

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.

HINWEISE AUF DRUCKWELLEN AUSGELÖST DURCH DIE ERUPTION DES HUNGA TONGA- HUNGA HA'APAI AUCH IN DER MITTLEREN ATMOSPHERE ÜBER EUROPA

LEON KNEZ^{1,2}, CARSTEN SCHMIDT¹, PATRICK HANNAWALD¹, SABINE WÜST¹, MICHAEL BITTNER^{1,2}

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

82234 OBERPFAFFENHOFEN

² UNIVERSITÄT AUGSBURG, INSTITUT FÜR PHYSIK, 86159 AUGSBURG

E-MAIL: LEON.KNEZ@DLR.DE

Zusammenfassung: In der Nacht vom 15.01.2022 brach im Königreich Tonga der Vulkan Hunga Tonga – Hunga Ha'apai (HTHH) aus und generierte starke atmosphärische Druckwellen, die teils mehrfach um die Welt propagierten. An der Umweltforschungsstation „Schneefernerhaus“ (UFS), sowie in ganz Europa, konnten entsprechende Signale sogar in der Mesopause (80-100 km Höhe) mit den GRIPS (GRound-based Infrared P-branch Spectrometer) und BAIER (Bavarian Airglow ImagER) Instrumenten sowohl im OH- als auch im O₂-Airglow registriert werden.

Abstract: On January 15th 2022 the Hunga Tonga – Hunga Ha'apai volcano erupted and generated strong atmospheric pressure waves of which some propagated several times across the globe. At the Environmental Research Station "Schneefernerhaus" (UFS), as well as in whole Europe, signals could be detected even at MLT (Mesosphere-Lower-Thermosphere) heights (80-100 km) using the GRIPS (GRound-based Infrared P-branch Spectrometer) and the BAIER (Bavarian Airglow ImagER) instruments for the observation of the OH and the O₂ airglow.

Der Ausbruch des Vulkans Hunga Tong - Hunga Ha'apai (HTHH) im Königreich Tonga ereignete sich am 15. Januar 2022 um ca. 04:15 UTC und war einer der explosivsten und energiereichsten Ausbrüche des letzten Jahrhunderts (Matoza, 2022; Vergoz, 2022). Er löste dabei eine Reihe atmosphärischer Störungen aus, die in Form von Wellen mehrfach um die Erde propagierten (Matoza, 2022).

Ein Teil dieser Signale konnte in ganz Europa auch in Airglowmessungen registriert werden, die sich in den letzten Jahrzehnten als sehr hilfreich für die Beobachtung von dynamischen Prozessen in der Atmosphäre erwiesen haben (z.B. Bittner, 2002; Schmidt, 2018; Wüst, 2018). Die Signale zeigen sich als Heligkeitschwankungen des Airglows, d.h. von Emissionen verschiedener energetisch angeregter Moleküle (z.B. molekularer Sauerstoff, O₂ oder Hydroxyl, OH) in ca. 94-95 km bzw. 86-87 km Höhe.

An der UFS, am Sonnblick-Observatorium (SBO), in Otlica (OTL, Slowenien), am Observatorium Haute-Provence (OHP, Frankreich) und in Catania (CAT, Italien) konnten in GRIPS-Messungen entsprechende Wellen registriert werden. In Abbildung 1 sind die

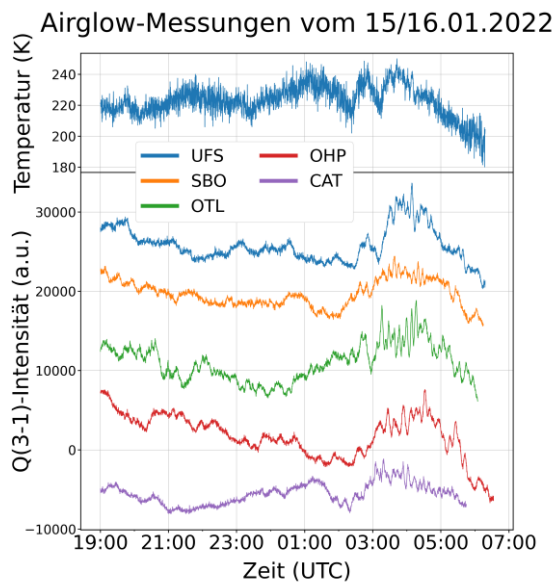


Abb.1: OH-Airglow-Intensitäten an den Stationen UFS (blau), SBO (orange), OTL (grün), OHP (rot) CAT (violett) und oben die zur UFS gehörige Rotationstemperatur (blau) am 15/16.01.2022; Für die bessere Übersicht wurden die Intensitätsdaten vertikal gegeneinander verschoben. Kurzperiodische Wellen treten zwischen ca. 02:00-06:00 UTC nahezu zeitgleich an allen Stationen auf.

Intensitätsmessungen des sog. Q (3-1)-Zweigs des OH-Airglows (d.h. bestimmter Linien bei ca. $1.505 \mu\text{m}$ Wellenlänge) aus ca. 86 – 87 km Höhe zu sehen. Dabei werden Wellenpakete ca. 22,5h nach dem ungefähr 17.000 km entfernten Ausbruch und über drei Stunden hinweg an den Stationen registriert (als Referenzpunkt wurde ca. 03:00 UTC gewählt). Ihre Frequenzen beschränken sich hauptsächlich auf den Bereich von ungefähr 1 – 3 mHz.

Hin und wieder ließen sich zwar ähnliche Wellenpakete in den GRIPS-Beobachtungen der letzten Jahre identifizieren, jedoch konnten sie nie über 3 h hinweg und auch nicht an mehreren Stationen gleichzeitig gemessen werden. Ein Zusammenhang mit dem Ausbruch des HTHH liegt daher nahe.

Hätte sich die Welle über den kürzesten direkten Weg vom Vulkan zur jeweiligen Messstation ausgebreitet (s. Abb. 2, gelber Pfeil), so hätte sie eine Geschwindigkeit von ca. $211 \pm 36 \text{ m/s}$ gehabt. Für den längeren entgegengesetzten Weg (s. Abb. 2, grüner Pfeil) hätte sich

eine Geschwindigkeit von ca. $279 \pm 30 \text{ m/s}$ ergeben.

Im ersten Fall hätten die Signale der Schockwelle dementsprechend gegen 19:20 UTC im Airglow beobachtet werden müssen. Das war nicht der Fall. Erst nach dem Durchgang der Schockwelle, die den entgegengesetzten Weg um die Erde genommen hat, um ca. 01:10 UTC, lassen sich Signale erkennen.

Zwischen der Rotationstemperatur und der Intensität des Airglows an der UFS (blaue Graphen in Abb. 1) konnte kein Phasenunterschied festgestellt werden.

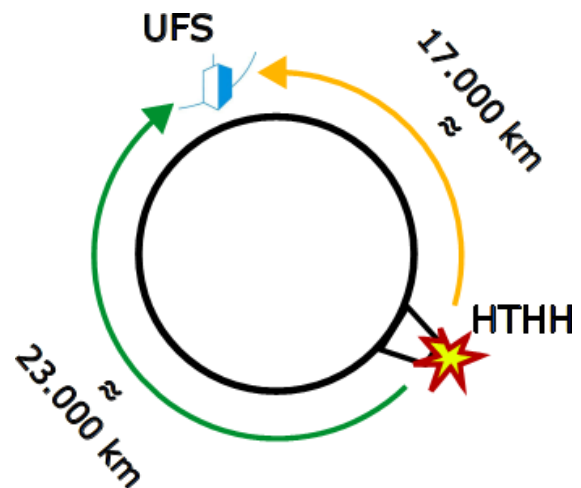


Abb.2: Die vom HTHH ausgelöste Schockwelle kam an der UFS einmal über den kürzesten direkten Weg (gelber Pfeil) und einmal über den längeren entgegengesetzten Weg (grüner Pfeil) an der UFS an.

Mit BAIER, einem Kamerasystem, das Teile des Spektrums des O_2 - ($865 \pm 5 \text{ nm}$) und OH-Airglows ($715 - 930 \text{ nm}$) registriert und ebenfalls an der UFS steht, konnten in der Nacht vom 16.01.2022 um ca. 04:00 UTC entsprechende Wellen registriert werden. In Abbildung 3 sind Wellenfronten (rot markiert) zu sehen und aus mehreren Aufnahmen zwischen ca. 04:00 – 05:00 UTC konnte eine zugehörige durchschnittliche Wellenlänge von ca. 77 km (blau markiert) bei einer Geschwindigkeit von etwa 170 m/s und einer Frequenz von ca. 2 mHz, d.h. identisch zu den Frequenzen der Wellen in GRIPS, errechnet werden. Diese Geschwindigkeit ist für atmosphärische

Schwerewellen vergleichsweise hoch und für die Schockwelle, die eine Lambwelle ist, wäre sie zu niedrig. Dies lässt auf besondere Prozesse in der Atmosphäre in dieser Nacht schließen, die auf eine Verbindung zum HTHH zurückgeführt werden könnten. Die beobachtete Ausbreitungsrichtung aus Ost-Nordost (Azimut um 70° , gelber Pfeil in der Abb. 3) gibt allerdings noch Rätsel auf (erwartet wurde eine Ankunft aus Nord-Nordost für den kürzeren und Süd-Südwest für den längeren Weg).

Wie von Vergoz et al. (2022) bereits diskutiert worden ist, sind die Wellenfronten über Europa in ihrer Richtung teilweise bis zu 90° vom erwarteten Wert abgewichen. Dies könnte einen Teil der Erklärung für die unerwartete Ausbreitungsrichtung liefern.

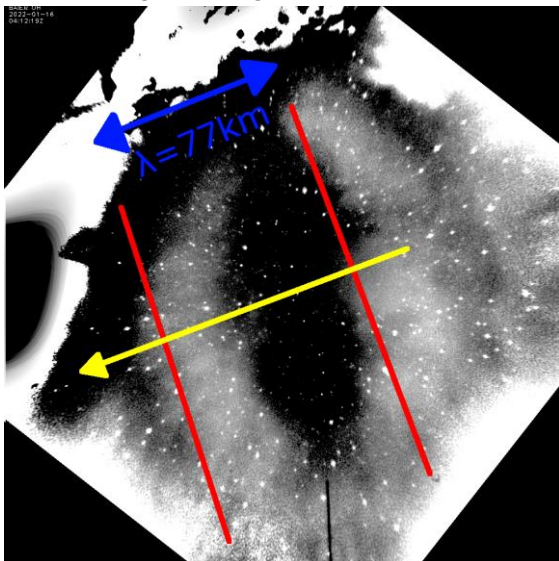


Abb.3: Sichtbare Wellen im OH-Airglow in der Nacht vom 16.01.2022 um 04:12 UTC aufgenommen von BAIER. Die roten Linien zeigen Wellenfronten und der gelbe Pfeil die Ausbreitungsrichtung. Die Wellen kommen aus ca. 70° Azimut, also aus Ost-Nordost.

Literatur

Bittner, M., Offermann, D., Graef, H.H., Donner, M., Hamilton, K., 2002. An 18 year time series of OH rotational temperatures and middle atmosphere decadal variations. *J. Atmos. Terr. Phys.* 64 (8–11), 1147–1166. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(02\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00065-2)

Matoza, R. S., Fee, D., Assink, J. D., Iezzi, A. M., Green, D. N., Kim, K., Toney, L., Lecocq, T., Krishnamoorthy, S., Lalande, J.-M., Nishida, K., Gee, K. L., Haney, M. M., Ortiz, H. D., Brissaud, Q., Martire, L., Rolland, L., Vergados, P., Nippres, A., Wilson, D. C. (2022). Atmospheric waves and global seismoacoustic observations of the January 2022 Hunga eruption, Tonga. *Science (New York, N.Y.)*, 377(6601), 95–100.

<https://doi.org/10.1126/science.abo7063>

Schmidt, C., Dunker, T., Lichtenstern, S., Scheer, J., Wüst, S., Hoppe, U. P., Bittner, M., 2018. Derivation of vertical wavelengths of gravity waves in the MLT-region from multispectral airglow observations. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 173, 119–127, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2018.03.002>.

Vergoz, J., Hupe, P., Listowski, C., Le Pichon, A., Garcés, M. A., Marchetti, E., Labazuy, P., Ceranna, L., Pilger, C., Gaebler, P., Näsholm, S. P., Brissaud, Q., Poli, P., Shapiro, N., de Negri, R., & Mialle, P. (2022). Ims observations of infrasound and acoustic-gravity waves produced by the January 2022 volcanic eruption of Hunga Tonga: A global analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 591, 117639. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117639>

Wüst, S., Offenwanger, T., Schmidt, C., Bittner, M., Jacobi, C., Stober, G., Yee, J.-H., Mlynarczyk, M. G., and Russell III, J. M.: Derivation of gravity wave intrinsic parameters and vertical wavelength using a single scanning OH(3-1) airglow spectrometer, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 2937–2947, <https://doi.org/10.5194/amt-11-2937-2018>, 2018

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.