alterung der Prüflinge nachzustellen. Deshalb ist die Exposition unter natürlichen Verhältnissen unabdingbar für die Validierung von Simulationsergebnisse und beschleunigten Gebrauchsdauerprüfungen. Extremklimata ermöglichen eine schnellere Detektion von Schwachstellen einerseits und eine Qualifizierung der Prüflinge für die speziellen klimatischen Bedingungen andererseits.



Abb.1: Freibewitterungsteststand des Fraunhofer ISE am Schneefernerhaus.

Monitoring-Ergebnisse

Die Stationen unterscheiden sich deutlich in der klimatischen Belastung für die Module. Im folgenden Diagramm ist Häufigkeitsverteilungen des Hauptdegradationsfaktors Temperatur dargestellt. Hierbei ist besonders wichtig, dass die Degradationsprozesse vom Mikroklima, also der Modultemperatur, abhängen. Die Umgebungstemperaturen bewegten sich zwischen -17°C und 37°C , während die Modultemperaturen bis 65°C anstiegen (Abb.2).

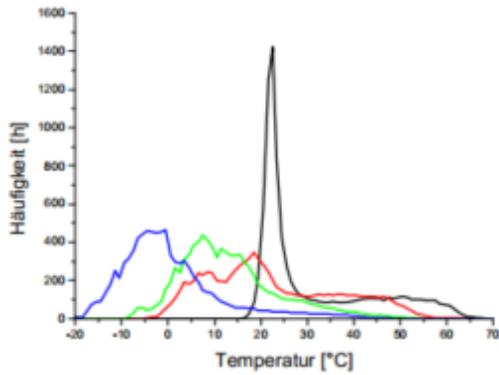


Abb.2: Häufigkeitsverteilung der mittleren Modultemperatur während eines Jahres an den 4 Freibewitterungsstandorten: Alpen (blau), Stadt (grün), Wüste (rot) und Tropen (schwarz).

Die maximale Temperaturdifferenz zwischen Modulen und Umgebung betrug etwa 30K.

Die unterschiedliche Temperaturbelastung kann dargestellt werden durch eine Integration der momentanen Modultemperaturen $T(t)$ mit einer Gewichtung gemäß der Arrheniusrelation, die die Temperaturabhängigkeit des maßgeblichen Degradationsprozesses mit der Aktivierungsenergie E_p beschreibt.

T_{eff} ist die effektive Konstanttemperatur, die zur selben Degradation im selben Zeitraum ($t_{max}-t_{min}$) führen würde wie die durch Tagesgang und Witterung fluktuierende Prüfguttemperatur $T(t)$. Die Ergebnisse sind für ein breites Spektrum von Aktivierungsenergien in Abbildung.3 dargestellt.

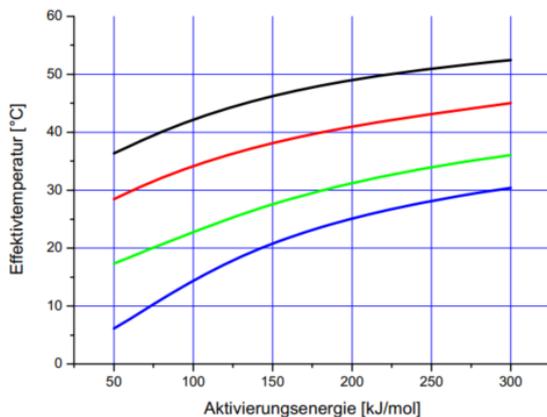


Abb.3: Effektivtemperatur in Abhängigkeit der Aktivierungsenergie des Degradationsprozesses berechnet für die 4 Freibewitterungsstandorte: Alpen (blau), Stadt (grün), Wüste (rot) und Tropen (schwarz).

Diese Effektiv-Temperatur stellt auch den Ausgangspunkt für die Berechnung der Dauer von beschleunigten Prüfungen bei überhöhten Prüftemperaturen dar.

Die Temperaturerhöhung der Proben kommt natürlich von der solaren Einstrahlung, die mittels Pyranometer gemessen wurde. Für die Photo-Degradation ist meist nur der kurzwellige Teil der Sonnenstrahlung verantwortlich. Dieser wurde durch integrale UV-A und UV-B Sensoren gemessen, da erwartet wurde, dass dieser Anteil sich an den verschiedenen Freibewitterungsstandorten wegen der klimatischen Unterschiede und den Höhendifferenzen unterscheiden würde. Die meisten dieser Sensoren stellten sich als ungenau heraus, obwohl sie anfangs werkskalibriert waren und noch im Labor und im Freien miteinander verglichen wurden.

Für die Quantifizierung des Feuchteinflusses wird oft die sogenannte „Time of Wetness“ (TOW) herangezogen, die die Summe der Zeiten mit einer relativen Luftfeuchte größer 80 % ist. Die Kinetik der dann stattfindenden Korrosionsprozesse hängt auch wieder von der Temperatur der Probe ab.

Die Unterschiede zwischen Alpen, Wüste und Tropen werden hier besonders augenfällig. Durch Integration der Belastungen und Transformation mittels der Effektivtemperatur zu den in den Bauartzulassungsprüfungen für PV- Module (IEC 61215 und IEC 61646) vorgesehenen Prüftemperaturen von 85°C bei 85 %r.F. ergeben sich für 25 Jahre Gebrauchsdauer die von der Aktivierungsenergie abhängenden Prüfdauern in Abbildung 4. Auch hier zeigt sich wieder der starke Einfluss der exponentiellen Abhängigkeit von Temperatur und Aktivierungsenergie. Für Prozesse mit Aktivierungsenergien größer als 70kJ/mol erscheint die bislang vorgesehene Prüfdauer von 1000 h als ausreichende Qualifikation selbst für tropischen Einsatz der Module. Für die anderen Standorten mit weniger starken Beanspruchungen würden selbst Prozesse bis zu einer Aktivierungsenergie von 45kJ/mol genügend beschleunigt werden.

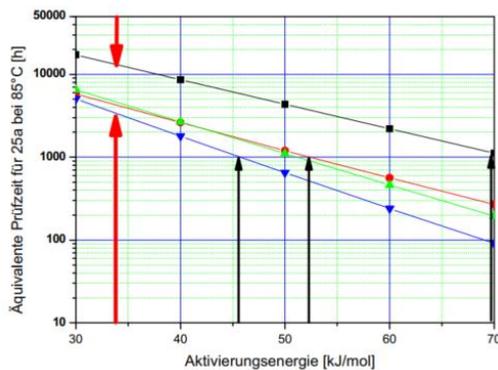


Abb. 4: Prüfzeiten für einen Feuchte/Wärme-Test (85 %r.F.@85°C) für 25 Jahre als Funktion der Aktivierungsenergie des Degradationsprozesses für 4 Freibewitterungsstationen in Indonesien (schwarz), Israel (rot), Köln (grün) und Schneefernerhaus (blau).

Unter der Annahme, dass der dominierende Prozess die Diffusion von Wasser durch die polymeren Einbettungsmaterialien (Ethylvinylacetat) der Module ist wurden deren Diffusions- und Permeationskoeffizienten für Wasser temperaturabhängig gemessen und daraus die Aktivierungsenergien ermittelt. Diese liegt bei ca 34 kJ/mol, was eine Prüfdauer zwischen 3000h und 13000h (für die Tropen) erforderlich macht.

Zusammenfassung

Die Freibewitterung von Proben mit Monitoring des Umgebungsklimas und der mikroklimatischen Belastungen der Prüflinge in hoher zeitlicher Auflösung in Extremklimaten ermöglicht die Berechnung der lokal auftretenden Belastungen die Bewertung von Standorten entsprechend. Dies ist Grundlage für die Entwicklung geeigneter beschleunigter Gebrauchsdauerprüfverfahren, die den stärksten Beanspruchungen Rechnung tragen.

Eine zuverlässige Gebrauchsdauerabschätzung setzt Kenntnis des dominierenden Degradationsprozesses der unterschiedlichen Materialien und seiner Kinetik voraus, um damit ablaufende Degradationsprozesse berechnen und vorhersagen zu können.

Danksagung

Die Arbeit wurde mitfinanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU FKz: 0329978) und Industriepartner.

PERSISTENTE ORGANISCHE SCHADSTOFFE IM ALPENRAUM

MANFRED KIRCHNER, GERT JAKOBI, KARL-WERNER SCHRAMM,^{1,2}

¹HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN, FORSCHUNGSZENTRUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELT, INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE CHEMIE, INGOLSTÄDTER LANDSTR.1, 85764 NEUHERBERG, GERMANY

²TUM, WISSENSCHAFTSZENTRUM WEIHENSTEPHAN FÜR ERNÄHRUNG UND LANDNUTZUNG, DEPARTMENT FÜR BIOWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN, WEIHENSTEPHANER STEIG 23, 85350 FREISING, GERMANY
KIRCHNER@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE,

Persistente organische Schadstoffe (POPs) stellen ein globales Umweltproblem dar. Bei den POPs handelt es sich in der Mehrzahl um anthropogene Verbindungen. Diese wurden und werden zum Teil noch als Pestizide (Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordan, DDT, Mirex, Heptachlor, HCB, PeCB, HCH) eingesetzt, fanden als Industriechemikalien, wie Polychlorierte Biphenyle (PCBs) in Form von Flammschutz- und Kühlmittel Verwendung und entstehen als Verbrennungsprodukte bei der Müllverbrennung oder auch bei Waldbränden, wie Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF), PAHs und andere Verbindungen. In den Mitgliedstaaten der EU wurde die Produktion und Applikation von POPs im Rahmen der POP-Konvention 2004 verboten. In Entwicklungsländern Afrikas und Asiens dagegen, auch in den USA und Ländern Lateinamerikas werden sie zum Teil noch produziert und eingesetzt. POPs sind extrem schwer abbaubare Substanzen mit Halbwertszeiten bis zu 10 Jahren und länger. Sie können als Gase oder angelagert an Staub oder Aerosol in der Atmosphäre über weite Strecken transportiert, mehrfach deponiert und revolatilisiert und bevorzugt in kälteren Regionen (Pole, Gebirge) deponiert werden. Aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften können sie sich in unterschiedlichen Ökosystemen, in Nutzpflanzen und Tieren anreichern, in die menschliche Nahrungskette gelangen und schließlich auch im menschlichen Organismus gespeichert werden.

Die Alpen stellen für meteorologische Transportprozesse ein physikalisches Strömungshindernis dar, können durch die mit der Höhe abnehmenden Temperaturen speziell für POPs als Kondensationsfalle wirken und durch die nach oben zunehmenden Niederschlagsmengen zu verstärkter Deposition für Stoffe aus der Atmosphäre führen. Unter den Ökosystemen stellen besonders Wälder mit ihrer extrem großen effektiven Oberfläche eine signifikante biologische Senke dar.

Untersuchungsprogramme

Im Rahmen des Projektes MONARPOP (2005-2007) wurden im Alpenraum an über 40 Messstandorten und sieben Vertikaltransekten die Immissionskonzentration der POPs und deren Höhenabhängigkeit in der Luft mittels Passivsammlern (SPMD) untersucht. Parallel dazu wurde der Gehalt in Fichtennadeln und im Boden bestimmt. An drei alpinen Bergstationen, der Umweltforschungsstation Schneesfernerhaus, UFS, (D), dem Weissfluhjoch (CH) und am Observatorium Hoher Sonnblick (AT) wurden mittels speziell für diese exponierten Standorte entwickelter beheizter Depositionssammler der Gehalt im Niederschlag bestimmt und erstmalig auch mit speziell dafür entwickelten High- and Low- Volume-Samplern die Konzentration in der Luft gemessen. Diese Geräte werden auf Basis einer Trajektorienvorhersage via Internet so gesteuert, dass Aussagen zur Herkunft der Luftmassen aus vordefinierten Gebieten Europas getroffen werden können.

Im derzeit laufenden Projekt POPALP (2007-2011) wurden die Untersuchungen zur

Vertikalverteilung der POPs in den o.g. Umweltkompartimenten an einem erweiterten Vertikaltransekt im Nationalpark Berchtesgaden fortgeführt. Parallel dazu wurden an den drei alpinen Bergstationen die Depositionsmessungen und die herkunftsbezogenen Untersuchungen der Konzentration in der Luft kontinuierlich weitergeführt.

Ziele

Ziel von MONARPOP war es zunächst eine umfassende Bestandsaufnahme zur Belastung der Umweltkompartimente Boden, Fichtennadeln, Luft und Niederschlag des Alpenraumes mit POPs zu erstellen. Mit den Ergebnissen sollte gleichzeitig ein Beitrag für ein Instrumentarium zur Überprüfung der Wirksamkeit der Stockholm-Konvention geschaffen werden. Die hohe Komplexität der Prozesse bei Umweltuntersuchungen, wie z. B. die jahreszeitlich bedingten Temperaturunterschiede und unterschiedliche Niederschlagsmengen, das sehr variable Auftreten von Wetterlagen, die bei der Trajektorienbetrachtung ihren Eingang finden, begründen jedoch längere Beobachtungszeiträume und wiederholte Messungen. Mit der Fortführung der Messungen im Rahmen des Projektes POPALP und darüber hinaus sollen die Grundlagen zum Erkennen langfristiger Trends und damit auch ein Instrument zur

Kontrolle der Verpflichtungen, die sich aus der POP-Konvention ergeben, geschaffen werden.

Bisherige Ergebnisse

Wesentlichstes Ergebnis von MONARPOP war die Erkenntnis, dass die Konzentrationen zahlreicher organischer Schadstoffe in der Luft, in Fichtennadeln und im Waldboden in den Randalpen deutlich höher sind als in den zentralen Alpenbereichen, was die Barrierewirkung der Alpen dokumentiert.

Erstmalig auf Alpengipfeln durchgeführte Messungen der Immission von POPs belegen eindeutig den Transport von POPs über die Alpen. Die vertikale Verteilung der POPs zeigte ein sehr variables Bild, es wurden in Abhängigkeit von der Substanzgruppe sowohl Konzentrationszunahmen (z. B. Pestizide) als auch Konzentrationsabnahmen (z. B. PAHs) mit der Höhe beobachtet. Pestizide stammen aus Gegenden fern der Alpen, PAHs werden z.T. auch in Alpentälern emittiert.

Die Auswertungen der mittlerweile 5-jährigen Reihe der Depositionsmessungen an der UFS Schneefernerhaus zeigen z. B. für Endosulfan, ein inzwischen in der EU verbotenes Insektizid, für die Jahre 2005 bis 2010 einen abnehmenden Trend (Abb. 1). Dieser ist, bei deutlich höheren Konzentrationen, in den Sommermonaten stärker ausgeprägt als in den Wintermonaten. Ein analoges Verhalten wird auch an den

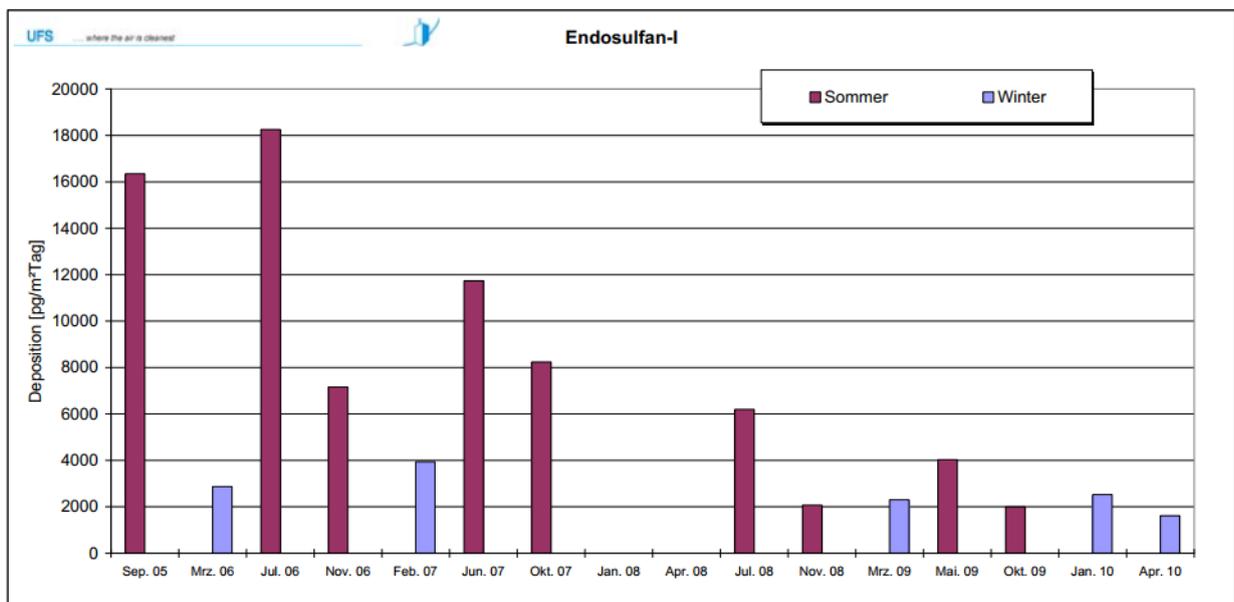


Abb.1: Zeitlicher Verlauf der Endosulfan-I (a) Depositionsrates an der UFS – Schneefernerhaus, 2005-2010

beiden anderen hochalpinen Standorten Weißfluhjoch und Sonnblick beobachtet.

Für Lindan (γ -HCH), ein seit 2002 in Europa ebenfalls nicht mehr zugelassenes Insektizid, wird eine deutlich schwächer ausgeprägte Abnahme beobachtet. Im Mittel werden bei den HCH-Konformeren in den sommerlichen Messperioden etwas höhere Werte als in den Wintermessperioden gefunden.

Für die Deposition der meisten Organochlorpestizide werden am nördlichen Alpenrand (UFS) signifikant höhere Werte als im Zentralbereich der Alpen (Weissfluhjoch) gemessen.

Ausblick

Zukünftig rücken neue, bisher nicht untersuchte Stoffe der Stockholm-Liste, wie polyfluorierte organische Verbindungen (PFCs) wegen ihrer hohen Toxizität in den Fokus weiterer dringend notwendiger Untersuchungen. Diese Verbindungen können sowohl über den Ferntransport eingetragen, aber lokal auch durch den Wintersport (Skiwachse) in alpine Ökosysteme eingebracht werden. Da die Verbindungen sehr persistent und zugleich gut wasserlöslich sind bestehen hier zudem nachhaltige Gefahren im Hinblick auf die Grund- und Trinkwasserqualität.

Parallel dazu soll die Erfassung der bisher bereits untersuchten POPs hinsichtlich Immission und Deposition an der UFS weitergeführt werden. Kontinuierliche Messungen über längere Zeiträume stellen für die Überprüfung der Wirksamkeit der Stockholm-Konvention eine essentielle Basis dar.

UMWELTBUNDESAMT

LUDWIG RIES¹, SHUBHA PANDEY², MICHAEL LEUCHNER³

¹UMWELTBUNDESAMT, DEUTSCHLAND

²INSTITUT FÜR ATMOSPHERE UND KLIMAFORSCHUNG, ETH ZÜRICH, SCHWEIZ.,

³FACHGEBIET FÜR ÖKOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, 85354 FREISING,
LUDWIG.RIES@UBA.DE

Das Umweltbundesamt Deutschland betreibt zusammen mit dem DWD die Plattform Zugspitze der GAW Globalstation Zugspitze/Hohenpeissenberg. Die Teilnahme an GAW ist gleichbedeutend mit der Durchführung eines langfristigen Messprogramms mit Qualitätsmessungen nach Stand der Wissenschaft. Das Programm des Umweltbundesamtes konzentriert sich auf die Messung von Klimagasen, chemisch reaktiven Gasen und ultrafeinen und feinen Aerosolen. Im Unterschied zu anderen Institutionen an der Umweltforschungsstation, deren wissenschaftliche Aktivitäten von Projekt zu Projekt wechseln, besteht der Beitrag zum Global Atmosphere Watch Programm der UNO/ WMO aus einem konstanten Messprogramm.

PAN in der unteren freien Troposphäre
Peroxyacetylnitrat (PAN) ist eine reaktive Stickstoffverbindung, die gealterte, anthropogen belastete Luft charakterisiert. PAN, ein troposphärische Speichermolekül sammelt $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}_2$ und NO_2 . Neben Ozon und Wasserstoffperoxid ist es der wichtigste Bestandteil von fotochemischem Smog. Die atmosphärische Stabilität von PAN nimmt mit tiefen Temperaturen zu. Leicht flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC) werden durch eine Serie von fotochemischen Reaktionen oxidiert. Nachfolgende Reaktionen mit NO_2 produzieren PAN.

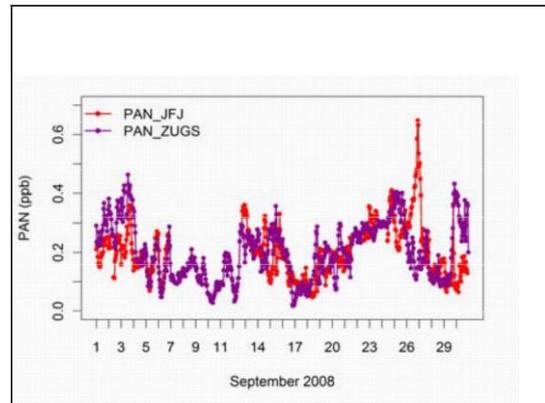


Abb.1: Vergleich von 30 min PAN Mittelwerten im September 2008

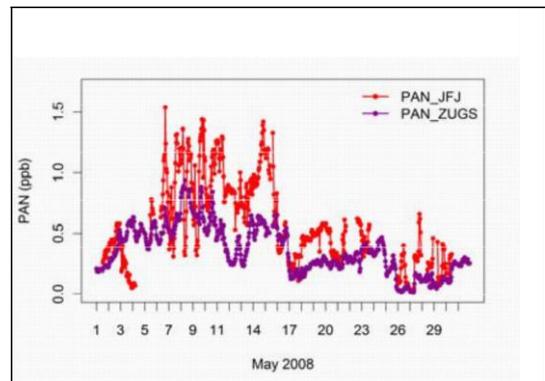


Abb.2: Vergleich von 30 min PAN Mittelwerten im Mai 2008

Im Rahmen einer Doktorarbeit an der ETHZ, [S. Pandey Deolal et al. 2011], wurden PAN Messreihen der Stationen Jungfraujoch (2008) und Zugspitze (05/2004-2008) in einer vergleichenden Untersuchung ausgewertet. Messungen an beiden Standorten zeigen eine starke saisonale Variation mit Maximalkonzentrationen im späten Frühjahr. Frühjahrsmaxima von PAN sind ein typisches Muster an Hochgebirgsstationen. Genaue Trajektorien und Transportanalysen zeigten, dass PAN Maxima mit europäischen Quellen

und nicht mit interkontinentalen Transporten verbunden sind. Als hauptsächliche Quellregionen wurden Nordosteuropa, das Po Tal und die Mailänder Region identifiziert.

Während des Frühjahrs zeigt die Station Zugspitze Tendenzen in Richtung niedrigerer Konzentrationen, die ungefähr um den Faktor $\frac{1}{2}$ reduziert sind. Dies kann auf höhere Temperaturen und ein niedrigeres PAN/NO_x Verhältnis zurückgeführt werden. Allgemein können die Ergebnisse dieser Studie als repräsentatives Beispiel für PAN Frühjahrsmaxima interpretiert werden, die sich auf Quellen aus der mitteleuropäischen Grenzschicht begründen.

Quellzuordnung von Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen (NMHCs) Neben Stickoxiden und solarer Einstrahlung spielen leichtflüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC) eine entscheidende Rolle in der Chemie der unteren Troposphäre bei der Bildung von Ozon und beim Haushalt des OH- Radikals. Im Rahmen einer zehnjährigen Reihe (1999-2008) wurden die atmosphärischen Konzentrationen von 21 leichtflüchtigen C₂-C₈ Kohlenwasserstoffen an der UFS durch das Umweltbundesamt ermittelt. Als Beitrag zum europäischen EMEP Programm wurden zwei Mal wöchentlich Kanisterproben genommen, von (1999-2001) am Mittag, von (2002-2008) um zwei Uhr morgens (MEZ), um sicher zu stellen, dass sich die beobachteten Konzentrationen auf das europäische atmosphärische Hintergrundniveau beziehen. Die Kanister wurden von der Probenahme zeitlich versetzt mit einem Gaschromatographen unter Verwendung eines Flammenionisationsdetektors (FID) analysiert. Erste Ergebnisse: Um die Variabilität von vorherrschend anthropogenen NMHCs an der UFS Schneefernerhaus zu erklären, wurde eine Quellenmodellierung unter Anwendung der positiven Matrixfaktorisierung (PMF) durchgeführt. Dazu wurden annähernd 17700 Messungen analysiert und Fehlwerte (n~60) durch den Median der Messgröße ersetzt. Die Messunsicherheiten variierten von 15 bis 80 %

für die betreffenden Substanzen, was von den Nachweisgrenzen des GC-FID und den Integrationscharakteristiken abhing. Mit dem verwendeten statistischen PMF Modell wurde eine Lösung von 7 Faktoren identifiziert.

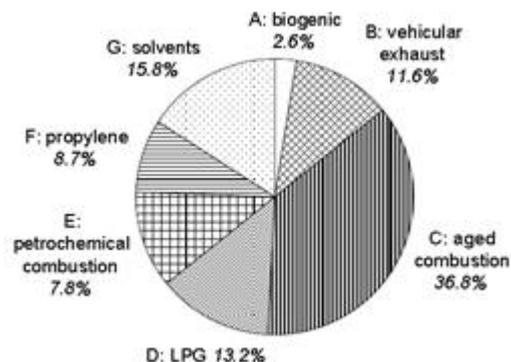


Abb. 3: Beiträge der sieben identifizierten Quellkategorien zur gemessenen NMHC Masse (in ppbC)

Die häufigsten Moleküle waren Ethan (2.26 ppbC), Propan (1.00 ppb C), Acetylen (0.73 ppbC) und Toluol (0.62 ppbC). Alle Substanzen außer Isopren leiten sich von anthropogenen Quellen ab. Der Faktor A mit dem kleinsten Massenbeitrag wird als biogen charakterisiert. Er besitzt nur die eine Hauptkomponente Isopren, die vorherrschend beim photosynthetischen Prozess von Pflanzen emittiert wird. Er kann nur 2,6 % der gesamten gemessenen Masse von NMHCs erklären und zeigt maximale Werte während der Vegetationsperiode im Sommer. Der am stärksten vertretene Faktor C mit einem Massenbeitrag von 36.8 % zur gemessenen Gesamtmasse der NMHCs kann auf gealterte Luft von Verbrennungsprozessen zurückgeführt werden. Faktor D erklärt 13.2 % der Gesamtmasse. Er kann als Flüssiggas (LPG) interpretiert werden. Es besteht hauptsächlich aus Propan, Isobutan und n-Butan. Beide Faktoren zeigen eine klare saisonale Variabilität mit Minima im Sommer und maximalen Werten im Winter. Die saisonalen Unterschiede in den Mischungsverhältnissen können zum Teil von den jahreszeitlichen Unterschieden der Hydroxylradikalkonzentrationen in der Atmosphäre herrühren und von sehr unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen im Sommer und im Winter, die den atmosphärischen Transport und die vertikale

Durchmischung von NMHCs beeinflussen. In der Nähe gelegene, jahreszeitlich unterschiedliche Belastungen von verschiedenen touristischen Aktivitäten auf der Zugspitze können teilweise die Variationen der LPG Quellen erklären. Denn auf dem Gipfel der Zugspitze wird Flüssiggas saisonal variierend gelagert.

Teilnahme an QA/SAC Aufgaben

Seit 2001 unterstützt die GAW Station zweimal jährlich das GAWTEC Ausbildungsprogramm mit Kursen über angewandte Qualitätssicherung und Datenverarbeitung speziell an GAW Stationen.

Qualitätssicherung und internationale Vergleichsmessungen

In 2009 und 2010 wurde am folgenden Messvergleichen teilgenommen: Weltweite NOAA/WMO Vergleichsmessungen und CARBO EUROPE Ringversuche für CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , CO , H_2 .

Zusammenarbeit mit der bulgarischen GAW-Station

Vom Dezember 2010 bis März 2011 werden 3 Wissenschaftler der bulgarischen GAW-Station Beo Mousalla an die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus eingeladen zum wissenschaftlichen Austausch über Messtechnik, Datenqualitätssicherung und statistische Datenauswertung.

DZUG – DOWNSCALING PROJEKT ZUGSPITZE: ERSTE SCHRITTE IN RICHTUNG HOCHPRÄZISER KLIMAPROJEKTIONEN

CHRISTOPH BECK, ANDREAS PHILIPP, JUCUNDUS JACOBET

UNIVERSITÄT AUGSBURG, C. BECK@GEO.UNI-AUGSBURG.DE, A. PHILIPP@GEO.UNI-AUGSBURG.DE

Im Rahmen eines langfristig angelegten Projektes zur Optimierung von Downscalingtechniken werden in einer Phase zunächst Wetter- und Zirkulationsklassifikationen herangezogen, um die Abhängigkeit lokaler Temperatur- und Niederschlagschwankungen im Zugspitzgebiet von großskaligen atmosphärischen Zirkulationsveränderungen zu erfassen. Eine experimentelle Vorstudie zeigt vielversprechende Teilergebnisse, aber auch noch bestehende Defizite. Auf Grundlage von Ergebnissen der COST Action 733 werden im weiteren systematische Optimierungsmöglichkeiten, wie z. B. die Größe des Klassifikationsausschnitts, evaluiert.

Einführung

Die Zugspitzregion stellt einen Hochgebirgsraum mit sensitivem Ökosystem dar, der in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen ist. Dies prädestiniert diesen Standort zum einen als Indikator für Klimawandel, zum anderen stellt dieser selbst eine kritische Größe im Kontext von Umweltschutz und anthropogener Nutzung im Zugspitzgebiet dar. Die Untersuchung möglicher zukünftiger Entwicklungen auf negative Auswirkungen hin erhält dadurch hohe Priorität.

Im Rahmen einer langfristigen Optimierung von Downscalingtechniken wird angestrebt, die von globalen Klimamodellen mit relativ hoher Verlässlichkeit simulierten Veränderungssignale im großskaligen Zirkulationsfeld auf die regionale und lokale Skala zu überführen. In einem ersten Ansatz werden hierzu Zirkulationsklassifikationen verwendet, deren Häufigkeitsveränderungen in modellierten Projektionsszenarien im weiteren

Projektverlauf Hinweise auf lokale Veränderungen geben sollen.

Experimentelle klassifikationsbasierte Kurzfrist-abschätzung der Temperatur

Um ein erstes Referenzmodell für die klassifikationsbasierte Abschätzung der Temperatur aufzustellen, wurde ein automatisches Onlinesystem zur Kurzfristabschätzung der Temperaturen der DWD-Station Zugspitze entwickelt. Hierzu wurden für jeden Monat 10 Wetterlagen- bzw. Zirkulationsklassen mithilfe einer Clusteranalyse der Gitterfelder zwischen 0-20°E und 42,5-52,5°N bestimmt. Als Eingangsvariablen des Klassifikationsverfahrens werden in einer ersten Variante geopotentielle Höhen, Windkomponenten und Temperaturfeld des 850 hPa-Niveaus sowie geopotentielle Höhen des 300 hPa und Wind- und Temperaturfeld des 500 hPa-Niveaus verwendet. Eine alternative Variante beinhaltet nur das 500 hPa Geopotential. Die mit ERA40-Daten im Zeitraum 1957 bis 2002 erzeugten Klassen wurden anschließend mit den Temperaturwerten der DWD-Station Zugspitze tageszeitspezifisch für 0, 6, 12 und 18 Uhr kalibriert. Als typischer Temperaturwert jeder Klasse wurde hierzu der Median der klassenspezifischen Temperaturverteilung dem Mittelwert vorgezogen, um den Einfluss von Ausreißern zu mindern. Um aktuelle Modellabschätzungen zu erzeugen, werden die vom DWD über FTP zweimal täglich bereitgestellten 6-stündlichen GME-Modelldaten den Klassenzentroiden nach minimaler Euklidischer Distanz zugeordnet und der Kalibrationstemperaturwert der jeweiligen Klasse eingesetzt. Abbildung 1 zeigt die Zeitreihen der gewonnenen Modellzeitreihen im Vergleich zu DWD-Beobachtungsdaten.

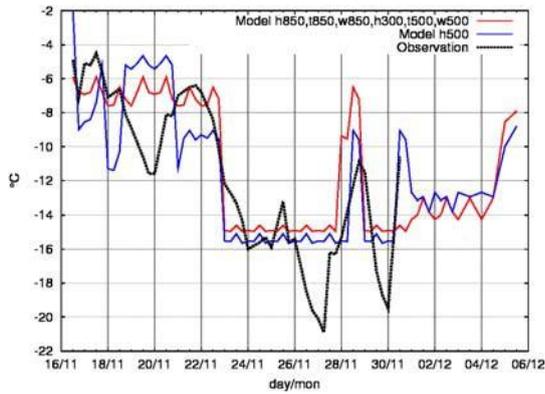


Abb.1: Beobachtete und mit klassifikationsbasierten Modellen abgeschätzte Temperaturwerte für die DWD-Station Zugspitze für den Zeitraum 16.11.2010 00 Uhr bis 06.12.2010 00 Uhr; rot: Modell auf Grundlage mehrerer Variablenfelder (siehe Text), blau: Modell auf Grundlage des 500 hPa-Geopotentialfeldes; schwarz: Beobachtungen. Der Spearmankorrelationskoeffizient beträgt 0,78 bzw. 0,75 für h500.

Obwohl in diesem Beispiel wesentliche Varianzanteile modelliert werden können wie z. B. der Kälteeinbruch am 23.11. oder die Erwärmung am 28.11., werden einzelne Schwankungen wie der Durchzug eines Kaltlufttropfens am 26.11. noch nicht erfasst.

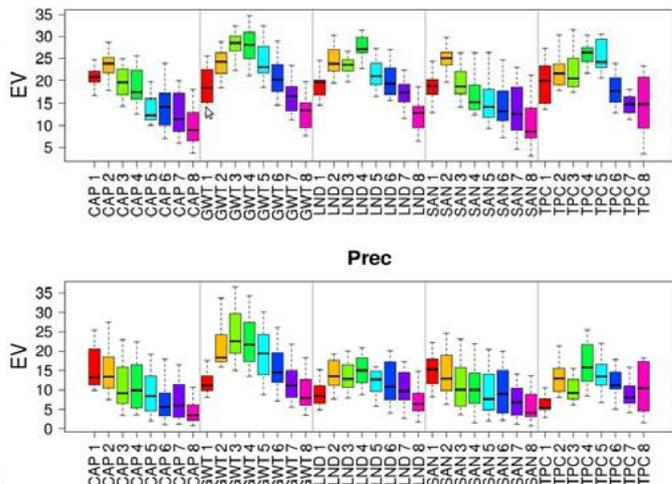
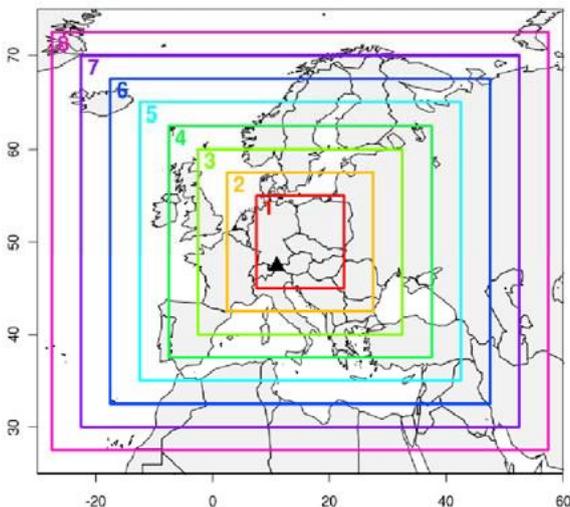
Systematische Evaluierung und Optimierung von Klassifikationen

Im Rahmen der Beteiligung an der EU COST Aktion 733 „Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions“ wurden unter anderem umfangreiche Untersuchungen zur Trennschärfe von Zirkulationsklassifikationen sowohl für die klassifizierte

verschiedene klimatische Zielvariablen (z. B. Lufttemperatur, Niederschlag) durchgeführt. Eine der verwendeten Maßzahlen für die Trennschärfe einer Zirkulationsklassifikation für eine klimatische Zielvariable ist die erklärte Varianz ($EV = 1 - \text{typinterne Streuungsquadratsumme} / \text{Gesamtstreuungsquadratsumme}$). Ergebnisse aus der COST Aktion 733 zeigen, dass die Trennschärfe von Klassifikationen nicht nur vom jeweiligen methodischen Ansatz (z. B. Cluster- oder Hauptkomponentenanalyse), sondern - in meist sogar stärkerem Maße - auch von methodenunabhängigen Konfigurationsaspekten (z. B. Art und Anzahl der klassifizierten Variablen) abhängig ist.

In Abb.2 sind ausgewählte Ergebnisse einer Untersuchung zur Relevanz der Größe des der Zirkulationsklassifikation zugrunde gelegten räumlichen Ausschnitts für die Güte des Zusammenhangs zwischen Zirkulationsklassifikationen und bodennahen meteorologischen Variablen (ausgedrückt durch die erklärte

Abb.2: 2 (links) Variierende räumliche Ausschnitte (1-8) zur Bestimmung von Zirkulationsklassifikationen; das schwarze Dreieck gibt die Lage der Zugspitze an. (rechts) Erklärte Varianzen (EV in %) verschiedener Zirkulationsklassifikationen für Tageswerte der Lufttemperatur (2mT) und des Niederschlags (Prec) an der Station Zugspitze (1957-2002). EV-Werte sind angegeben für 5 Zirkulationsklassifikationen (siehe Text) in jeweils 8 Varianten (räumliche Ausschnitte 1-8). Jeder Boxplot basiert auf 12 monatspezifisch ermittelten EV-Werten



Variable (meist Bodenluftdruck) als auch für

Varianz) am Beispiel der Tageswerte von Temperatur und

Niederschlag an der Station Zugspitze dargestellt.

Fünf unterschiedliche Methoden zur Zirkulationsklassifikation, die jeweils als repräsentativ für ein grundlegendes Klassifikationskonzept gelten können, wurden jeweils für insgesamt 8 unterschiedlich große räumliche Ausschnitte (linker Teil von Abb.2) berechnet: CAP (S-modale Hauptkomponentenanalyse und nachfolgende nichthierarchische Clusteranalyse), GWT (schwollenwertbasierte Zuordnung zu Prototypen), LND (Korrelationsanalyse), SAN (mittels „simulated annealing“ und „diversified randomization“ optimierte nicht hierarchische Clusteranalyse), TPC (T-modale Hauptkomponentenanalyse).

Die einzige klassifizierte Variable ist in allen Fällen der Bodenluftdruck aus täglichen (12UTC) ERA40 Reanalysefeldern. Alle Klassifikationsvarianten beinhalten 18 Klassen (Zirkulationstypen).

In monatlicher Differenzierung wurden anschließend für jede Klassifikation die erklärte Varianz für die Tageswerte der Lufttemperatur und des Niederschlages berechnet (rechter Teil von Abb.2).

Höhere Werte der erklärten Varianz sind generell für die Zielvariable Lufttemperatur gegenüber der Zielvariablen Niederschlag festzustellen. Daneben bestehen - mehrheitlich allerdings geringe - Unterschiede zwischen den einzelnen Klassifikationsmethoden. Demgegenüber sehr viel deutlichere Variationen der EV-Werte sind in Abhängigkeit von der Größe des für die Klassifikation verwendeten räumlichen Ausschnittes ausgeprägt. Tendenziell werden dabei die höchsten EV-Werte bei Verwendung von räumlichen Ausschnitten erreicht, die sich über höchstens 40 Längen- und 30 Breitengrade erstrecken.

Auf der Grundlage der verfügbaren Evaluierungsergebnisse werden in zukünftigen Projektphasen bestehende Zirkulationsklassifikationen zielgerichtet modifiziert und erweitert werden, um die anvisierte

Optimierung klassifikationsbasierter Downscaling-Methoden zu realisieren.

IN-SITU UNTERSUCHUNGEN ZUR WOLKENMIKROPHYSIK UND AEROSOL- WOLKENPROZESSEN

ERIC SCHLOSSER, MARTIN SCHNAITER, THOMAS LEISNER

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT), INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMAFORSCHUNG - ATMOSPHERISCHE 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. Auf der Zugspitze werden in Feldexperimenten umfassende Aerosolanalytik und schnelle Einzelpartikelinstrumente zur Charakterisierung des Aerosols, der Wolkentröpfchen und Eispartikel eingesetzt.

In einer Messkampagne im Februar 2010 wurde beobachtet, dass Wolken, die oft von Westen über die Umweltforschungsstation streichen, im schnellen Wechsel Abschnitte aufweisen, die aus unterkühlten Wassertropfchen bestehen oder komplett vereist sind. Es wurden aber auch Mischwolken beobachtet, die nur eine kurze Lebensdauer haben sollten. Erste Messungen zur Verteilung von Rußpartikeln und Bioaerosolen innerhalb und außerhalb solcher Wolken geben Hinweise zum Einfluss von Aerosolzusammensetzung und Wolkeneigenschaften.

Atmosphärische Aerosolforschung am KIT
Am Campus Nord des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) werden im Laboratorium die Wechselwirkungen von Aerosol und Wolken auf verschiedenen Skalen untersucht. Auf der Größenordnung von Mikrometern können einzelne, levitierte Tröpfchen

untersucht werden. In der 85 m³ großen Wolken- und Aerosol-Simulationskammer AIDA werden in großem Maßstab seit über zehn Jahren Aerosol-Wolkenwechselwirkungen unter kontrollierten Bedingungen erforscht. Dabei können gezielt atmosphärisch relevante Bedingungen über einen weiten Temperatur, Druck und Feuchtebereich eingestellt werden. Durch Zugabe von verschiedenen Stoffen als wohldefiniertes Aerosol und anschließende Drucksenkung, bzw. adiabatische Expansion in der Kammer kann die Funktion von Aerosolen als Kondensations- und Eiskeime systematisch untersucht werden. Weiterhin können an der Kammer Messinstrumente, die im Labor und im Feld eingesetzt werden, getestet, verglichen und weiterentwickelt werden.

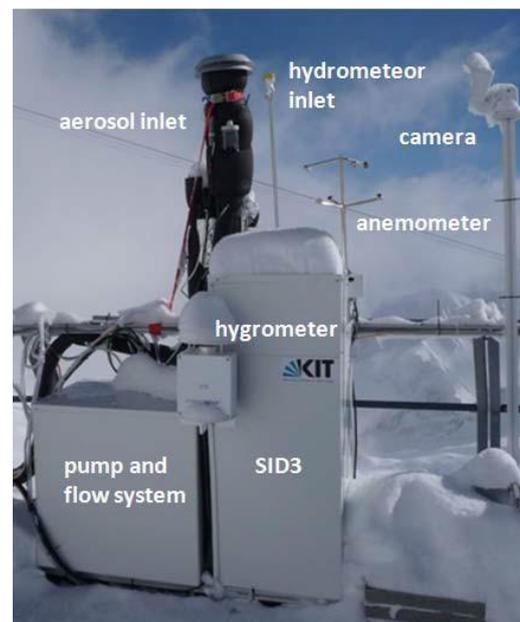


Abb.1: Eine mobile Messstation zur Untersuchung von Aerosol-Wolkenwechselwirkungen auf der Dachterrasse des Schneefernerhaus. Weitere Instrumente wurden im Labor darunter installiert.

Untersuchung von Wolkeneigenschaften und Aerosolprozessierung

Die Zugspitze bietet hervorragende Bedingungen, um Wolken vom Boden aus zu beproben und Antworten auf folgende Fragen zu suchen:

- Welche natürlichen und anthropogenen Aerosole können außerhalb und innerhalb von Wolken beobachtet werden und welche physikalischen und chemischen Eigenschaften haben sie?
- Wie viele und welche dieser Aerosolpartikel fungieren als Eiskeime, die eine wichtige Rolle auf die Wolkeneigenschaften, -dynamik und Niederschlag haben?
- Wie ist das Verhältnis von Eis- und Wasserphase insbesondere in Mischwolken und welche Rolle haben dabei Aerosole aus verschiedenen Quellen?
- Welchen Anteil haben Eismultiplikationsprozesse bei der Vereisung von vergleichsweise warmen Wolken (über -9°C)?
- Wie werden Aerosolpartikel mit anderen Aerosolkomponenten gemischt, wenn sie durch Wolken prozessiert werden und wie verändern sich dadurch die Eigenschaften der Aerosole?

Feldmessungen auf dem Schneefernerhaus

Es ist geplant diese Fragen durch kontinuierliche Messungen und Messkampagnen auf der Dachterrasse des Schneefernerhaus zu adressieren. Die erste Messkampagne fand im Februar 2010 statt (Abb. 1).

Es wurden Konzentrationen und Größenverteilungen des Aerosols innerhalb und außerhalb von Wolken charakterisiert. Dazu wurde neben Partikelzählern und Aerosolspektrometern auch ein Instrument des Umweltbundesamts (Multi Angle Absorption Photometer, MAAP) zur optischen Charakterisierung des Aerosols herangezogen und mit Messungen eines Rußmessgeräts (Single Particle Soot Photometer, SP2) verglichen. Das SP2 ist eines der schnellen Einzelpartikelinstrumente, mit denen die optischen und chemischen Eigenschaften beprobt wurden. Mit einem weiteren Einzelpartikelinstrument (Wide Issue Bioaerosol Sensor, WIBS) wurde der Anteil von Bioaerosol bestimmt. Mit dem Wolkenpartikelinstrument SID3 (Small Ice Detector) konnten Eis und Mischwolken mikrophysikalisch charakterisiert werden (Abb. 2).

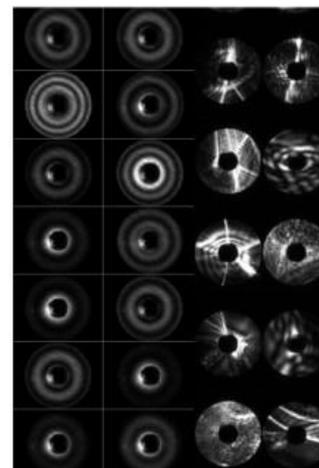
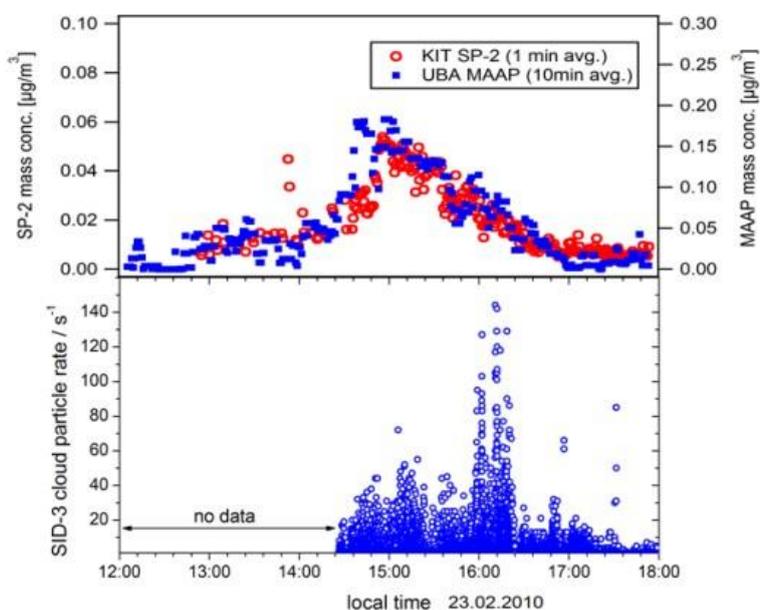


Abb.2: Links die Messungen von Ruß- und Bioaerosol sowie Einzelpartikelmessungen in einer Mischwolke. Rechts die Streumuster von unterkühltem Wassertröpfchen und Eisteilchen.

Die Auswertung der schnellen SID₃-Einzelpartikelmessungen zeigt, dass sich in einer Mischwolke Wolkenabschnitte, die nur aus kleinen unterkühlten Wassertropfen mit einem aus dem Beugungsmuster abgeleiteten Durchmesser von $2,9 \pm 1,3 \mu\text{m}$ bestehen, schnell mit Wolkenabschnitten abwechseln, die auch einen Anteil meist bereifter Eiskristalle enthalten, abwechseln.

Die ersten Messungen mit dem SP₂ und WIBS zeigen, dass in der beobachteten Mischwolke die Rußpartikelkonzentration erhöht ist, während die gemessene Fluoreszenz der Partikel auf keine Änderung der Bioaerosolkonzentration hinweist. Die Messungen deuten darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen dem Grad der Vereisung und der Massenkonzentration von Ruß in Wolken besteht.

Weitere Messungen sind geplant, um die genannten Fragen zu beantworten und die ersten Ergebnisse genauer zu untersuchen. Dazu sind Langzeitmessungen auf der Zugspitze geplant, die durch Messkampagnen mit schnellen Einzelpartikelinstrumenten ergänzt werden. Dabei können die Synergien mit anderen Forschungsgruppen, die auf der Umweltforschungsstation Aerosol-Langzeitmessungen, Wolken- und Niederschlagsfernerkundung, Wolkendynamik und Turbulenz sowie meteorologische Modellierung betreiben, genutzt werden.

BAYERISCHES GESUNDHEITSWETTER – ENTWICKLUNG EINES SPEZIFISCHEN GESUNDHEITSINDEX FÜR ATEMWEGSERKRANKUNGEN

JULIAN MEYER-ARNEK², EVA REGINA WANKA¹, CHRISTOPH BERGEMANN², ANDREAS BAYERSTADLER³,
TERESA EXNER³, UTA FERRARI¹, REINHOLD FISCHER¹, CHRISTIAN HEUMANN³,
MICHAEL BITTNER², RUDOLF MARIA HUBER¹

¹KLINIKUM DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN, MEDIZINISCHE KLINIK INNENSTADT – PNEUMOLOGIE, ZIEMSENSTR.
1, 80336 MÜNCHEN

²DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V. (DLR), 82234 WESSLING

³INSTITUT FÜR STATISTIK, LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT, LUDWIGSTR. 33, 80539 MÜNCHEN

Ziel des LMU-DLR-Kooperationsprojekts "Bayerisches Gesundheitswetter" ist die Entwicklung eines spezifischen Gesundheitsindex für Atemwegserkrankungen. Relevante Umweltinformationen und medizinische Datensätze werden miteinander in Verbindung gebracht, um den Einfluss von Umweltfaktoren auf das Wohlbefinden der Patienten zu quantifizieren. Weiterhin soll der entwickelte Index dazu eingesetzt werden, bei vorhergesagten ungünstigen Wetter- bzw. Luftschadstoffssituationen leichtverständliche Informationsprodukte bzw. Warnungen zu veröffentlichen.

Einleitung

Wetter und seine Änderungen sind nicht ursächlich für Erkrankungen verantwortlich. Bestehende Vorerkrankungen können sich jedoch durch Umwelteinflüsse verschlechtern. Die medizinische Erfahrung zeigt, dass Patienten mit Atemwegserkrankungen oftmals auf kalte und feuchte Witterung reagieren. Diese Patientengruppe ist außerdem besonders anfällig für Belastung mit Luftschadstoffen. Erhöhte Feinstaub- und/oder Ozonkonzentrationen führen zu einer Zunahme von Asthmaanfällen.

Medizinische Daten

Bisherige Studien haben sich hauptsächlich auf Sterbefälle bzw. auf stationäre Krankenhausweisungen konzentriert. Beide Maßzahlen basieren jedoch auf einem eskalierten Gesundheitszustand, den es zu vermeiden gilt.

Dieses Projekt zielt darauf ab, Präventions-

maßnahmen zur Verbesserung des Wohlbefindens der Patienten zu ermöglichen. Dazu werden Einflussgrößen auf unterschiedliche medizinische Versorgungsstrukturen wie z. B. Arztbesuche oder Notrufe analysiert.

Das Projekt untersucht zunächst Atemwegserkrankungen in Bayern, die teilweise in spezifische chronische Erkrankungen wie COPD (chronic obstructive pulmonale disease) oder Asthma differenziert werden. Tägliche Anzahlen folgender Datenquellen werden auf Landkreisebene analysiert:

- Arztkontakte beim Hausarzt / Facharzt,
- Anrufe bei medizinischen Call-Centern,
- Rettungsdienst- und Notarzteinsätze,
- Rezepteinlösungen.

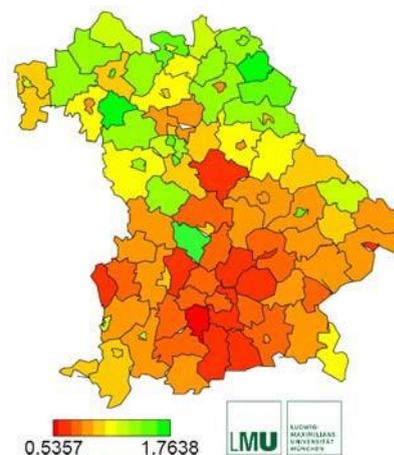


Abb.1: Anzahl der Arztkontakte von Patienten mit COPD in Bayern standardisiert auf die Einwohnerzahl pro Landkreis in 2006-2007

Exemplarisch zeigt Abbildung 1 die Anzahl der Arztkontakte von Patienten mit COPD in Bayern

standardisiert auf die Einwohnerzahl pro Landkreis in 2006-2007.

Als Ergänzung zur rein statistischen Vorgehensweise wird eine COPD-Patientenkohorte über ein Jahr hinweg beobachtet. Während dieser Zeit messen die Patienten zweimal täglich ihre Lungenfunktion und führen ein Krankentagebuch, in dem sie u. a. Angaben zum individuellen Wohlbefinden machen. Zusätzlich finden vorrangig bei Situationen mit hoher Belastung in München Fahrten zum Schneefernerhaus statt. Dort werden in veränderter Umgebung in fast 3000 m Höhe medizinische Messungen durchgeführt.

Alle genannten medizinischen Datenquellen sind stark durch administrative Effekte wie Wochentag oder Ferien beeinflusst.

Die ermittelten Ergebnisse und Modelle werden zusätzlich auf weitere Erkrankungen transferiert.

Umweltdaten

Um den Einfluss von Umweltparametern auf die Gesundheit der Patienten zu identifizieren, müssen alle vorhandenen unterschiedlichen thematischen Datensätze miteinander in Verbindung gebracht werden.

Es wird angenommen, dass die Witterung das Wohlbefinden der Patienten massiv beeinflusst. Dabei ist nicht nur eine lineare Reaktion zu erwarten. Beispielsweise existieren nachgewiesene Komfortbereiche für Temperatur und Feuchte, außerhalb derer negative Gesundheitsauswirkungen nachgewiesen wurden.

Ein äußerst wichtiger Faktor für das Wohlbefinden ist Luftverschmutzung. Insbesondere Atemwegserkrankungen werden durch atmosphärische Spurengase verstärkt. Für erhöhte Ozon-, NO₂- und Partikelkonzentrationen (particulate matter, PM) sind derartige Effekte nachgewiesen. Die Hälfte aller Partikel mit einem Durchmesser von 10 µm (PM₁₀) erreicht beim Atmen die Lunge, Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 2.5 µm (PM_{2.5})

können sogar die Blut-Hirn-Schranke überwinden.

Die Konzentrationen von Spurengasen und Partikeln werden routinemäßig an Luftmessstationen überwacht. In Bayern wird das landesweite Messnetz (ca. 60 Stationen) vom Landesamt für Umwelt (LfU) betreut.

Die Messungen sind jedoch lediglich für einen räumlich limitierten Bereich in der Anströmungsrichtung der Station repräsentativ, nicht jedoch für ein mehrere hundert Meter oder Kilometer großes Gebiet. Um diesen Nachteil auszugleichen, werden Chemie-Transport-Modelle angewandt. Diese berücksichtigen anthropogene sowie biogene Emissionen, das Wettergeschehen (Temperatur, Wind, Sonnenschein) und die chemischen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen in der Atemluft befindlichen Substanzen. Außerdem ermöglichen Modelle die Erstellung von Vorhersagen (mit hoher Verlässlichkeit für 72-Stunden-Vorhersagen).

Entwicklung des Luftqualitätsmodells

Das Ziel des Projektes ist die Drei-Tages-Vorhersage des Gesundheitsrisikos für Asthma- und COPD-Patienten aufgrund von Luftbelastung. Diese Information muss mit einer hohen räumlichen Auflösung angeboten werden, um lokalen Effekten Rechnung zu tragen.

Wettervorhersagen werden mit Hilfe des "Weather Research and Forecast model" (WRF) erstellt. Die Wechselwirkungen zwischen dem Wetter, den Emissionen (die vom „Landesamt für Umwelt“ (LfU) zur Verfügung gestellt wurden) und den chemischen Bestandteilen der Atemluft werden vom Chemie-Transport-Modell POLYPHEMUS/DLR berechnet.

Mit POLYPHEMUS/DLR stehen routinemäßig Vorhersagen zur Luftqualität in Bayern zur Verfügung, die auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik stehen. Abbildung 2 zeigt eine Vorhersage für den 4.10.2010.

Die Modellkette (Wetter- und Chemiemodell) wird routinemäßig am Deutschen Zentrum für

Luft- und Raumfahrt betrieben. Die von ihr prognostizierten Spurengaskonzentrationen werden allen Wissenschaftlern auf dem Schneefernerhaus zur Verfügung stehen.

Die Kombination der Expertise der Projektpartner auf den Gebieten Gesundheit und Luftqualität bzw. ihrer Vorhersage wird es ermöglichen, spezifische Informationen für Risikogruppen in einer leicht verständlichen Form anzubieten.

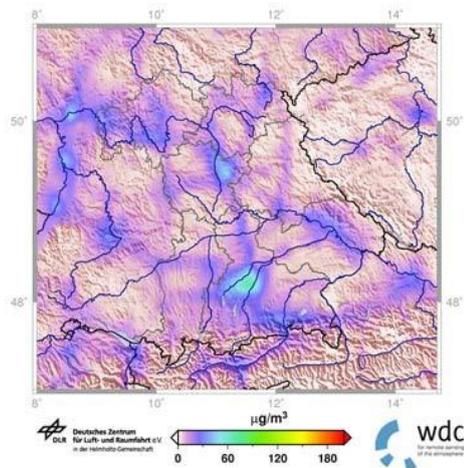


Abb.2: Luftqualitätsvorhersage des Luftqualitätsmodells POLYPHEMUS/DLR

DAS SCHNEEFERNERHAUS ALS HÖHENMEDIZINISCHES FORSCHUNGLABOR

*RAINALD FISCHER, EVA WANKA, UTA FERRARI, SUSANNE M. LANG, KATHRIN BRÜCKNER,
HANS-X. HOYER, RUDOLF MARIA HUBER
MEDIZINISCHE KLINIK INNENSTADT, PNEUMOLOGIE, UNIVERSITÄT MÜNCHEN*

Das Schneefernerhaus liegt in einer Höhe von 2650 m und damit gerade über der Schwellenhöhe von 2500 m, in der gesunde Menschen sich für einen Daueraufenthalt akklimatisieren müssen.

Für Patienten mit Vorerkrankungen (z. B. Herz- oder Lungenerkrankungen) kann bereits diese Höhe ein Problem darstellen.

Darüber hinaus ist die Lage des Schneefernerhauses äquivalent mit der Höhe, die als Kabineninnendruck von Verkehrsflugzeugen herrscht.

Damit stellt das Schneefernerhaus einen idealen Standort für höhenmedizinische Studien dar, insbesondere für Patienten mit Vorerkrankungen.

Im Rahmen dieser Studien konnten wir nachweisen, dass die bisher gültigen Grenzwerte für die Flugtauglichkeit bei Patienten mit Lungenerkrankungen hinterfragt werden müssen.

Weitere Untersuchungen an Patienten mit metabolischem Syndrom, Diabetes mellitus, Schlafapnoe oder Mukoviszidose belegen eindrucksvoll die guten Studienbedingungen am Schneefernerhaus.

Die maximale zulässige Kabineninnendruckhöhe von Verkehrsflugzeugen liegt bei 8000 ft, entsprechend einer Höhe von 2438m. Diese Höhe liegt nur knapp unter der Höhenlage des Schneefernerhauses und ermöglicht daher die Beurteilung der Flugtauglichkeit von Patienten mit Vorerkrankungen über Stunden oder Tage.

Wir konnten bei Studien an Patienten mit chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung, aber auch bei Patienten mit Mukoviszidose zeigen, dass viele dieser Patienten trotz relevanter Lungenerkrankung durchaus flugtauglich sind. Fast alle Patienten tolerieren einen mehrstündigen Aufenthalt auf dem

Schneefernerhaus ohne Symptome.

Leider sind Lungenfunktionsmessungen oder Hypoxietestungen im Tal nicht geeignet, die Flugtauglichkeit im Einzelfall vorherzusagen. Trotzdem zeichnet sich ab, dass gerade Patienten mit ausgeprägter bronchialer Obstruktion oder Bronchialkollaps in der Höhe nicht in der Lage den Mehrbedarf an Ventilation zu gewährleisten. Daher erscheint es sinnvoll, in der Prädiktion der Flugtauglichkeit nicht nur die Blutgase, sondern auch die Ergebnisse der Fluß-Volumenkurve heranzuziehen.

Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe scheuen oft vor Höhenaufhalten zurück, da sie nicht wissen, ob ihre nächtlichen Beatmungsgeräte den zusätzlichen Anforderungen gewachsen sind. Wir konnten in Studien am Schneefernerhaus zeigen, dass diese Befürchtungen durchaus gerechtfertigt sind. Zwar kommt es unter Verwendung der nCPAP-Geräte zu deutlich weniger Enttächtigungen, als wenn diese Geräte nicht verwendet werden, trotzdem gelingt es nicht, eine Oxygenierung wie in Tallage zu erreichen. Allerdings ist auch nicht ausreichend, alleine Sauerstoff zu geben.

Interessanterweise entstehen in der Höhenlage bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe, eventuell bedingt durch periodische Atmung, mehr zentrale Apnoen. Die Ursache hierfür ist nicht klar und wird derzeit untersucht.

Hypoxie induziert akut wie chronisch eine Aktivierung des Sympathikus. Dadurch kommt es zu einer Steigerung der Ventilation, aber auch des Grundumsatzes. Wir konnten zeigen, dass dies bei Patienten mit metabolischem Syndrom nach einem einwöchigen Höhenaufenthalt trotz normaler Kost zu einer signifikanten Gewichtsabnahme führt. Diese Gewichtsabnahme war auch vier Wochen nach

dem Höhengaufenthalt noch nachweisbar.

Bei einem Teil der Patienten war auch eine signifikante Verbesserung der Leistungsfähigkeit nachweisbar. Daher wäre es denkbar, dass Höhengaufenthalt einen Baustein in Plänen zur Gewichtsreduktion findet.

Auch bei Patienten mit Diabetes mellitus zeigte sich dieser positive Effekt, der Bedarf an Insulin war am ersten Tag in der Höhe deutlich reduziert, unabhängig vom Ausmaß der jeweiligen körperlichen Belastung.

KLIMAGRAD AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS IN DEN ALPEN - ERFASSUNG MITTELS HÖHENGRADIENTEN -

CHRISTINA SCHUSTER, MICHAEL LEUCHNER, ANNETTE MENZEL

FACHGEBIET FÜR ÖKOCLIMATOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, HANS-CARL-VON- CARLOWITZ-
PLATZ 2, 85354 FREISING, GERMANY, E-MAIL-ADRESSE: SCHUSTER@WZW.TUM.DE

Das vom Bayerischen Ministerium für Umwelt und Gesundheit geförderte Projekt KLIMAGRAD erforscht die Einflüsse des Klimawandels auf Gebirgsökosysteme im Werdenfelser Land (Bayern). Mit der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) als Ankerstation wird im Untersuchungsgebiet ein Höhengradienten – Messnetz aufgebaut. Dieses dient zur Initiierung und zum Ausbau von Forschungsinitiativen im Bereich Biosphäre-Atmosphäre. Im Projekt werden insbesondere Untersuchungen zu höhenabhängigen Vegetationsänderungen in der montanen bis subnivalen Stufe durchgeführt, biogene und anthropogene VOCs als klimarelevante Ozonvorläufersubstanzen und Stickstoffdeposition als zusätzlicher Stressfaktor erfasst.

Am Verbundprojekt KLIMAGRAD sind das Fachgebiet für Ökoclimatologie der Technischen Universität München, das Institut für Ökologische Chemie des Helmholtz Zentrums München, die Arbeitsgruppe Biogeographie der Universität Augsburg, der Botanische Garten München sowie der Lehrstuhl für Systematische Botanik der Ludwig Maximilians Universität München beteiligt. In mehreren Teilprojekten (Abb. 1) steht jeweils ein Aspekt des Themas Klimawandel in den Alpen im Mittelpunkt.

Am Botanischen Alpengarten am Schachen wird ein phänologisches Beobachtungsprogramm etabliert, das als Basis für ein langfristiges Monitoring in einem neuen Netzwerk von arktisch-alpinen botanischen Gärten eingesetzt werden soll.

Entlang von vier Höhengradienten rund um

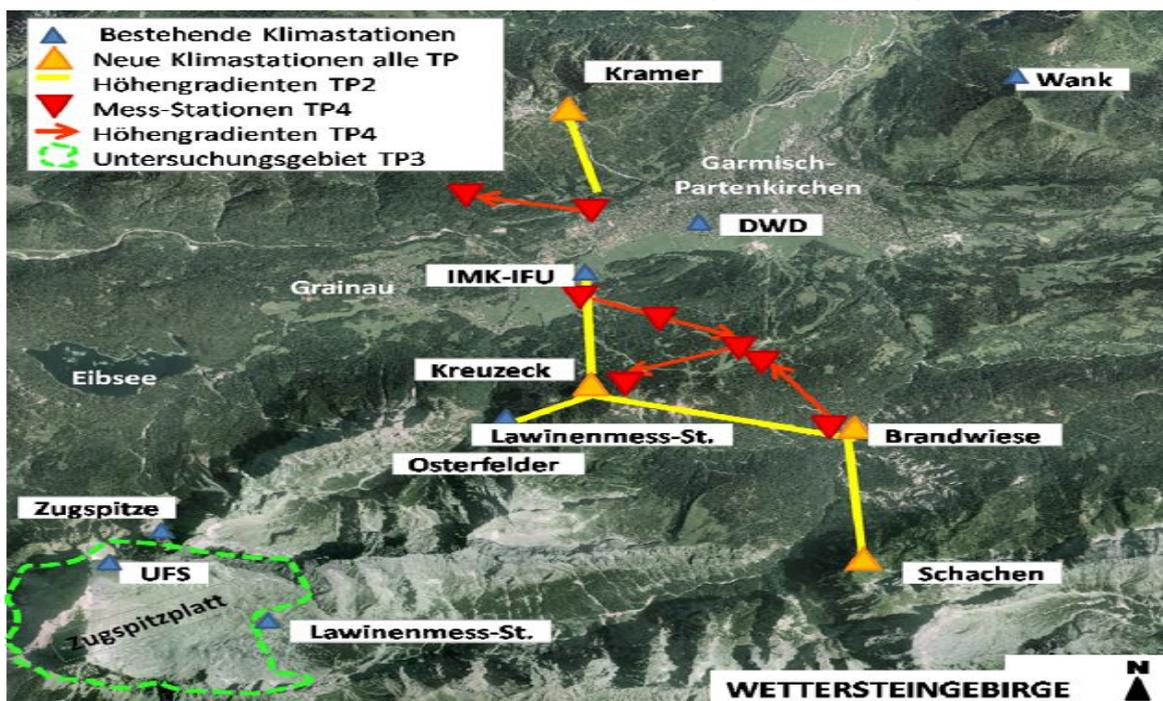


Abb.1: Übersicht der Standorte der neuen Klimastationen und der Teilprojekte

Garmisch-Partenkirchen

werden phänologische Beobachtungen von vegetativen und generativen Phasen (Blüte, Fruktifikation) an Baumarten der montanen Stufe durchgeführt und in Abhängigkeiten von Höhe, Temperatur und Standorteigenschaften analysiert.

An Gradienten am Kramer und am Kreuzeck/Hausberg wird speziell der Stickstoffeintrag in montane und subalpine Fichtenbestände am nördlichen Alpenrand untersucht.

Auf dem Zugspitzplatt werden Auswirkungen von klimatischen Veränderungen sowie anthropozogenen Einflüssen auf die Vegetation bewertet (siehe Beitrag HÖHENZUG).

Neue Klimastationen

Um eine grundlegende Infrastruktur für KLIMAGRAD zu schaffen, wurde der Aufbau und der Betrieb von vier neuen meteorologischen Stationen („Basisstationen“) in unterschiedlichen Höhenstufen rund um Garmisch-Partenkirchen erfolgreich umgesetzt. Sie liefern allen Projektpartnern umfangreiche klimatische Daten aus der Region. Nach mehreren Begehungen des Geländes und Absprachen mit den Bayerischen Staatsforsten, dem Projektpartner Botanischen Alpengarten am Schachen und Privatpersonen fiel die Flächenauswahl auf die Brandwiese (930 m ü.N.N.) im vorderen Reintal, die Felsenkanzel am Kramer-Südhang (1250 m ü.N.N.), die Kreuzalm am Kreuzeck (1600 m ü.N.N.) und den Botanischen Alpengarten Schachen (1830 m ü.N.N.).

Seit November 2009 (Schachen) bzw. März 2010 sind folgende Klimaparameter durch Übertragung per GPRS-Modem direkt und jederzeit im Internet verfügbar (Abb. 2):

- Globalstrahlung
- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Bodentemperatur in 5 und 25 cm Tiefe
- Oberflächentemperatur
- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit
- Niederschlag

Sie werden derzeit von 17 Nutzern sechs unterschiedlicher Institutionen für ihre Forschung im Raum Garmisch-Partenkirchen verwendet.

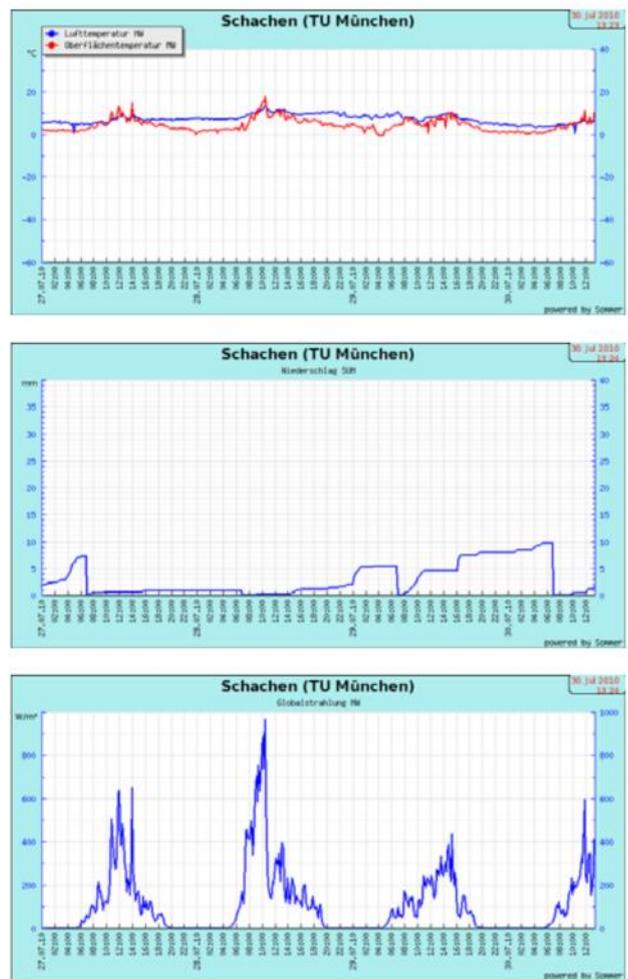


Abb.2: Beispiele der Datenübertragung von der Klimastation am Schachen auf den Internet-Server (27.-30.06.2010)

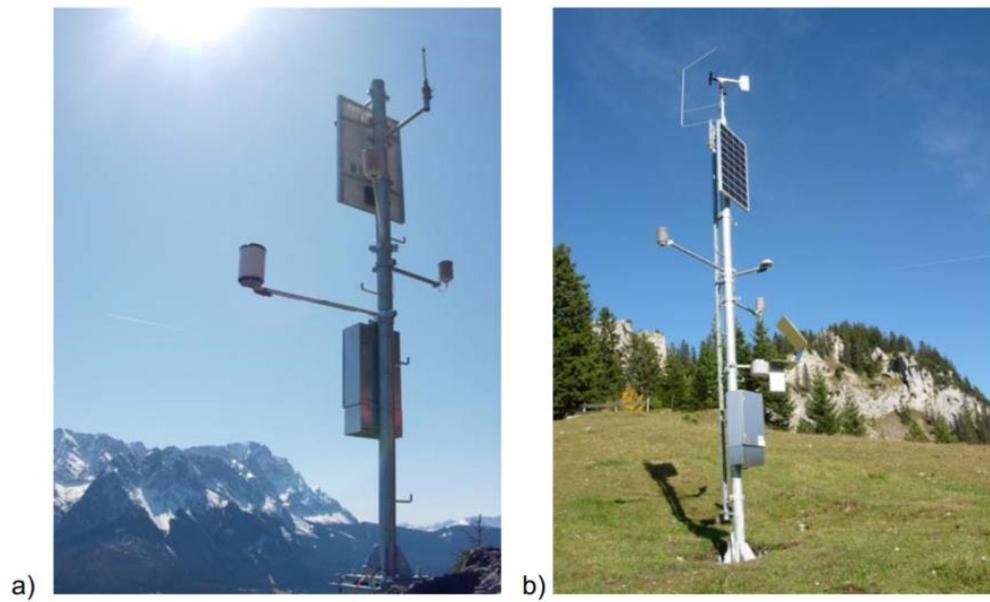


Abb. 3: Die Klimastationen an der Felsenkanzel mit Blick zur Zugspitze (a) und am Kreuzeck (b)

EIN MULTI-SENSOR ANSATZ ZUM VERBESSERTEN VERSTÄNDNIS DER SCHNEEMIKROPHYSIK: DAS TOSCA PROJEKT

ULRICH LÖHNERT¹, STEFAN KNEIFEL¹, ALESSANDRO BATTAGLIA², MARTIN HAGEN³,
LUTZ HIRSCH⁴, SUSANNE CREWELL¹

¹ INSTITUT FÜR GEOPHYSIK UND METEOROLOGIE, UNIVERSITÄT ZU KÖLN

² DEPARTMENT OF PHYSICS AND ASTRONOMY, UNIVERSITY OF LEICESTER, GREAT BRITAIN

³ DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT, INSTITUT FÜR PHYSIK DER ATMOSPHÄRE,
OBERPFAFFENHOFEN

⁴ MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE, HAMBURG

Auch wenn Schnee die dominierende Niederschlagsart in den Subpolar- und Polar-gebieten ist, existieren nur wenige zuverlässige Methoden, um die mikrophysikalischen Eigenschaften von Schnee zu bestimmen. Im Rahmen der TOSCA Kampagne wurden bodengebundene Fernerkundungsmessungen in Synergie mit direkten Messungen an der UFS durchgeführt. Diese Messungen eröffnen ein weites Feld, um die vertikale Struktur von Schnee zu erfassen, die für die Anwendung von Satellitenmessverfahren und numerischen Modellen benötigt wird.

Einleitung

Ein großer Anteil des globalen Niederschlags fällt als Schnee, aber auch Regen wird meistens über die Eisphase initiiert. Jedoch ist es äußerst schwierig Schnee zu messen. Die größte Herausforderung ist die hohe räumliche

und zeitliche Variabilität sowie die Komplexität der Eiskristalle, ihrer Dichte und Größenverteilung (PSD). Aufgrund der enormen Unsicherheit bei der Vorhersage von festem Niederschlag in Wettervorhersage- und Klimamodellen ist eine verlässliche Beobachtung des Schneegehalts von grundlegender Bedeutung.

Fernerkundungsmethoden sind momentan die einzigen Verfahren, die eine kontinuierliche Beobachtung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung liefern können. Zuverlässige Messungen am Boden sind wegen des starken Einflusses des Winds problematisch, noch erfolgen diese Messungen weder flächendeckend noch mit hoher zeitlicher Auflösung. Fernerkundungsverfahren für Satelliten sind noch nicht ausgereift und die Ergebnisse sind mit großen Unsicherheiten behaftet.



Abb.1: Messgeräte an der UFS im Winter 2008/2009. Oben von links nach rechts: Mikrowellenprofiler HATPRO, 90/150 GHz Radiometer DPR, 36 GHz Wolkenradar MIRA36. Unten von links nach rechts: 10 m Messmast, 2-dimensionales Video Distrometer, Wolkenhöhenmesser, Mikro-Regen-Radar, Parsivel Distrometer.

Messungen in Schnee mit einem Wolkenradar sind von dem Rückstreusignal der Eiskristalle dominiert. Dagegen sind die Messungen mit passiven Mikrowellenradiometern entweder unabhängig von der Streuung an Eis (unterhalb von 50 GHz) oder hängen sowohl von der Emission von unterkühltem flüssigen Wasser (SLW) als auch von der Streuung an Eis ab (oberhalb von 90 GHz). Daraus folgt, dass bei der Kombination von aktiven und passiven Mikrowellenmessungen eine Quantifizierung des SLW notwendig ist. Das SLW spielt ebenfalls eine Rolle beim Wachstum von Schnee durch Diffusion (Wasserdampfanlagerung), Bereifung (Anfrieren von Wolkentröpfchen an Eiskristalle) und durch Aggregation (Zusammenwachsen von zwei Eiskristallen).

Das TOSCA Projekt

Angesichts der oben erwähnten Herausforderungen wurden im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts TOSCA (Towards an Optimal estimation based Snow Characterizing Algorithm) an der UFS im Winter 2008/2009 Messungen mit einer einmaligen Kombination von Geräten (Abb. 1) durchgeführt. Der Fokus liegt in der Entwicklung von verbesserten Methoden zur Erfassung von Schnee und SLW in einer atmosphärischen Säule bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Die wissenschaftlichen Fragenstellungen von TOSCA sind:

- Wie ist der Einfluss der Eigenschaften von Schnee, seiner PSD und des SLW auf aktive und passive Mikrowellenbeobachtungen?
- Wie passen die TOSCA Beobachtungen zu den Ergebnissen von Strahlungstransfermodellen die unter der Annahme von allgemein bekannten Eiskristalleigenschaften und PSD erstellt wurden?
- Kann die Genauigkeit der Schneemessung verbessert werden, wenn aktive und passive Fernerkundungsmethoden kombiniert werden?

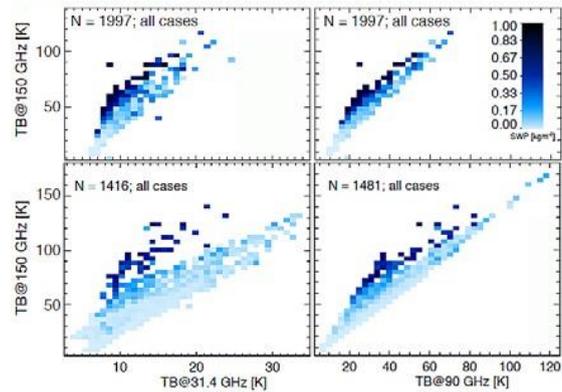


Abb.2: Streuplots der Helligkeitstemperatur als Funktion des SWP für die TOSCA Kampagne. Oben: Simulationen, unten: Messungen.

Mikrowellensignale in Schnee

Im Folgenden soll der Effekt des SLW und Schnee auf bodengebundene passive Mikrowellenmessungen herausgestellt werden. Abb.

2 zeigt Streuplots der Helligkeitstemperatur (TB) als eine Funktion des integralen Schneewassergehalts (SWP). Die Simulationen (oben) basieren auf Strahlungstransferrechnungen auf der Basis eines Wettervorhersagemodells (COSMO-DE). Die Messungen (unten) der TB stammen von den Mikrowellenradiometern, der SWP wurde mit dem Wolkenradar bestimmt. Die hohen SWP Werte bei zunehmender TB bei 150 GHz bestätigen die höhere Empfindlichkeit gegenüber des SWP im Vergleich zu 31.4 und 90 GHz. Bei 150 GHz ist die Streuung durch Schnee am größten, während bei 31.4 GHz das Signal im Wesentlichen durch Wasserdampf und flüssigem Wasser hervorgerufen wird. Im Gegensatz dazu wird bei den Messungen eine große Varianz bei 150 vs. 31.4 GHz beobachtet. Dies ist auf die unterschiedliche Abhängigkeit der TB von der Temperatur des SLW zurückzuführen. Bei 31,4 GHz führt die gleiche Menge SLW zu höheren TB bei kälteren Temperaturen. Bei 150 GHz ist dies gerade umgekehrt. Anscheinend ist in dem Modell der Temperaturbereich in dem SLW vorkommt im Vergleich zur Beobachtung eingeschränkt. Dies deutet darauf hin, dass das Modell das SLW unterschätzt.

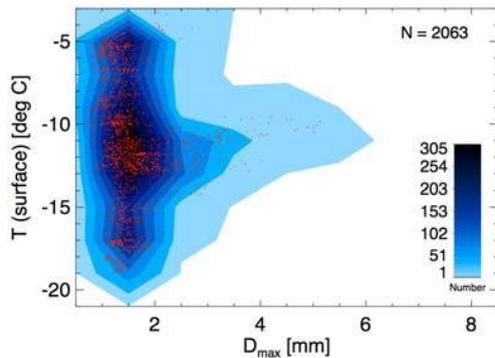


Abb.3: Lufttemperatur an der UFS als Funktion der maximalen Eiskristallgröße. Die Messungen aus 10 Minuten-Mittelwerten sind als orange Punkte gezeigt.

Beobachtungen von Schneekristallen

Bei der Auswertung der maximalen Teilchengröße D_{\max} (vom 2D-Video Distrometer) und der Lufttemperatur an der UFS (Abb. 3). D_{\max} erscheint unabhängig von der Temperatur zu sein, bis auf den Bereich zwischen -10 und -15°C in dem eine größere Häufigkeit von größeren Schneekristallen beobachtet wird. In diesem Temperaturbereich erreicht die Übersättigung über Eis bezogen auf Wasser ihr Maximum. So dass der Wegener-Bergeron-Findeisen Prozess, d.h. der Übergang von Wassertröpfchen zu Eiskristallen über die Dampfphase am effektivsten ist. Ebenso haben die Eiskristalle hier eine sternförmige Struktur. Beide Effekte begünstigen ein schnelles und effektives Wachsen von Schneekristalle durch Aggregation.

Zusammenfassung und Ausblick

In dem TOSCA Datensatz wurde eine einzigartige Kombination von Messungen zusammengeführt, die Schlüsselinformationen zum Verständnis der Mikrophysik in winterlichem Niederschlag zur Verfügung stellen kann. Das Potential zur Darstellung mikrophysikalischer Prozesse wie Aggregation und Diffusionswachstum wurde ebenfalls gezeigt.

Die TOSCA Messungen sind grundlegend für die Auswertung Satellitenmissionen wie EarthCARE oder GPM. Die Instrumentierung an der UFS liefert einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung und Validierung von neuen Auswerteargorithmen basierend auf aktiven und passiven Mikrowellenmessungen.

KLIMAGRAD

PHÄNOLOGISCHE UND VEGETATIONSKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN IN DER MONTANEN UND SUBALPINEN STUFE IM WETTERSTEIN UND AM SCHACHEN

CHRISTINA SCHUSTER¹, MARKUS BREIER², ANDREAS GRÖGER², ANNETTE MENZEL¹

¹FACHGEBIET FÜR ÖKOCLIMATOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, HANS-CARL-VON-CARLOWITZ-PLATZ 2, 85354 FREISING, GERMANY, E-MAIL-ADRESSE: SCHUSTER@WZW.TUM.DE

²BOTANISCHER GARTEN MÜNCHEN, MENZINGER STRASSE 65, 80638 MÜNCHEN

Im Teilprojekt 2 des Verbundprojekts KLIMAGRAD wird die phänologische Reaktion von alpinen Arten auf den Klimawandel untersucht. Dazu wird zum einen vom Botanischen Alpengarten Schachen ein neues Netzwerk von arktisch-alpinen phänologischen Gärten mit dazugehörigem Beobachtungsprogramm initiiert, zum anderen wird das phänologische Verhalten und die Vitalität von Baumarten des Bergwaldes in Abhängigkeit von der Höhe und damit der Temperatur beobachtet.

1. Aufbau eines dauerhaften phänologischen Beobachtungsprogramms im Alpengarten auf dem Schachen (subalpine Stufe)

Botanische Gärten stellen eine wichtige Ressource für langfristige, phänologische Beobachtungsserien dar (Primack & Rushing 2009). Ihre Auswertung ermöglicht fundierte Aussagen über den Einfluss von Klimaveränderungen auf pflanzliche Lebensrhythmen (Menzel et al. 2006). Obwohl in Europa Gebirgsökosysteme zu den vom Klimawandel am stärksten betroffenen Lebensräumen zählen (Schröter et al., 2005), kann bisher

auf keine phänologischen Dauerbeobachtungen aus entsprechenden Höhenstufen zurückgegriffen werden. Durch den Aufbau eines phänologischen Monitoringprogramms innerhalb eines europäischen Netzwerks arktisch-alpiner Botanischer Gärten soll diese Informationslücke geschlossen werden.

Auswahlkriterien der Indikatorarten:

- Europäisch-alpine Arten
- Leichte, vegetative Vermehrbarkeit
- Verschiedene Lebensformen
- Große ökologische Amplitude
- Eindeutige Definition von Phänophasen
- Merkmale aus der ganzen Vegetationszeit

Wichtigstes Kriterium bei der Auswahl der phänologischen Ereignisse ist die leichte Erkennbarkeit und unproblematische Erfassung des Phänomens.

Aus diesen Kriterien resultierend fiel die Vorauswahl auf: *Allium senescens*, *Alnus viridis*, *Arnica montana*, *Dianthus alpinus*, *Dryas octopetala*, *Geum reptans*, *Helianthemum alpestre*, *Lonicera alpigena*, *Potentilla nitida*, *Rhodiola rosea*, *Rhododendron ferrugineum*, *Ribes alpinum*, *Salix reticulata* und *Saxifraga paniculata*.



Abb.1: Die phänologischen Merkmale mit Eintrittsdatum im Jahr 2010 am Beispiel *Rhododendron ferrugineum*

Die Herausarbeitung von geeigneten phänologischen Phasen (Abb. 1) und deren Zusammenstellung in Form einer Beobachtungsanleitung ist die Grundlage des langfristig angelegten Projekts und wurde als Diplomarbeit vergeben. Parallel zur Erstellung der Beobachtungsanleitung wurde zu den ausgewählten Indikatorarten eine Mutterpflanzensammlung angelegt. Diese Mutterpflanzen werden die am Phänologie-Projekt teilnehmenden arktisch-alpinen Botanischen Gärten mit genetisch identischem Pflanzenmaterial versorgen.

Bisherteilnehmende Gärten:

- Alpengarten auf dem Schachen (D)
- Giardino Botanico Alpino "Viotte" (I)
- Jardin Botanique Alpin du Lautaret (F)
- Jardin d'Altitude du Haut Chitlet (F)
- Tromsø Arctic-Alpine Botanic Garden (N)
- Reykjavik Botanic Garden (IS)

Phänologische Beobachtungen im Bergwald entlang von Höhengradienten (montane Stufe)

Mit Einbindung der vier neuen Klimastationen wurden im Werdenfelser Land vier Observationslinien entlang von Höhengradienten zwischen 700 und 1800 m ü.NN installiert: Garmisch-Kramer, Garmisch-Kreuzeck, Brandwiese-Kreuzeck und Brandwiese-Schachen. Im Abstand von 100 Höhenmetern wurden Beobachtungsflächen für die phänologischen Aufnahmen ausgewählt, die jeweils mit einem Temperatur und Feuchtelogger HOBO Pro V2 ausgestattet wurden. Auf jeder Beobachtungsfläche wurden in unmittelbarer Umgebung der Logger pro Baumart (*Abies alba*, *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus cembra*, *Pinus mugo*, *Pinus sylvestris*) drei dominante und drei junge (bis 10 Jahre) Bäume ausgewählt, insgesamt 548 Individuen. Von Mitte April bis Ende Juli wurden basierend auf dem BBCH Code (Meier, 1997, Abb. 2) auf allen Flächen wöchentlich phänologische Aufnahmen durchgeführt.

Bei allen Baumarten konnte ein Einfluss der

Höhe auf die phänologische Entwicklung beobachtet werden. Durch die Steigung einer Ausgleichsgeraden lässt sich die Verzögerung des Eintrittstermins einer phänologischen Phase mit der Höhe berechnen, die je nach Art und beobachtetem Stadium stark variiert. Oft reagiert die Verjüngung anders auf den Höheneffekt als adulte Bäume. Auch konnte ein Unterschied zwischen den Eintrittsdaten an nord- und südexponierten Berghängen festgestellt werden. Die Entwicklungszeit der Blätter bzw. Nadeln nimmt dabei mit der Höhe ab.

Im Herbst wurde bei den Arten *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica*, *Larix decidua* und zusätzlich *Sorbus aria* die Blattverfärbung und der Blattfall dokumentiert. Dafür wurde der Prozentanteil jeweils der grünen, verfärbten und abgefallenen Blätter geschätzt. Hier stehen die Fragestellungen im Vordergrund, wie die Eintrittsdaten der Phänophasen mit den Klimadaten (v.a. der Temperatur) und andererseits mit der Frühjahrsphänologie in Zusammenhang stehen. Nach Röthlisberger (2010) gibt es drei Szenarien: (1) Die Vegetationszeit verlängert sich aufgrund der Klimaerwärmung, (2) die Herbstphänologie ist je nach Baum(art) mit einem bestimmten Zeitpensum an die Frühjahrsphänologie gekoppelt, (3) Herbst- und Frühjahrsphänologie reagieren unabhängig voneinander auf Umweltfaktoren.

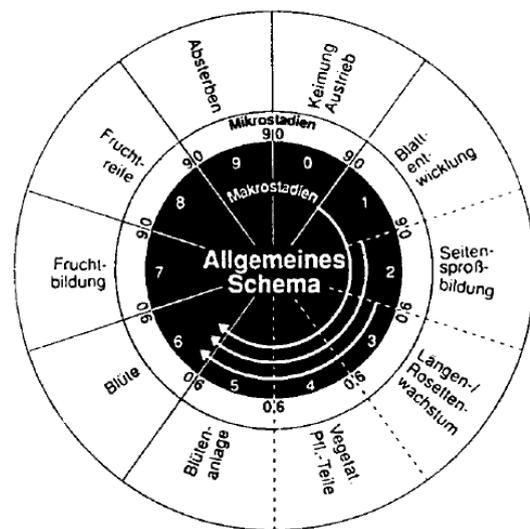


Abb.2: Allgemeines Schema der BBCH Skala phänologischer Phasen (Meier 1997)

Durch den Vergleich der beobachteten Temperaturreaktionen mit Klimamodellen zukünftiger Erwärmung soll ein zeitlicher Trend der Veränderungen von Vegetationsperiode, Wachstumszonen und Baumgrenze abgeleitet werden. Die Ergebnisse liefern Hinweise auf potentiell gefährdete Arten, wie beispielsweise *Pinus cembra* (Arve), die aufgrund zu langsamer Reaktionsfähigkeit oder fehlender Rückzugsmöglichkeiten durch die Temperaturerhöhung besonders bedroht sind.

Literatur

Meier, U.: BBCH-Monograph, Growth stages of plants - Entwicklungsstadien von Pflanzen - Estadios de las plantas – Développement des Plantes, Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin und Wien, 1997.

Menzel, A.: Zeitliche Verschiebungen von Austrieb, Blüte, Fruchtreife und Blattverfärbung im Zuge der rezenten Klimaerwärmung. Forum für Wissen 2006, 47-53, 2006.

Primack, R.B. und Miller-Rushing, A.J.: The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist* 182 / 2, 303-313. Röthlisberger J (2010) Früher Frühling – früher Herbst? Beobachtungen und Reflexionen zur Herbstphänologie, *BAUHINIA* 22, 93-110, 2009.

Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T. R., Gracia, C. A., de la Vega-Leinert, A. C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J.I., Kankaanpää, S., Klein, R. J. T., Lavorell, S., Linder, M., Metzger, M. J., Meyer, J., Mitchell, T. D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M. T., Thonicke, K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S. und Zierl, B.: Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310, 1333-1337. 2005.

PFLANZENPHÄNOLOGISCHE TRENDS IM ALPENRAUM WERDEN NICHT DURCH DIE HÖHENLAGE BEEINFLUSST

CHIARA ZIELLO, NICOLE ESTRELLA, SUSANNE JOCHNER, ANNETTE MENZEL

FACHGEBIET FÜR ÖKOLOGIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, HANS-CARL-VON-CARLOWITZ-PLATZ 2, 85354 FREISING, GERMANY, E-MAIL-ADRESSE: ZIELLO@WZW.TUM.DE

In dieser Studie wurde der Einfluss der Höhenlage auf die Phänologie der Pflanzen im Zeitraum von 1971–2000 in einem Gebiet, das einen Großteil der Alpenregion umfasst (46 - 49°N, 5 - 15°E), untersucht. Im Mittelpunkt stand dabei der Blütezeitpunkt von in Europa weit verbreiteten Pflanzen sowie einigen wichtigen Allergie auslösenden Arten. Die Abhängigkeit der mittleren phänologischen Eintrittsdaten von der Höhe wurde für mehrere phänologische Phasen (BF- Beginn der Blüte, FFO- erste Blüte geöffnet, FF- Vollblüte) durch lineare Regression ermittelt. Die Ergebnisse zeigen statistisch signifikante und relevante Abhängigkeiten der mittleren Eintrittsdaten von der Höhe. Phänologische Trends und Trends der Lufttemperatur hingegen zeigen nur schwache, oft nicht signifikante Abhängigkeiten.

Bisher konnten an Heuschnupfen leidende Patienten entweder am Meer oder in Bergregionen, die im Vergleich zum Flachland ein geringes Aufkommen von in der Luft transportierten Pollen aufweisen, Zuflucht finden. Neueste Erkenntnisse zeigen jedoch, dass höher gelegene Regionen stärker vom Klimawandel betroffen sind als andere Gebiete. So ist die globale Erwärmung eine Hauptursache für den Wandel der Biodiversität in den Gipfelregionen. Eine generelle Neuordnung der alpinen Flora kann durch einen Höhenversatz der potenziellen Artenverbreitung resultieren. Die Phänologie, die Wissenschaft wiederkehrender Ereignisse in der Tier- und Pflanzenwelt, kann helfen, die klimabedingten Vegetationsveränderungen der alpinen Regionen besser zu verstehen. In der vorliegenden Studie wurden die Daten, die im Rahmen der COST Aktion 725 'Establishing a European phenological data platform for

climatological applications' erhoben wurden, und der E-Obs Datensatz des EU-FP6 Projekts ENSEMBLES für Monatsmitteltemperaturen ausgewertet.

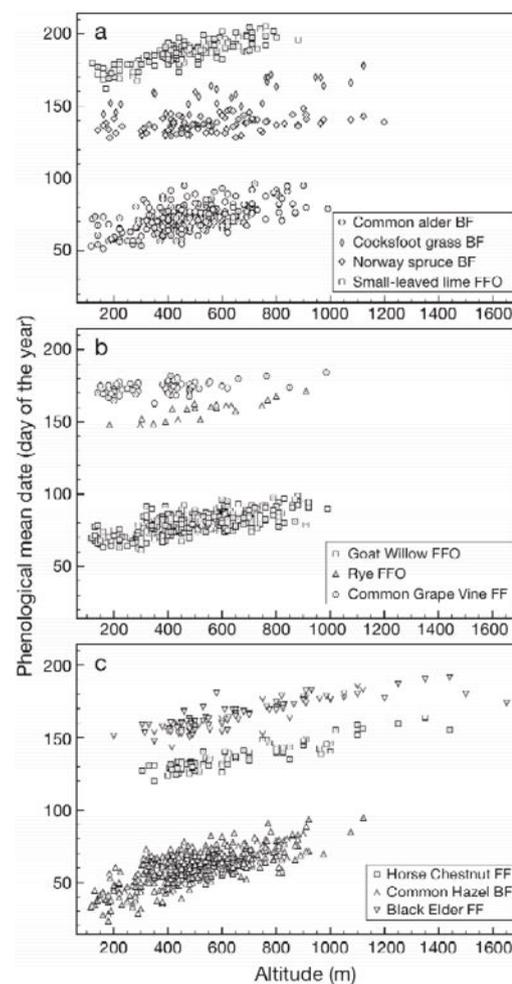


Abb.1: Mittlere phänologische Eintrittsdaten vs. Höhe, ermittelt in der Alpenregion. Jede Höhenserie bezieht sich auf eine andere Phänophase. Die Mittelwerte sind über eine Zeitreihe von über 15 Jahren gebildet. BF: Beginn der Blüte; FFO: erste offene Blüte; FF: Vollblüte

Ergebnisse

Phänologische Eintrittsdaten hängen im Allgemeinen mit einer sehr hohen Signifikanz von der Höhe ab (Abb. 1). Die Werte dieser

linearen Regressionen liegen im Bereich von $0.92 \pm 0.21 \text{ d } (100 \text{ m})^{-1}$ für Fichte BF bis $4.56 \pm 0.21 \text{ d } (100 \text{ m})^{-1}$ für Haselnuss BF.

Der R^2 -Wert liegt für 6 von 10 Phänophasen über 0.50, was bedeutet, dass die Variabilität der Eintrittsdaten gut mit der Höhe erklärt werden konnte. Die Analyse von Höhengradienten phänologischer Trends (Abb. 2) jedoch weist weniger klare Ergebnisse auf. Die Werte liegen zwischen 0.042 ± 0.022 (Winterlinde FFO) und $-0.065 \pm 0.028 \text{ d } \text{J}^{-1} (100 \text{ m})^{-1}$ (Erle BF); doch nur für drei Phänophasen sind sie statistisch signifikant ($p < 0.05$). Die durch R^2 gegebene Relevanz ist im Allgemeinen sehr gering ($R^2 < 0.075$). Weiterhin weisen die Datensätze mit der größten Anzahl an Messstationen (Haselnuss BF, 436; Salweide FFO, 359) die kleinsten R^2 -Werte auf (entsprechend 0.0002 und 0.0012). Dieses Ergebnis spricht deutlich gegen eine Abhängigkeit zwischen phänologischen Trends und der Höhe.

Zusammenfassung

Die höhenabhängige Temperaturabnahme verursacht eine signifikante lineare Abhängigkeit aller untersuchter Phänophasen von der Höhe. Obwohl die Klimaerwärmung in Gebirgen stärker ausgeprägt ist als im Flachland, gibt es in der Alpenregion offensichtlich keine Abhängigkeit zwischen beobachteten Temperaturtrends und der Höhe. Auf ähnliche Weise besteht kein Zusammenhang zwischen phänologischen Trends und der Höhe.

Ausblick

Für das bessere Verständnis von Pollenflugzeitraum und -intensität unter Klimawandelbedingungen in den Alpen sind weitere Studien notwendig, um den Einfluss von Exposition und lokalen Standorteigenschaften zu klären (Abb. 3). Außerdem werden wir die Beiträge großräumiger Pollentransporte und lokaler Emission zu gemessenen Pollenkonzentrationen

an drei Standorten rund um die UFS Schneefernerhaus untersuchen (Garmisch 720 m ü.N.N., Ehrwald 1503 m ü.N.N., UF Schneefernerhaus 2650 m ü.N.N.).

Literatur:

Ziello, C., Estrella, N., Kostova, M., Koch, E. und Menzel, A.: Influence of altitude on phenology of selected plant species in the Alpine region (1971–2000). *Clim Res* 39:227-234, 2009.

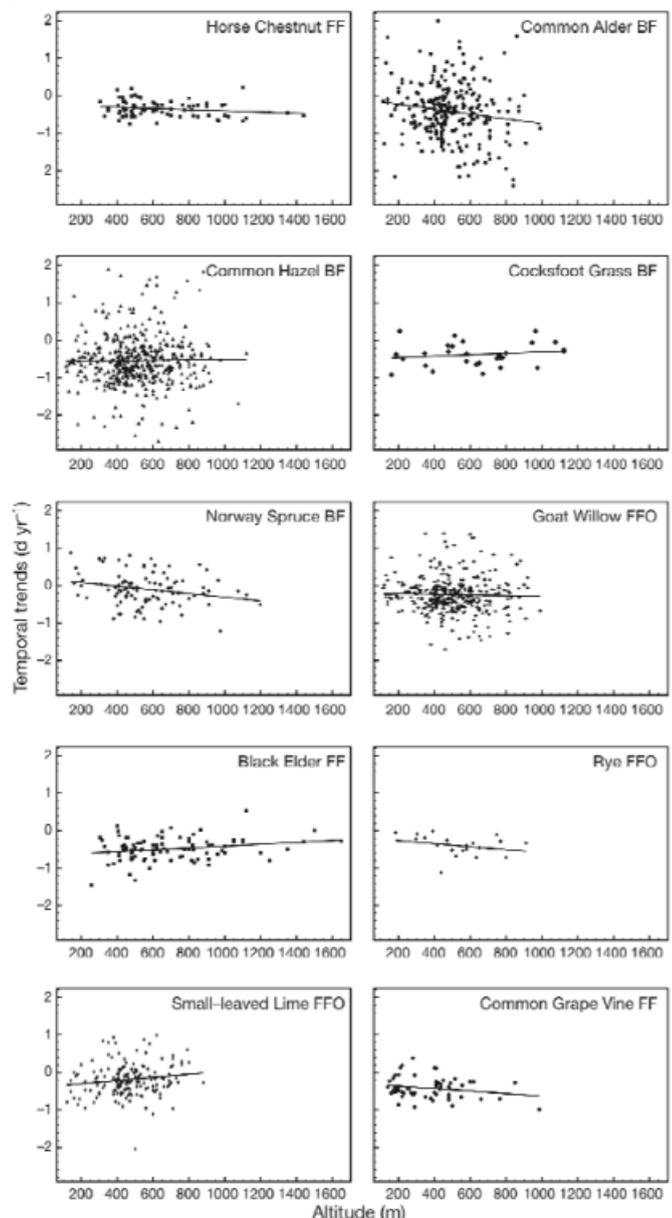
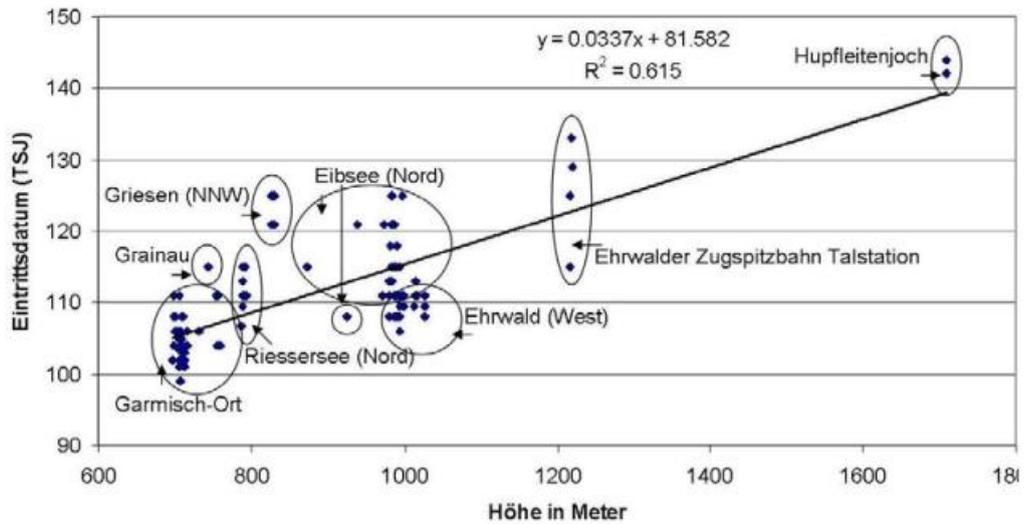


Abb.2: Temperaturtrends (1971–2000) von 15 jährigen phänologischen Serien vs. Höhe, mit linearen Regressionen



Temperaturtrends (1971–2000) von 15⁺ jährigen phänolo...

Abb. 3: Phänodaten der Birke BF in der Alpenregion um Garmisch als Funktion der Höhe und unterschiedlicher Exposition im Jahr 2009

STICKSTOFFEINTRÄGE UND VOCs ENTLANG VON HÖHENGRADIENTEN

MICHAEL LEUCHNER¹, GERT JAKOBI², MANFRED KIRCHNER²

¹FACHGEBIET FÜR ÖKOLOGISCHE CHEMIE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, LEUCHNER@WZW.TUM.DE

²INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE CHEMIE, HELMHOLTZ ZENTRUM MÜNCHEN,
JAKOBI@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE, KIRCHNER@HELMHOLTZ-MUENCHEN.DE

Im Rahmen des Projektes KLIMAGRAD (Auswirkungen des Klimawandels in den Alpen – Erfassung mittels Höhengradienten) werden im Werdenfelser Land Untersuchungen zum Stickstoffeintrag in montane und subalpine Fichtenbestände sowie das Verhalten anthropogener und biogener VOCs im Höhenprofil untersucht. Nähere Informationen zum Projekt KLIMAGRAD sind im Übersichtskapitel (Schuster et al., dieser Band) enthalten. Im Folgenden sollen die ersten Ergebnisse und weiteren Zielsetzungen des bis 2012 laufenden Teilprojektes ‚Stoffeinträge/ Emissionen‘ dargestellt werden.

Stickstoffeinträge in montane und subalpine Fichtenbestände

Stickstoff spielt bei der Pflanzenernährung eine wesentliche Rolle, kann sich aber vom Dünger schnell zum Stressfaktor entwickeln. So wird konstatiert, dass parallel zur Klimaerwärmung die derzeitigen Stickstoffeinträge in den Alpen für sensible Ökosysteme eine Belastung darstellen. Der Stickstoffeintrag wird neben Quellen im Tal und Alpenvorland von meteorologischen Parametern wie der Niederschlagsmenge, der Art des Niederschlags, der Luftfeuchte und von der Lufttemperatur, von topografischen Faktoren wie der Exposition (Meereshöhe, Steilheit des Hanges, Luv- oder Leesituation) und von den Pflanzenoberflächen bestimmt. Damit können die effektiven Einträge auf engstem Raum stark variieren. Speziell diese Fragestellung wird an Hand von stark ausfilternden alpinen Fichtenbeständen entlang von zwei unterschiedlich exponierten Höhengradienten am Kramer und am Kreuzeck/ Hausberg im Raum Garmisch- Partenkirchen

untersucht. Dazu werden an insgesamt acht Messpunkten dieser Vertikaltransekte, die nasse Freilands- und Bestandesdeposition mit Bulksammlern bestimmt und im Freiland die Immissionskonzentration von NH₃ und NO₂ mittels belüfteter Passivsammler so- wie die Lufttemperatur und Luftfeuchte gemessen. Ziel dieser Gradienten-Untersuchungen ist es, Basisdaten zur Interpretation der Einträge im orographisch gegliederten Gelände zu erarbeiten. Ein Vergleich der Deposition in kalten und warmen bzw. niederschlagsreichen und –armen Jahren kann als Rahmen für Szenarien einer zukünftigen Klimaentwicklung dienen.

Immissionsmessung

Erste Ergebnisse der Messung der Immissionskonzentrationen (Abb. 1) zeigen sowohl für NH₃ als auch für NO₂ im Loisachtal die höchsten Werte, was auf die Nähe zu den Emissionsquellen zurückzuführen ist. NO₂ wird sowohl durch den Verkehr als auch den Hausbrand emittiert, NH₃ entstammt überwiegend landwirtschaftlichen Aktivitäten, wie der Gülleausbringung. Aufgrund dessen ist für beide Gase ein gegenläufiger, dem Emissionsverhalten entsprechender Jahresgang der Immission zu erwarten. Die Konzentrationen beider Gase nehmen mit der Höhe (Kreuzeck, Kramerspitz) und der Entfernung zu den Emittenten (Partnachtal) ab.

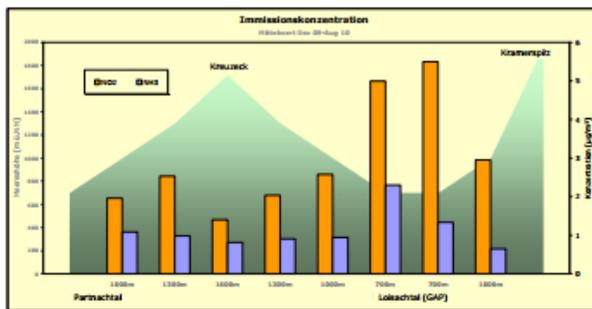


Abb.1: Mittelwerte der Stickstoffdioxid- und Ammoniakkonzentration für den Zeitraum Dezember 2009 – August 2010

Depositionsmessung

Die Freilanddeposition wird durch die Konzentration im Niederschlag (mit der Höhe abnehmend) und der Niederschlagsmenge (mit der Höhe zunehmend) bestimmt. Diese gegenläufigen Trends erklären die relativ homogenen Ammoniumeinträge in allen Höhen, mit Ausnahme der emittentennahen Talstation (Abb. 2). Die Deposition in Beständen wird außerdem noch durch die Filterwirkung des Bestandes und die mit der Höhe zunehmende Nebelhäufigkeit (Wolken) beeinflusst, was den sehr hohen Eintrag am Kreuzeck auf 1600 m NN erklären kann. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für den Nitratstickstoffeintrag.

Möglicherweise sind auch singuläre Ereignisse, wie der Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull auf Island und die Ausbreitung seiner Aschewolke über Europa in den Ergebnissen des Stickstoffeintrags und weiterer Stoffe zu erkennen. Detaillierte Auswertungen sind derzeit noch in Arbeit.

Bedeutung flüchtige organischer Verbindungen (VOCs)

Troposphärisches Ozon ist neben seiner direkten negativen Auswirkungen auf Pflanzen (Wachstumseinbußen, Absterben etc.) und Menschen (z. B. Atemwegserkrankungen) eines der wichtigsten klimarelevanten Treibhausgase, das seit der Industrialisierung einen großen Anteil zum anthropogen bedingten Strahlungsantrieb beigetragen hat, und dessen atmosphärische Hintergrundkonzentration im 21. Jhd. weiter ansteigen wird. Im Gegensatz

zu anderen Treibhausgasen wird es jedoch nicht direkt emittiert, sondern durch photochemische Prozesse aus Vorläufersubstanzen gebildet. Neben NO und NO₂ sind flüchtige organische Verbindungen (VOCs) die entscheidenden Vorläufersubstanzen, die einerseits direkt klimawirksam sind aber v.a. indirekt über die Ozon- und Aerosolbildung einen signifikanten Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt leisten. Die wichtigsten Quellen für VOCs sind v.a. die Verbrennung fossiler Brennstoffe aus Straßenverkehr und industriellen Prozessen, das Handling und die Evaporation von Treibstoffen und Lösungsmitteln sowie an Photosynthese und Stressabwehr gebundene Emissionen von Pflanzen. Es wird davon ausgegangen, dass gerade biogene VOC-Emissionen aufgrund erhöhten Temperaturstress deutlich zunehmen werden und damit auch der Anteil biogener Vorläufer an der Ozonproduktion steigen wird. Eine genaue Kenntnis über die Zusammensetzung dieser VOCs liefert damit entscheidende Informationen über die Beiträge von Emissionen biogener und anthropogener Herkunft zur Produktion von Ozon, Aerosolen und anderer photochemisch gebildeter klimarelevanter Substanzen.

Untersuchung von VOCs entlang von Höhengradienten

An mehreren Tagen mit unterschiedlichen typischen meteorologischen Situationen im Zugspitzgebiet sollen längs von Höhengradienten die VOC-Mischungsverhältnisse bestimmt werden. Hierfür sollen an den ausgewählten Höhenpunkten (Abb. 4) zeitgleich Luftproben mit Adsorptionsröhrchen gesammelt werden, die im Anschluss daran an einem GC-System offline analysiert werden können. Ziel hierbei ist die Bestimmung der Auswirkungen verschiedener meteorologischer Prozesse (z. B. Berg-Talwind-System, vertikale Mischung und Auflösung der Grenzschicht, Inversionslage, Föhn) unter Berücksichtigung der überlagernden synoptischen Bedingungen auf die Verteilung der klimawirksamen Ozon-

vorläufer-substanzen entlang der Höhengradienten.

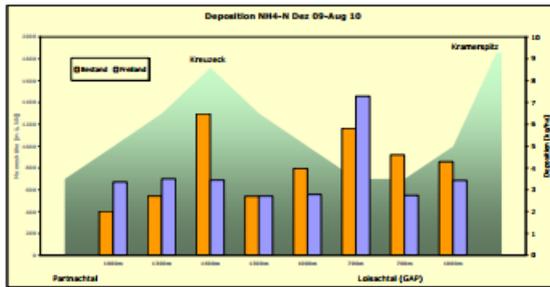


Abb.2: Summe des Ammonium-N-Eintrags für den Messzeitraum Dezember 2009 bis August 2010

Im Sommer 2010 konnten bereits testweise vier Messkampagnen entlang der Höhengradienten (Abb.3) durchgeführt werden. Der Schwerpunkt der Kampagnen wird im Jahr 2011 liegen.



Abb.3: Karte mit den Probenahmestandorten unterhalb Kreuzack (S; 93-96), am Kramer (N; 90/91/97) und am IMK-IFU (92).

Quellaufschlüsselung von VOCs an der UFS
 Erste Quellprofile von VOCs auf der UFS Schneefernerhaus wurden bereits bei der Analyse des 10-jährigen Datensatzes des Umweltbundesamtes ermittelt. Ergebnisse hierzu sind bei Ries et al. (dieser Band) zu finden. Im weiteren Verlauf des Projektes soll ein GC-FID System Anfang 2011 auf der UFS installiert werden und ein quasi-kontinuierlicher Messbetrieb – nur mit Unterbrechung zur Analyse der Offline-Proben – gewährleistet werden. Ziel ist die quantitative Aufschlüsselung der Haupt- quellen anthropogener und biogener Kohlenwasserstoffe an der UFS.

WOLKENFORSCHUNG AM SCHNEEFERNERHAUS

MAGNUS SCHLOSSER¹, EBERHARDT BODENSCHATZ², SUSANNE CREWELL³, THOMAS LEISNER¹,
ULRICH LÖHNERT³, DUOXU²

¹ KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT), INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND KLIMA-FORSCHUNG -
ATMOSPHERISCHE AEROSOLFORSCHUNG (IMK-AAF), ERIC.SCHLOSSER@KIT.EDU,

² MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR DYNAMIK UND SELBSTORGANISATION, ABT. HYDRODYNAMIK, STRUK-
TURBILDUNG UND NANOBIOKOMPLEXITÄT, GÖTTINGEN,

³ UNIVERSITÄT ZU KÖLN, INSTITUT FÜR GEOPHYSIK UND METEOROLOGIE

Wolken haben für Klimaforscher eine Schlüsselfunktion. Ihre besondere Bedeutung liegt darin, dass sie insgesamt einen abkühlenden Effekt haben und damit einen Teil des Treibhauseffekts kompensieren.

Die Wechselwirkungen zwischen atmosphärischem Aerosol und Wolken sind jedoch noch mit großen Unsicherheiten behaftet, denn zahlreiche Rückkopplungen erschweren genaue quantitative Aussagen. Feldmessungen, Fernerkundungen und Laborexperimente sind notwendig, um die experimentelle Grundlagen für die komplex miteinander verflochtenen Prozesse über viele Größenordnungen hinweg zu schaffen.

Die Ergebnisse werden für Klimamodellrechnungen gebraucht, die ein wichtiges Instrument darstellen, um das gegenwärtige regionale und globale Klimasystem und den Einfluss der Menschen darauf besser zu verstehen und auf Veränderungen frühzeitig reagieren zu können.



Abb.1: Blick vom Schneefernerhaus auf das wolkenverhangene Zugspitzplatt.

Die Umweltforschungsstation (UFS) auf der Zugspitze bietet für die Wolkenforschung in Deutschland herausragende Standortvorteile. Die hochalpine Lage erlaubt bodengestützte Wolkenforschung und das Schneefernerhaus bietet eine ausgezeichnete Infrastruktur, die von zahlreichen Forschungseinrichtungen genutzt wird. Die unterschiedlichen Forschungsschwerpunkte und eingesetzten Messinstrumente ergänzen sich dabei. Durch Abstimmung von Messzeiten, Messkampagnen, Datentransfer, Kooperationen und gemeinsame Projekte können Synergien genutzt werden, die über die Forschungsmöglichkeiten einzelner Forschungseinrichtungen weit hinausgehen.

Institute der Universität zu Köln, des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation (MPIDS) und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) haben beschlossen, in Zukunft eng zusammenzuarbeiten, da sich die aktuellen Forschungsthemen sowohl thematisch als auch Seitens der eingesetzten Analytik (Nah- und Ferndiagnostik) vorteilhaft ergänzen.

Wolkendynamik und Turbulenz in der Atmosphäre

Turbulenz spielt in der Erdatmosphäre von größten Skalen wie die globale Luftzirkulation bis hin zu der Bewegung einzelner Teilchen eine zentrale Rolle (Abb.2). Obwohl Wolken oft scharfe Grenzen zu haben scheinen, werden doch ständig an den Wolkenrändern verschiedene Luftmassen gemischt. Es wird angenommen dass auch die kleinskalige Turbulenz in den Wolken

das Zusammenstoßen und Verschmelzen zu größeren Tröpfchen, die als Niederschlag herabfallen können, begünstigt, denn die beobachteten Wachstumsraten sind oft größer als Modelle es vorhersagen. Das Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation setzt auf der Dachterrasse im 9. Stock der UFS einen Schlitten mit drei Hochgeschwindigkeitskameras ein, um den Tröpfchen in einer Wolke zu folgen und die Dynamik zwischen den Wolkenpartikeln verstehen zu lernen. Aus den Messungen können Modelle entwickelt werden, die eine bessere Vorhersage von Wolkendynamik und Niederschlagsbildung erlauben.

Wolkenfernerkundung und Niederschlag

Die Arbeitsgruppe „Integrierte Fernerkundung“ des Instituts für Geophysik und Meteorologie an der Universität zu Köln betreibt auf der UFS passive Mikrowellenradiometrie und nutzt die Messungen mit aktiven Komponenten der DLR. Mit Hilfe dieser Daten können Wolkenstruktur, Niederschlag, Flüssigwassergehalt, Temperatur- und Feuchteprofile der Atmosphäre bestimmt werden. Die Untersuchung von Mischwolken, d.h. Wolken, die aus unterkühltem Wassertröpfchen und Eiskristallen bestehen, und die Bildung von Niederschlag als Schnee zielt auf eine Verbesserung der meteorologischen Vorhersagemodelle und ist für die Klimaforschung von zentraler Bedeutung, da einerseits die globale Schneebedeckung für den Strahlungshaushalt (Albedo) der Erde von großer Bedeutung ist und andererseits Niederschlag überwiegend über die Eisphase entsteht. Durch Messungen auf der Zugspitze soll die Ableitung von Schneeparametern verbessert werden und dabei helfen sowohl die bodengebundene als auch die satellitengestützten Fernerkundungsverfahren zu verbessern.

Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen

In der Atmosphäre ist die Luft oftmals mit Wasserdampf übersättigt. Damit sich Wolken-tröpfchen bilden können, müssen kleinste

Teilchen als Wolkenkondensationskeime vorhanden sein. Atmosphärisches Aerosol kann vielfältig zusammengesetzt sein. Je nach Messort und Herkunft der Luftmasse kann es Mineralstaub, Seesalz, Sulfat, Russ, organische oder biologische Partikel enthalten. Die Zusammensetzung und Konzentration des Aerosols beeinflusst die Wolkenbildung, die Größe der Wolkenpartikel, die Vereisung die optischen Eigenschaften, die Lebenszeit von Wolken und die Niederschlagsbildung. Gleichzeitig werden Aerosolpartikel in den Wolken umverteilt und chemisch verändert. Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Bereich Atmosphärische Aerosolforschung, untersucht im Labor und auf dem UFS die Wechselwirkungen zwischen Aerosol und Wolken. Dabei kommt eine umfassende Aerosolanalytik und schnelle Einzelpartikelinstrumente zum Einsatz. In Messkampagnen werden auch *in-situ*-Messgeräte eingesetzt, die eine geometrische und optische Charakterisierung von Wolken-tröpfchen und kleinsten Eiskristallen erlauben. Von besonderem Interesse sind dabei Mischwolken, wie sie bereits in einer Messkampagne im Februar 2010 beobachtet wurden, da diese eine zentrale Bedeutung bei der Niederschlagsbildung haben und deren Dynamik noch unzureichend bekannt ist.

Spitzenforschung auf der UFS

Das gemeinsame Interesse an der Wolkenmikrophysik und die sich ergänzenden hochspezialisierten Messmethoden die auf der UFS betrieben werden, legen eine Zusammenarbeit der drei Institute nahe. Die Synergien, die sich daraus ergeben können und die hervorragende Infrastruktur der UFS sind nicht nur für Deutschland einmalig und bieten ausgezeichnete Voraussetzungen Wolkenforschung auf höchstem Niveau zu betreiben. Es wurde zwischen den Arbeitsgruppen vereinbart, Informationen auszutauschen, Messkampagnen nach Möglichkeit miteinander abzustimmen und in Zukunft gemeinsame Projekte anzustreben. Dabei ist eine Zusammenarbeit nicht auf die drei Institute beschränkt, sondern wird auch mit

weiteren Forschungseinrichtungen, die auf der UFS Aerosol-, Atmosphären-, Wolken- und Niederschlagsforschung betreiben, geteilt.

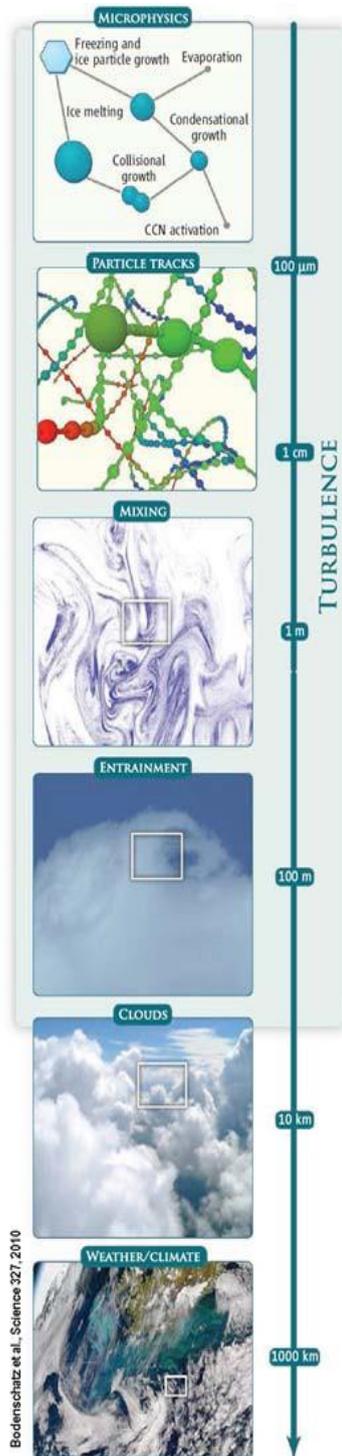


Abb.2: Gekoppelte Prozesse vom molekularen bis zum globalen Maßstab (Bodenschätz et al., Science 2010).

MESSUNGEN VON WASSERDAMPF UND TEMPERATUR BIS IN DIE STRATOSPHERE MIT HOCHLEISTUNGS-LIDARSYSTEMEN

LISA KLANNER, RALF SUSSMANN, THOMAS TRICKL, HANNES VOGELMANN

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE, IMK-IFU, KREUZECKBAHNSTR. 19, 82467 GAP

RALF.SUSSMAN@KIT.EDU

Wasserdampf bildet als das wichtigste Treibhausgas einen neuen Schwerpunkt in der Lidar-Sondierung innerhalb des globalen "Network for the Detection of Atmospheric Composition Change" (NDACC), mit Augenmerk auf die obere Troposphäre und untere Stratosphäre. In einem ersten Schritt entwickelten wir am Schneefernerhaus ein leistungsstarkes differentielles Absorptions-Lidar-System. Aufgrund der Lage des Labors nahe der Obergrenze der feuchten unteren Atmosphäre kann damit der Wasserdampf in der gesamten freien Troposphäre gemessen werden, mit hoher vertikaler und zeitlicher Auflösung und Fehlern unter 5 % bis in etwa 8 km Höhe. Die Lidar-Sondierung wird derzeit bis in die Stratosphäre erweitert. Unsere Lösung ist ein besonders großes Raman-Lidar-System, welches über einen 350-W-XeCl-Laser und ein Empfangsteleskop mit 1.5 m Durchmesser einen Anstieg des Rückstreusignals um zwei Größenordnungen gegenüber existierenden Systemen erlaubt. Das neue Lidar wird auch Temperaturprofile bis 80 km liefern.

Einleitung

Aufgrund seiner hohen Konzentration und der Strahlungsabsorption in weiten Teilen des infraroten Spektralbereichs ist der Wasserdampf das wichtigste Treibhausgas und verursacht etwa zwei Drittel des Treibhauseffekts. Die thermische Strahlung kann erst in Höhen mit ausreichend geringer Feuchte in den Weltraum abgegeben werden (etwa ab 5 km). Jede Änderung der Feuchte in diesen Höhen hat eine kritische Auswirkung auf die Strahlungsbilanz der Erde. Im letzten Jahrzehnt wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um

verbesserte Verfahren für quantitative, vertikal aufgelöste Messungen in der oberen Troposphäre und der unteren Stratosphäre (engl. Abkürzung: UTLS) zu entwickeln, wobei der Bereich zwischen 10 und 20 km problematisch bleibt.

Lidarverfahren ("Laser-Radar") besitzen ein hohes Potential für vertikal aufgelöste Messungen in der UTLS. Eine Herausforderung für Lidarmessungen ist das niedrige Rückstreusignal aus großen Entfernungen, in Verbindung mit der dort geringen Wasserdampfkonzentration. Dies verlangt den Einsatz besonders leistungsstarker Laser und sehr großer Empfangsteleskope für das Lidar-Rückstreulicht. Für die Lidar-Messungen gibt es zwei Möglichkeiten, die Methoden des differentiellen Absorptions-Lidars (DIAL) oder der Raman-Rückstreuung am Wasserdampf. Das DIAL-Verfahren besitzt die klaren Vorteile einer stabilen, genauen Kalibrierung, einer erheblich höheren Empfindlichkeit, kurzer Dauer einer Einzelmessung und voller Verfügbarkeit bei Tag. Wegen dieser Vorteile haben wir am Schneefernerhaus (UFS) ein besonders leistungsstarkes DIAL-System entwickelt, welches als erstes bodengestütztes System die gesamte freie Troposphäre (ab 3 km) abdeckt (Vogelmann & Trickl, 2008). Eine Ausweitung von DIAL-Messungen bis in die Stratosphäre unter normalen Bedingungen wäre nur mit einer unrealistischen Standorthöhe von etwa 7.5 km zu erreichen. Daher haben wir uns für stratosphärische Wasserdampfmessungen für ein Raman-Lidar entschieden, was die Verwendung eines Lasers mit der höchsten verfügbaren Leistung erfordert.

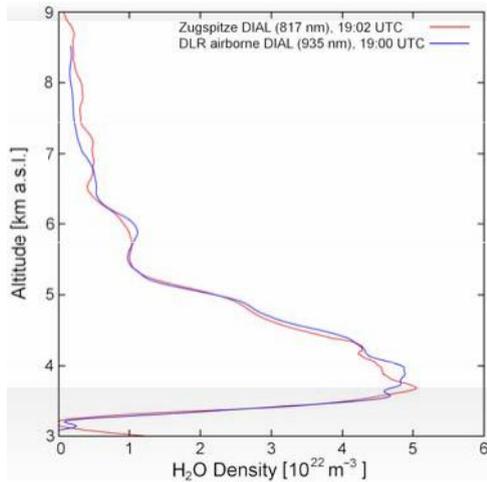


Abb.1: Vergleich des UFS-DIAL und des flugzeuggetragenen DLR-DIAL am 17.10.2008 (LUAMI): Bis 6.3 km ist die Übereinstimmung exzellent, darüber gibt es Unterschiede, erklärt durch die trockeneren Verhältnisse während des Anflugs.

DIAL-Resultate 2008-2009

Nach einer längeren Testphase wurde 2007 der Routinebetrieb des DIAL-Systems mit Messungen an etwa zwei Tagen pro Woche aufgenommen. Die Resultate zeigen eine Variabilität der mittleren Wasserdampfdichte um mehr als einen Faktor 40. Besonders niedrige Dichten, entsprechend 0 bis 2 % relativer Feuchte wurden während Stratosphärenlufteinbrüchen gefunden, Werte, die von Standard-*In-Situ*-Instrumenten selten dokumentiert werden. In Abbildung 1 ist eine dünne Stratosphärenluftschicht bei etwa 3.2 km zu erkennen. Die praktisch vernachlässigbare Feuchte darin belegt ein überraschend niedriges Einmischen von Troposphärenluft auf dem langen Weg von der arktischen Stratosphäre zu den Alpen. Dies stellt eine erhebliche Herausforderung an die numerischen Modelle dar, die das Mischen von Luftmassen in der freien Troposphäre überschätzen. Eine nahezu optimale Validierung des DIAL gelang u.a. während der "Lindenberg Upper Air Methods Intercomparison (LUAMI) campaign" (Abb. 1). Gleichzeitig lieferte ein kürzlich erfolgter Vergleich des DIAL mit dem hoch- auflösenden solaren Fourier-Transform-Infrarotspektrometer (FTIR) auf dem Zugspitzgipfel (Sussmann et al., 2009) für den integrierten Wasserdampfgehalt (engl. Abkürzung: IWV) eine hohe Genauigkeit

von unter 0.1 mm IWV (3 % des Mittelwerts) (Vogelmann et al, 2010).

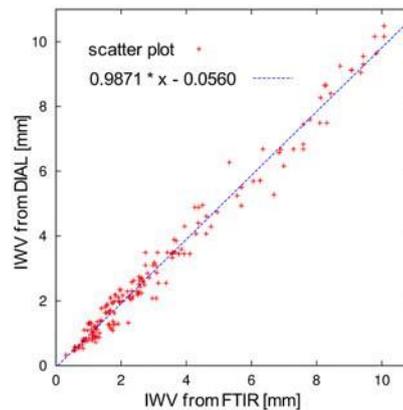


Abb.2: Vergleich von vertikal integriertem Wasserdampf (IWV) aus Messungen des DIAL und des Zugspitze-FTIR (Sussmann et al, 2009 aus Vogelmann et al. 2010).

Diese Resultate beweisen die Zuverlässigkeit der Absorptionslinienparameter in drei unterschiedlichen Spektralbereichen.



Abb.3: Der XeCl-Laser (Coherent, Lambda SX) beim Hochziehen im Treppenhaus zum Lidar-Labor

Hochleistungs-Raman-Lidar

Raman-Rückstreuung ist, im Gegensatz zu DIAL, in der Nacht frei von Untergrundsignal. Daher kann man im Prinzip durch Erhöhen der Laserleistung die Empfindlichkeit für H₂O beliebig erhöhen. Für das Raman-Lidar-System an der UFS wurde ein 350-W-XeCl-Laser (308 nm) installiert, der sonst in der industriellen Produktion eingesetzt wird. Für den Empfang des Rückstreulichts wird ein großes Teleskop mit 1.5 m Hauptspiegeldurchmesser aufgebaut. Der Laser wurde erfolgreich im Dezember 2009 in das Obergeschoß der UFS transportiert. Für den Umzug wurden Teile der Treppe zum 8. Stock entfernt, und der Laser wurde mit zwei Flaschenzügen hochgezogen (Abb. 3). Der

Laser-Resonator wird derzeit umgebaut, um Einzellinienbetrieb mit hoher spektraler Reinheit zu erzielen.

Der Hauptspiegel des Teleskops hat eine Brennweite von 5 m. Somit kann das Teleskop nicht im Labor aufgestellt werden, und es wurde ein separates Kabinett mit Kuppel auf der Dachterrasse der UFS montiert. (Abb. 4).



Abb.4: Zusammenbau des Empfängerkabinetts auf der Dachterrasse der UFS. Hier wird gerade die Kuppel mit einem großen Hubschrauber mit Doppelrotor angeliefert.

Temperaturmessungen werden sowohl über Rotations-Raman-Streuung als auch über Rayleigh-Streuung durchgeführt werden. Rotations-Raman-Streuung ist unempfindlich gegenüber Aerosol und wird daher in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre eingesetzt. Rayleigh-Streuung liefert um Größenordnungen mehr Rückstreusignal und wird für die Ermittlung der Temperaturverteilung oberhalb der Aerosolschichten bis in über 80 km Höhe verwendet.

Kalibriert wird das Raman-Lidar-System mit Hilfe des bereits erfolgreich validierten DIAL, eine einmalige Konstellation. Hierdurch entfallen die erheblichen Unsicherheiten bei Vergleichen mit weit entfernten Radiosondenaufstiegen.

Weitere Pläne

Als wichtigen Schritt hin zu einer experimentellen Klimaforschung planen wir, die Wasserdampf- und Temperaturmessungen mit spektral aufgelösten Messungen im nahen und thermischen Infrarot zu kombinieren. Nahe liegt, hierzu in Zusammenarbeit mit Partnern an der UFS und weiteren Instituten ein

Schließungsexperiment durchzuführen. Dies wäre das erste Unterfangen dieser Art an einer Höhenstation.

Literatur

Vogelmann, H. und Trickl, T.: Appl. Opt. 47, 2116-2132, 2008.

Sussmann, R. et al.: Atmos. Chem. Phys. 9, 8987-8999, 2009.

Vogelmann, H., Sussmann, R., Trickl, T. und Borsdorff, T.: Atmos. Meas. Technol. Discuss, 5411-5428, 2010.

EINFLÜSSE DES HOCHGEBIRGSKLIMAS AUF ALLERGIEN UND UMWELTKRANKHEITEN AN DER UMWELTFORSCHUNGSSTATION SCHNEEFERNERHAUS

BERNADETTE EBERLEIN¹, REINHOLD FISCHER², HEDRUN BEHRENDT³, RUDOLF MARIA HUBER², JOHANNES RING¹

¹KLINIK UND POLIKLINIK FÜR DERMATOLOGIE UND ALLERGOLOGIE AM BIEDERSTEIN, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN,

²MEDIZINISCHE KLINIK INNENSTADT, FACHBEREICH PNEUMOLOGIE, LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN,

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

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.

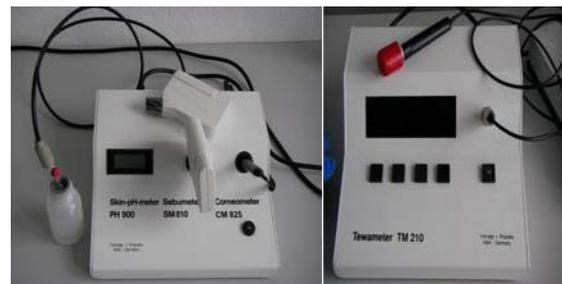
Langfristig war an eine diagnostische Nutzung von bestimmten Bereichen der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus für Patienten mit Allergie- und Umweltkrankheiten zur erweiterten und intensiven Allergie-Diagnostik gedacht, falls sich aus den Voruntersuchungen ermutigende Resultate ergeben würden.

Methodik

An 18 Patienten und 11 gesunden Kontrollpersonen wurden die Einflüsse des Hochgebirgs-

klimas 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 Haut-



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

testungen eingesetzt. Ferner wurde die Reaktion von Schleimhäuten auf Allergene in Provokationstest evaluiert.

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

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 intra-individuelle Unterschiede in der Juckreizempfindung nach bekannter und standardisierter Stimulation objektiv messbar machen. Parallel dazu wurden im Serum Allergie-relevante Marker der Immunreaktion bestimmt.

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

Zunächst bestand die Hauptaufgabe darin, die Bedingungen für die Durchführung der sehr differenzierten und nicht ganz risikolosen Untersuchungen am Menschen vorzubereiten. Deshalb wurden verschiedene Arbeitsgruppen sowohl in München als auch in Garmisch und auf der Zugspitze in der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus über verschiedene Zeiträume tätig.

Zunächst mussten im März 2008 die Vorbedingungen für die klinischen Untersuchungen und die labortechnischen Analysen mit menschlichem Material in der Umweltforschungsstation geschaffen werden.

Auch die Logistik der Untersuchungsschritte

sowie die möglichen Einsatzüberlegungen bei eventuell auftretenden Gesundheitsstörungen wurden durchdacht, geplant und erprobt.

Sodann wurden in Voruntersuchungen in München die oben genannten Techniken durchgeführt und an verschiedenen Personengruppen erprobt.

Im Juli und August 2008 sowie im März und Juli 2009 wurden dann auf dem Boden der gewonnenen Erfahrungen größere 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
- Anstieg des transepidermalen Wasserverlusts

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

In der Juckreizintensitätsmessung fanden sich Hinweise für eine signifikante Abnahme des Juckreizempfindens in der Höhe.

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

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. 2).

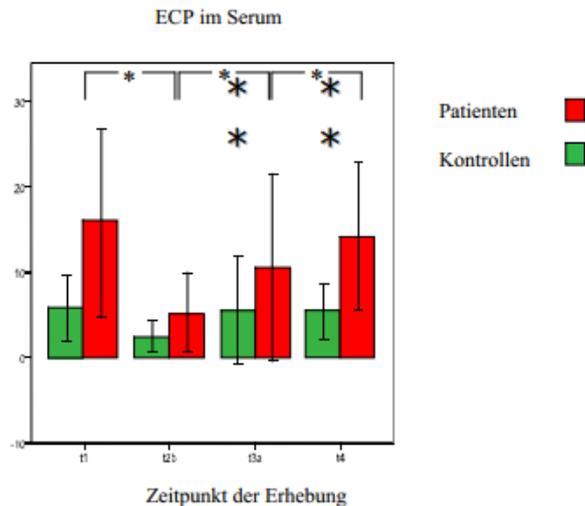


Abb.2: Eosinophiles kationisches Protein ($\mu\text{g/l}$) im Serum von Patienten und Kontrollen zu verschiedenen Zeitpunkten (t_1 und t_4 München, t_2 und t_3 UFS; * = $p < 0,01$)

Zusammenfassung

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein 5-tägiger 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 und nasalen Parameter verbessern würden.

NIEDERSCHLAGSMESSUNG IM KOMPLEXEN ALPINEN TERRAIN MITTELS DÄMPFUNGSDATEN KOMMERZIELLER RICHTFUNKSTRECKEN

CHRISTIAN CHWALA¹, HARALD KUNSTMANN¹, WEI QIU¹,
SUSANNE HIPPEL², UWE SIART², JÖRG SELTMANN³, ALEXANDER BRADT⁴, JÜRGEN FRITZ⁴

¹INSTITUTE FÜR METEOROLOGIE UND KLIMAFORSCHUNG (IMK-IFU) KARLSRUHE INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE

²INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (TUM)

³DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD)

⁴ERICSSON GMBH

Zur Quantifizierung des linienintegrierten Niederschlags im alpinen Terrain wird erstmals die Abschwächung von Mikrowellensignalen kommerzieller Richtfunkstrecken verwendet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Region Zugspitze und Garmisch-Partenkirchen. Erste Ergebnisse zeigen das Potential der Methode, die traditionellen Stations- und Radarmessungen zu ergänzen.

Motivation

Zentrale Voraussetzung für hydrologische Analysen sind Niederschlagsdaten in hoher Orts- und Zeitaufösung. In Regionen mit geringer Stationsdichte oder mit komplexer Orographie liefern etablierte Methoden wie Wetterradar oder Interpolation von Niederschlagsstationswerten häufig sehr eingeschränkte Resultate. Eine neue Methode, die diese Messungen ergänzen kann, ist die Niederschlagsmessung mit Hilfe von Dämpfungsdaten kommerzieller Richtfunkstrecken. Ein Netz solcher Punkt-zu-Punkt Funkstrecken (z.B. betrieben von Mobilfunkbetreibern) findet sich in vielen Regionen weltweit, auch in solchen, in denen keine oder wenige



Abb.1: Ein Turm mit Richtfunkantennen

Niederschlagsmessungen vorhanden sind, wie im Gebirge oder in abgelegenen Gebieten von Entwicklungsländern.

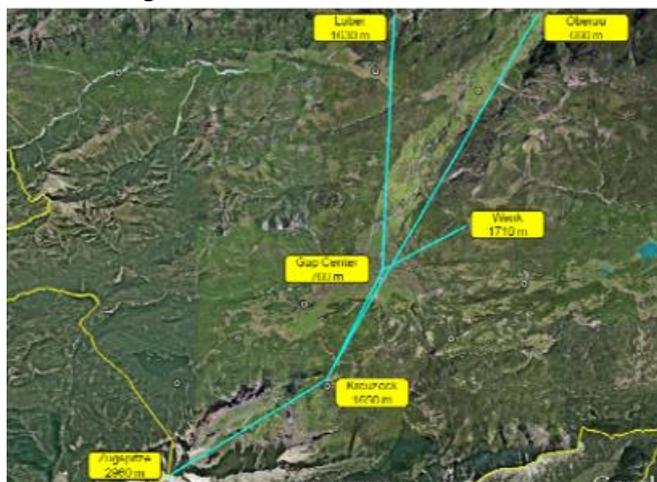


Abb.2: Die verfügbaren Richtfunkstrecken in der Umgebung von Garmisch-Partenkirchen (Gap)

Im vom HGF finanzierten virtuellen Institut PROCEMA (Regional Precipitation Observation by Cellular Network Microwave Attenuation and Application to Water Resources Management) wird diese neue Methode in der Region um Garmisch-Partenkirchen getestet. Dämpfungsdaten von mehreren Richtfunkstrecken auf den umliegenden Bergen werden dazu aufgezeichnet und ausgewertet.

Der Fokus dieses Projekts liegt auf der Verbesserung der Algorithmen zur Bestimmung von Niederschlagsintensitäten aus Dämpfungsdaten und auf der Entwicklung von neuen statistischen Methoden zur flächigen Abschätzung von Niederschlagsfeldern in Bodennähe. Zusätzlich zur Auswertung von Dämpfungsdaten kommerzieller Richtfunkstrecken wurde ein eigenes Transmissionsexperiment entwickelt und aufgebaut, um die Wechselwirkung von

Hydrometeoren und Mikrowellenstrahlung detaillierter zu untersuchen.

Messprinzip

Für die Betreiber einer Richtfunkstrecke ist es ein Ärgnis, für die Fernerkundung von Niederschlag aber ein überaus nützlicher Effekt: Die übertragene Leistung auf einer Richtfunkstrecke, welche meist im Mikrowellenbereich zwischen 10 GHz und 40 GHz betrieben werden, wird stark vom Niederschlag entlang der Strecke beeinflusst. Schon ein leichter Nieselregen führt zu einer messbaren Dämpfung der empfangenen Leistung. Diese Dämpfung des Signals A (in dB) entlang der Wegstrecke L_{eff} (in km) ist über die semiempirische Formel

$$A = aR^b L_{eff}$$

mit der Niederschlagsintensität R (in mm/h) verknüpft. Die Konstanten a und b hängen von der verwendeten Frequenz, der Tropfengrößenverteilung und der Regentemperatur ab. Dominierend ist die Frequenzabhängigkeit. So kann auch ohne Kenntnis der übrigen Parameter die Niederschlagsintensität relativ genau bestimmt werden. Für eine typische Richtfunkstrecke bei 20 GHz nehmen a und b die Werte 0.07 und 1.06 an. Ein leichter Regen mit einer Intensität von 1 mm/h führt demnach zu einer Dämpfung von 0.07 dB pro Kilometer.

Datenerfassung

In der Umgebung von Garmisch-Partenkirchen wurden von uns eigens dafür programmierte Datenerfassungsmodule an fünf Empfängern von Richtfunkstrecken (siehe Abb. 2) installiert. Diese senden die Minutenmittel der Empfangsleistung via GSM auf den Projektserver. Die Sendeleistung der Funkstrecken ist konstant. Jeder Abfall in der Empfangsleistung ist also eine Dämpfung des transmittierten Signals. Niederschlag ist aber nicht die einzige Größe, die Einfluss auf die Dämpfung hat. Andere atmosphärische Prozesse (Sonnenstrahlung, Luftfeuchte) ändern die Empfangsleistung ebenfalls, wenn auch in kleinerem Umfang. Um nun die von Niederschlag hervorgerufene Dämpfung zu extrahieren, wurde ein Algorithmus entwickelt, der die Dämpfungsdatenzeitreihen spektral analysiert. Entlang der gesamten Zeitreihe werden sukzessive Spektren kurzer Ausschnitte erzeugt. Anhand deren Form wird dann entschieden, ob dieser Zeitraum „wet“ (Niederschlag) oder „dry“ (kein Niederschlag) ist.

Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt ein Ergebnis dieser „wet/dry“ Bestimmung für eine Zeitreihe von 20 Tagen während des Sommers 2010. Der Algorithmus unterdrückt die täglichen und die Langzeitschwankungen, erkennt aber z.B. das sehr schwache Niederschlagsereignis am 30. Juni

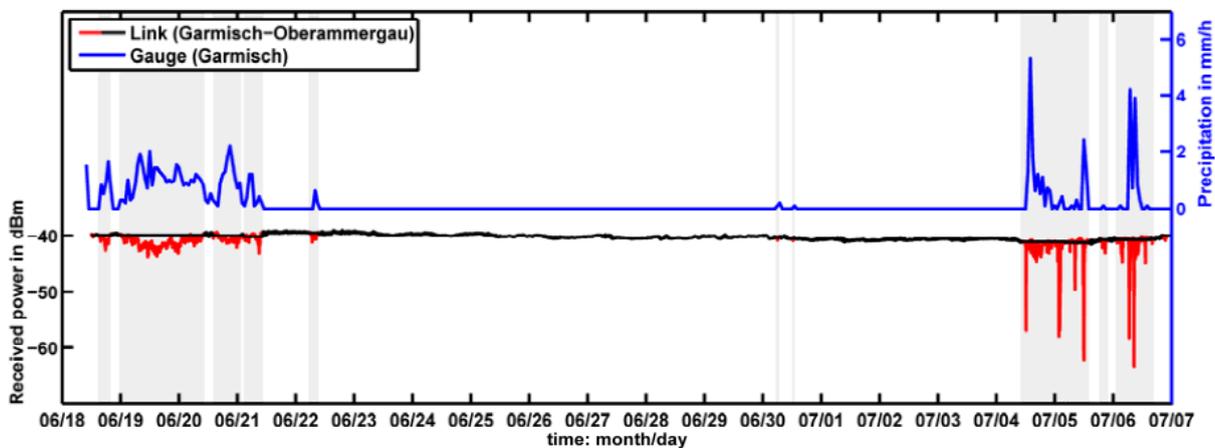


Abb.3: „Wet/dry“ Bestimmung für die Richtfunkstrecke von Garmisch zum Laber (Oberammergau). Die grauen Bereiche wurden als „wet“, also mit Niederschlag detektiert. Die rote Linie ist die Empfangsleistung, schwarz ist die baseline zur Dämpfungsbestimmung. Diese wird während eines Niederschlagsereignisses als konstant angenommen, ansonsten ist sie gleich der Empfangsleistung. Zum Vergleich ist blau die Regenintensität des DWD Regentopfs Garmisch gezeigt

korrekt. Die baseline des Signals, die man als Referenz für die Berechnung der Dämpfung benötigt, wird während eines Niederschlagsereignisses als konstant angenommen. Sie wird auf den letzten „dry“-Wert gesetzt. Regenraten werden nur für die mit „wet“ markierten Zeitpunkte berechnet. Abbildung 4 zeigt die so bestimmten Regenraten im November 2010. Im Vergleich dazu sind Daten ohne „wet/dry“ Bestimmung und Daten des DWD Regentopfs in Garmisch-Partenkirchen aufgetragen. Nach der Korrektur zeigen unsere Ergebnisse gute Übereinstimmung mit denen des DWD.

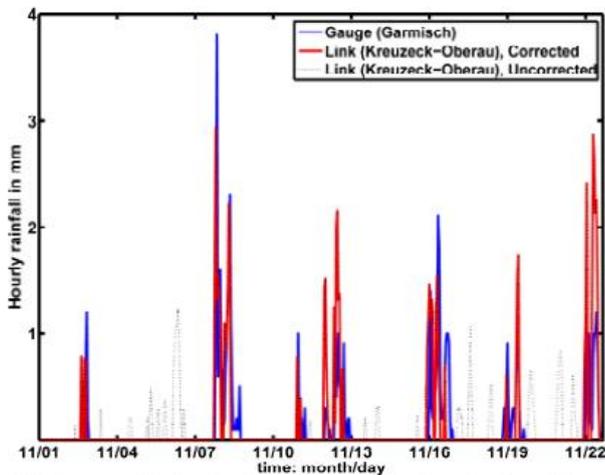
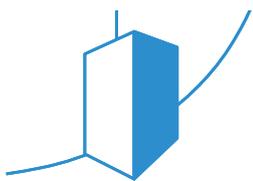


Abb.4: Vergleich des Stundenmittels der Niederschlagsintensität

Danksagung

Diese Arbeit wird von der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren als virtuelles Institut VH-VI-314 „Regional Precipitation Observation by Cellular Network Microwave Attenuation and Application to Water Resources Management“ (PROCEMA) finanziert.



**Umwelt
Forschungsstation
Schneefernerhaus**

Umweltforschungsstation
Schneefernerhaus GmbH
Zugspitzstraße 5
82475 Zugspitze

