

# Wissenschaftliche Resultate 2021/ 2022



**Herausgeber:** Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH  
Zugspitze 5; 82475 Zugspitze  
**Internet:** [www.schneefernerhaus.de](http://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 Wahlwerbenden 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.

## STRAHLUNGSENERGIEFLUSSDICHTEN DES OH-NACHTHIMMELLEUCHTENS

ANNA MOSER<sup>1,2</sup>, CARSTEN SCHMIDT<sup>1</sup>, SABINE WÜST<sup>1</sup>, MICHAEL BITTNER<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR), DEUTSCHES FERNERKUNDUNGSDATENZENTRUM (DFD),

82234 OBERPFAFFENHOFEN

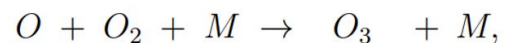
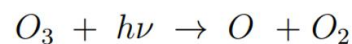
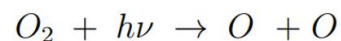
<sup>2</sup>UNIVERSITÄT AUGSBURG, INSTITUT FÜR PHYSIK, 86159 AUGSBURG

E-MAIL: ANNA.MOSER@DLR.DE

**Zusammenfassung:** Seit 2009 erfasst das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR) von der Umweltforschungsstation „Schneefernerhaus“ (UFS) aus das sog. Hydroxyl (OH)-Nachtleuchten (engl.: airglow) aus der oberen Mesosphäre / untere Thermosphäre in ca. 86-87 km Höhe. Nach aufwendiger Kalibrierung und Qualitätssicherung liegen erste Ergebnisse zur Langzeitentwicklung der OH-Airglow-Strahlung vor. Dies wird in zukünftigen Studien verwendet, um auf die Konzentrationen von atomarem Sauerstoff zu schließen, was nicht nur für die Produktion von OH benötigt wird, sondern auch ein wichtiger Energiespeicher in der mittleren Atmosphäre ist.

**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). This faint luminosity originates in the Mesosphere Lower Thermosphere (MLT) region at approximately 86-87 km height. After complex calibration and quality assurance, first results concerning the long-term development of the OH airglow radiance are obtained. This will be used in future studies to infer the concentrations of atomic oxygen, which is not only required for the production of OH but also an important energy reservoir in the middle atmosphere.

Das Nachthimmelleuchten im nahen Infrarot entsteht bei chemischen Prozessen in einer Höhe von ca. 86-87 km (Wüst et al., 2017). Atome bzw. Moleküle werden tagsüber durch die Sonnenstrahlung im UV-Bereich ionisiert, dissoziiert oder energetisch angeregt.



So wird in Höhen über etwa 80 km vermehrt atomarer Sauerstoff (O) produziert, der nachfolgend wiederum Ozon (O<sub>3</sub>) bildet. Dieses reagiert mit atomarem Wasserstoff (H) zu molekularem Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und einem angeregten Hydroxyl-Molekül (OH) (vgl. Bates und Nicolet, 1950). Bei diesem Prozess wird Infrarotstrahlung freigesetzt. Das OH-Nachthimmelleuchten wird seit 2010 an der UFS mit den beiden GRIPS-Instrumenten 7 und 8 gemessen (Schmidt, 2016 und Schmidt et al., 2013). Die Nutzung zweier Geräte dient unter anderem der Qualitätskontrolle. Bei einer Messkampagne 2017 wurden beide Instrumente in Kooperation mit der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt (PTB) neu kalibriert und auf die nationalen Standards der PTB zurückgeführt. Dadurch können erstmals OH-Strahlungsenergieflussdichten (im Folgenden kurz als Strahldichten bezeichnet) untersucht werden.

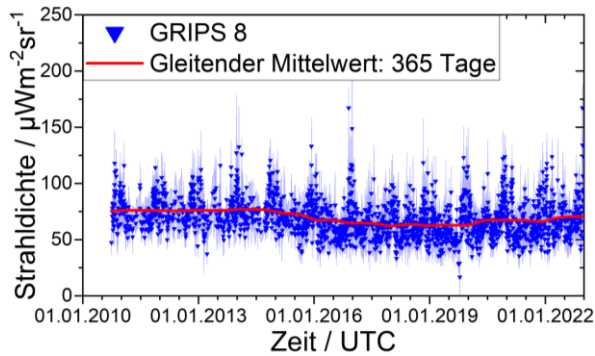


Abb.1: Die Nachtmittelwerte der Strahllichten des OH-Leuchtens (blaue Dreiecke) inkl. Varianz der Strahllichten im Verlauf einer Nacht (hellblau schraffiert) von Oktober 2010 bis Ende 2022. Die höchsten Werte werden im Winter und Sommer erreicht; dabei liegen die Wintermaxima systematisch höher als die Sommermaxima.

In Abbildung 1 ist der langfristige Verlauf der Nachtmittelwerte der von GRIPS 8 gemessenen Strahllichten (blaue Dreiecke) von 2010 bis Ende 2022 dargestellt. Ihre Unsicherheiten (hellblau schraffiert) wird überwiegend aus der Varianz der Strahllichten im Verlauf einer Nacht bestimmt

Sowohl im Winter als auch im Sommer bilden sich Maxima in den Strahllichten aus. Die Wintermaxima sind dabei systematisch stärker ausgeprägt als die Sommermaxima. Die Maxima sind maßgeblich auf die erhöhte Konzentration von atomarem Sauerstoff in der Atmosphäre zurückzuführen. Der Anstieg der Konzentration von O ist dabei in erster Linie auf vertikale Transportprozesse zurückzuführen, denn die Konzentration von O steigt mit zunehmender Höhe über der MLT stark an. Abwärts gerichtete Strömungen sind ein Kennzeichen der winterlichen MLT. Insofern ist die Ausbildung des sekundären Maximums im Sommer zunächst überraschend. Aktuelle Modellierungen von Grygalashvyly et al. (2021) zeigen jedoch, dass sich aufgrund der zonalen Struktur der Temperatur, O-Konzentration und Höhe der OH-Schicht in mittleren Breiten ein Sommermaximum ausbilden sollte. Erste weitere Analysen zeigen, dass die sekundären Sommermaxima besonders ab 2019 deutlich intensiver werden.

Dies wird derzeit noch weiter untersucht, offenbar korreliert der langfristige Verlauf der OH-Strahllichten mit der Änderung der solaren Einstrahlung. Erkennbar ist dies an den bis Ende 2015 erhöhten Werten – angedeutet durch die gestrichelten roten Linien –, die mit dem Maximum des solaren Zyklus 24 zusammenfallen.

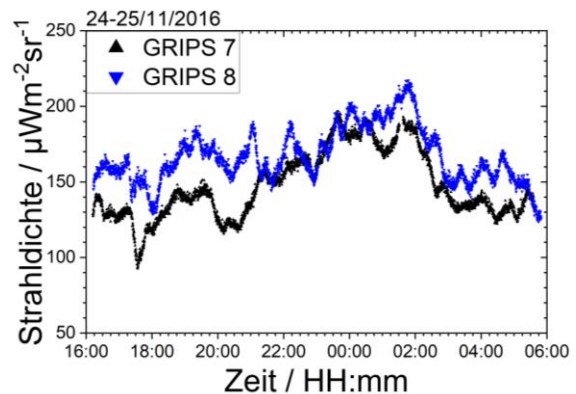


Abb.2: Die kalibrierten Strahllichten des OH-Leuchtens für beide Instrumente GRIPS 7 (schwarz) und GRIPS 8 (blau) im Verlauf der Nacht vom 24. auf den 25.11.2016. Die Schwankungen der Strahllichten sind auf starke Wellenaktivität in der Atmosphäre zurückzuführen.

Im Jahr 2016 wurde eine der hellsten Nächte (bezogen auf den gesamten Beobachtungszeitraum) vom 24. auf den 25.11.2016 detektiert. Diese Nacht ist für beide Instrumente GRIPS 7 (schwarze Dreiecke) und GRIPS 8 (blaue Dreiecke) in Abbildung 2 im zeitlichen Verlauf dargestellt. Das Gesichtsfeld von GRIPS 7 ist zu diesem Zeitpunkt nicht deckungsgleich mit dem von GRIPS 8. Die Unterschiede der Messreihen beider Instrumente sind bedingt durch die unterschiedliche Ausrichtung der Geräte. Inwiefern die Helligkeit von der Aktivität kurzperiodischer Wellen abhängig ist, ist Gegenstand anstehender Untersuchungen. Wellenaktivität ist offenkundig in dieser Nacht präsent und ändert sich bereits auf den etwa 200 km zwischen den beiden Gesichtsfeldern.

Die Prozessierung und Qualitätssicherung der Daten erweist sich als aufwendig und heraus-

fordernd, da die Instrumente ursprünglich nicht darauf ausgelegt worden waren, die Strahldichten zu erfassen.

Dennoch konnten bereits saisonale (Jahres- und Halbjahresgang) und langfristige (solarer Zyklus) Helligkeitsschwankungen des OH-Leuchtens nachgewiesen werden.

### Literatur

Bates, D. R. und Nicolet, M. 1950, „The Photochemistry of Atmospheric Water Vapor“, *Journal of Geophysical Research*, Volume 55, Issue 3, doi: 10.1029/JZ0551003P00301.

Grygalashvyly et al. 2021, „Semi-Annual Variation of Excited Hydroxyl Emission at Mid-latitudes“, *Annales Geophysicae* 39.1, S. 255-265, doi: 10.5194/angeo-39-255-2021

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>.

Schmidt, C. 2016, „Entwicklung eines Bodengebundenen Infrarotspektrometers für die zeitlich hochaufgelöste Beobachtung des OH-Leuchtens aus der Mesopausenregion“, Dissertation, Universität Augsburg

Wüst, S., Bittner, M., Yee, J.-H., Mlynzcak 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 u.a. im Rahmen von Drittmittelprojekten durch das bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz finanziert (Projekte GUDRUN (71b-U8729-2003/125-13), GRIPS3 BackUp (2009/40051), BHEA (TLK01U-49580), LUDWIG (TUS01UFS-67093), VoCaS (TKP01KPB-70581) and AlpEnDAC (TUS01UFS-72184)).