

Wissenschaftliche Resultate 2021/ 2022



Herausgeber: Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH
Zugspitze 5; 82475 Zugspitze
Internet: www.schneefernerhaus.de
Druck: StMUV
Stand: September 2023

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.

MESOPAUSEN-TEMPERATUREN ÜBER EUROPA 2010-2022 UND DER EINFLUSS DER SONNE

CARSTEN SCHMIDT¹, LISA KÜCHELBACHER¹, SABINE WÜST¹ UND MICHAEL BITTNER^{1,2}

¹DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR), DEUTSCHES FERNERKUNDUNGSDATENZENTRUM (DFD),
82234 OBERPFAFFENHOFEN

²UNIVERSITÄT AUGSBURG, INSTITUT FÜR PHYSIK, 86159 AUGSBURG

E-MAIL: CARSTEN.SCHMIDT@DLR.DE

Zusammenfassung: Seit 2009 erfasst das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) von der Umweltforschungsstation „Schneefernerhaus“ (UFS) unterbrechungsfrei das sog. OH-Nachtleuchten (engl.: *airglow*) aus der Mesosphäre / unteren Thermosphäre (engl.: MLT-region, Mesosphere-Lower Thermosphere) in ca. 86-87 km Höhe.

In den folgenden Jahren wurden weitere Stationen in Betrieb genommen. Es zeigt sich, dass die solare Einstrahlung einen starken Einfluss auf die OH-Temperaturen ausübt. Allerdings ist die Wechselwirkung mit dem solaren Zyklus an allen Orten unterschiedlich stark ausgeprägt.

Abstract: Since 2009 the German Remote Sensing Data Center (DFD) of the German Aerospace Center (DLR) has been observing the OH airglow region from the environmental research station "Schneefernerhaus" (UFS) without any interruption. This faint luminosity originates in the Mesosphere-Lower Thermosphere (MLT) region at approximately 86-87 km height.

More sites were put into operation during the following years. It is now evident that solar radiation exerts a strong forcing on OH temperatures. However, this relation to

the solar cycle varies in intensity between the individual sites.

Das OH-Leuchten in der Mesopausenregion hat seinen Ursprung in einer exothermen chemischen Reaktion, bei der ein sog. Hydroxyl-Molekül (OH) produziert wird. Die freigesetzte Energie wird dabei überwiegend auf das Hydroxyl-Molekül übertragen, das diese Energie nach kurzer Zeit hauptsächlich in Form infraroter Strahlung wieder abgibt. Aus den so entstehenden Emissionsspektren des OH-Moleküls kann auf die Umgebungstemperatur in 86-87 km Höhe geschlossen werden (vgl. Schmidt et al. (2013) und Wüst et al. (2017)).

Dieser Höhenbereich ist von entscheidender Bedeutung beim Verständnis der

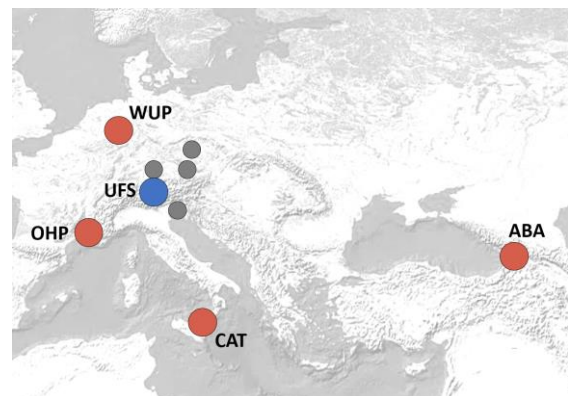


Abb.1: Lage der Gesichtsfelder der betrachteten Stationen: UFS (blau), Wuppertal (WUP, rot), Observatoire de Haute-Provence (OHP, rot), Georgian National Astronomical Observatory (ABA, rot), Catania (CAT, rot). Weitere operationelle Stationen, deren Zeitreihen aktuell noch nicht lang genug sind, befinden sich in der Nähe des Al-

penraums (grau); Kartenmaterial: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Eckert4.jpg> [CCo, 18.1.2023].

Energiebilanz der Atmosphäre. Der Einfluss der solaren Aktivität auf die mittleren Temperaturen ist stärker, Temperaturänderungen aufgrund des höheren CO₂-Gehalts der Atmosphäre sollten schneller erfolgen. Eine genaue Quantifizierung beider Einflüsse ist daher von entscheidender Bedeutung für das Verständnis der langfristigen Entwicklung.

Erhebliche Diskrepanzen zwischen den diesbezüglichen Messungen an unterschiedlichen Orten führten nach Gründung des NDMC (Network for the Detection of Mesospheric Change) zu der Neuentwicklung der GRIPS (Ground-based Infrared P-branch Spectrometer) Instrumente durch das DLR. Im Anschluss wurden viele Stationen mit diesen identischen Spektrometern ausgestattet, angefangen 2009 bei der UFS – der Referenzstation des NDMC. So werden nun an verschiedenen Orten Daten mit identischen Messgeräten erhoben, die wiederum mit identischen Methoden untersucht werden können (s. Abb. 1). Neben der UFS liegen nun an weiteren Stationen Zeitreihen ausreichender Länge vor, um erste Analysen durchzuführen.

Abbildung 2 zeigt die entsprechenden Zeitreihen von fünf ausgewählten Stationen. Sofort fällt die Korrelation mit dem solaren Zyklus ins Auge. Am deutlichsten zeigt sie sich an der UFS, da hier der solare Zyklus 24 (2008 – 2019) fast vollständig abgedeckt wird. Die Stationen in OHP, ABA und CAT, die ihn nicht mehr ganz erfassen, weisen zumindest die Jahre 2012 (CAT) bzw. 2014 (OHP, ABA) als zwei der wärmsten aus - mit einem mehr oder weniger stark ausgeprägten Rückgang der Temperaturen bis 2021. Einzig an der am nördlichsten gelegenen Station WUP scheinen andere dynamische Prozesse noch eine Rolle zu spielen. Dies wird auch daran erkennbar, dass die Konfidenzintervalle hier einen größeren Bereich abdecken: sie berechnen sich statistisch aus der generellen

Variabilität und der Messabdeckung an der

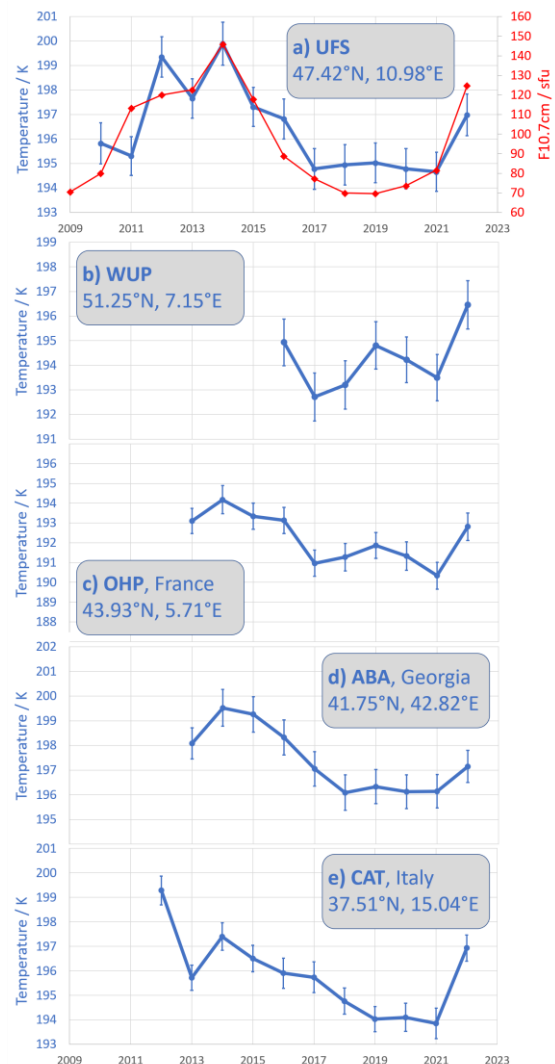


Abb.2: Jahresmittelwerte der OH-Temperatur an verschiedenen Stationen. Am deutlichsten zeigt sich die Korrelation von solarer Aktivität und OH-Temperatur am Schneefernerhaus (a). Die meisten Stationen zeigten seit 2014 einen Rückgang der Temperaturen, der in 2022 überall zu einem abrupten Ende kam (c-d), für Wuppertal (b) lässt sich aufgrund der begrenzten Länge der Zeitreihe noch keine Aussage treffen, der Anstieg in 2022 findet jedoch auch hier statt.

jeweiligen Station. Eine genaue Analyse wird zurzeit noch dadurch erschwert, dass die Messungen dort erst im Jahr 2015 starten.

Aus den Daten des Zyklus 24 konnte für vier Stationen der Einfluss der solaren Einstrahlung mit $6,3 \pm 0,7 \text{ K/100sfu}$ (sfu: solar flux unit) für UFS, $4,0 \pm 1,0 \text{ K/100sfu}$ (OHP), $4,5 \pm 1,0 \text{ K/100sfu}$ (ABA) und

4,7 K $\pm$ 0,9 K/100sfu (CAT) abgeschätzt werden (Stand: Ende 2021).

Basierend auf diesen Ergebnissen und zusammen mit Kenntnis der Sonnenaktivität im Jahr 2022 – hier wurden Werte erreicht, die in den letzten 15 Jahren nur in 2014 überschritten wurden – konnte so ein wahrscheinlicher Anstieg der OH-Temperaturen von 2-3 K für 2022 prognostiziert werden. An den mitteleuropäischen Stationen UFS, WUP, OHP wie auch an CAT in Südeuropa stimmen die tatsächlich gemessenen Werte gut mit dieser Prognose überein (UFS: +2,4 K ($\pm$ 1,2 K) / WUP: +3,0 K ($\pm$ 1,4 K) / OHP: +2,5 K ($\pm$ 1,5 K) / CAT: +2,7 K ($\pm$ 0,8 K)). Dahingegen bleibt der Anstieg der Temperaturen mit lediglich ca. +1,0 K ($\pm$ 0,9 K) in ABA deutlich hinter den Erwartungen zurück.

Ein weiteres interessantes Phänomen besteht in der Tatsache, dass die Temperaturen an der UFS dem solaren Zyklus offenbar besonders gut folgen, ab 2014 mit einem steilen Rückgang innerhalb von drei Jahren, um dann über fünf Jahre nahezu konstant zu bleiben. Wo hingegen in CAT ab 2014 über acht Jahre ein mehr oder weniger stetiger Rückgang von -0,5 K/Jahr zu beobachten ist, gefolgt von einem umso steileren Anstieg in 2022.

Diese einfachen Beispiele verdeutlichen, dass bezüglich der langfristigen Temperaturänderungen noch einige offenen Fragen bestehen, die mithilfe dieser und weiterer Messungen in den kommenden Jahren hoffentlich zuverlässig beantwortet werden können.

Literatur

Schmidt, C., Höppner, K., Bittner, M., 2013, A ground-based spectrometer equipped with an InGaAs array for routine observations of OH(3-1) rotational temperatures in the mesopause region. J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 102, 125-139, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2013.05.001>.

Wüst, S., Bittner, M., Yee, J.-H., Mlynarczyk M.G., Russel, J.M. III, 2017. Variability of the Brunt-Väisälä frequency at the OH* layer height. AMT

10, 4895-4903, <https://doi.org/10.5194/amt-10-4895-2017>.

Danksagung

Für die hervorragende Betreuung der Instrumente gilt unser ausdrücklicher Dank dem Personal der UFS, allen voran Herrn Dr. Till Rehm, ohne dessen Engagement das hohe Qualitätsniveau der UFS-Zeitreihen kaum zu erreichen wäre.

Die Messungen wurden in den vergangenen Jahren durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz über die Projekte GUDRUN (71b-U8729-2003/125-13), GRIPS3 Back-Up (2009/40051), BHEA (TLK01U-49580), LUDWIG (TUS01UFS-67093), VoCaS (TKP01KPB-70581) und AlpEn-DAC (TUS01UFS-72184) finanziert.

Die Daten des solaren Zyklus stammen vom Goddard Space Flight Center / Space Physics Data Facility, GSFC/SPDF OMNIWeb interface (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov>, Zugriff 16.1.2023).