Project: **1022**
Project title: **The middle atmosphere in a changing climate - MACClim**
Principal investigator: **Hella Garny**
Report period: **2025-11-01 to 2026-10-31**

Im Projekt MACClim (bd1022) wurden im Jahr 2026 bis Dato (26.10.2026) ca.5522 (einschließlich 3446 verfallenen) node-h Rechenzeit von insgesamt bewilligten 7317 node-h des Jahres 2026 verbraucht. Beantragt wurden für das Jahr 2026 Ressourcen für Simulation mit dem Model UA-ICON (Borchert el al, 2019; https://doi.org/10.5194/gmd-12-3541-2019), zur Evaluierung des Models hinsichtlich Schwerewellenaktivität im Rahmen des DLR-finanzierten Projekt „RESITEK“, zur Untersuchung deren Rolle für die Zirkulation und Transport in der mittleren Atmosphäre im DFG Projektes „TPChange“, und zur Vorbereitung der Waveguide HALO Flugzeug-Kampagne (WAVEGUIDE: PI: Bernd Kaifler, DLR; siehe Link). Für das verbleibende Jahr sind kampagnenbegleitende Simulationen während WAVEGUIDE geplant (tägliche Vorhersagen mit UA-ICON für jeweils 4 Tage zur Flugplanung). Der bisher niedrigere Verbrauch der Rechenzeit als beantragt begründet sich insbesondere durch eine verspätete Besetzung der Doktorandenstelle in TPChange: diese konnte erst im September 2026 besetzt werden, und somit wurden noch keine Simulationen für das Projekt durchgeführt. Da die restlichen Ressourcen dieses Jahr für die Kampagnen-vorhersagen benötigt werden, wird die benötigte Rechenzeit für TPChange erneut für das Jahr 2027 beantragt.

Folgende wissenschaftliche Arbeiten wurden dieses Jahr durchgeführt:

1) Evaluierung von UA-ICON und Entwicklung Vorhersagen
Im Rahmen des DLR-Projekts „RESITEK“, welches zum Ziel hat Simulationen der Mesosphäre und unteren Thermosphäre zu validieren und deren Einsatz als untere Randbedingung für ionosphärische Vorhersagen zu testen, wurden UA-ICON Simulationen für die Monate Januar 2016 und Juni 2023 durchgeführt. Die Simulationen wurden mit einer Auflösung betrieben, die die explizite Simulation von Schwerewellen erlaubt (20km horizontal, R2B7, und 250 vertikale Level bis 150 km Höhe), und es wurde eine Simulationsstrategie entwickelt, die es erlaubt über einen Monat mit Beobachtungsdaten zu vergleichen. Dafür wurde die Simulation mit ERA5 Reanalyse Daten initialisiert, jeweils für 4 Tage frei laufen gelassen, und dann neu initialisiert mit ERA5 im „unteren“ Bereich der Atmosphäre (bis ca. 50 km Höhe). Die Zeiträume wurden gewählt nach Verfügbarkeit von Lidar Messungen in Nordfinnland (Januar 2016) und sowohl in Südamerika und am Südpol (Januar 2023). Diese Daten liefern Vergleichsmessungen für die absoluten Temperaturprofile, als auch von Temperaturstörungen, die ein Maß für Schwerewellenaktivität sind. Fig. 1 zeigt als Beispiel die abgeleiteten Temperaturstörungen in Rio Grande (67.36°N, 26.62°E) für alle vorhandenen Messzeiträume im Juni 2023. Das Modell UA-ICON bildet die vertikale Struktur der Temperaturstörungen gut ab, aber unterschätzt im allgemeinen die Amplituden. Dies ist wahrscheinlich auf die Auflösung zurück zu führen, da bei 20 km Gitterweite zwar größerskalige Schwerewellen (~ >200 km) aufgelöst werden, aber bekannt ist dass Schwerewellenaktivität mit kleineren Wellenlängen einen wichtigen Beitrag liefert. Vergleiche der Absoluttemperaturen an den drei Standorten zeigt das UA-ICON im Winter in mittleren und hohen Breiten eine zu hohe Temperatur der Stratopause simuliert, was wiederum Rückschlüsse auf Zirkulations-biases suggeriert. Die residuale Zirkulation in der Mesosphäre sinkt am Winterpol ab und führt zu adiabatischer Erwärmung, so dass zu hohe Temperaturen eine zu starke Zirkulation bedeuten könnte. Dies widerspricht einer zu schwachen aufgelösten Schwerewellenaktivität, und ist somit wohl mit einem zu starken Beitrag der parametrisierten Schwerewellen zu begründen. Eine Publikation zur Evaluierung von UA-ICON derzeit in Vorbereitung (Marbini et al, in prep.).

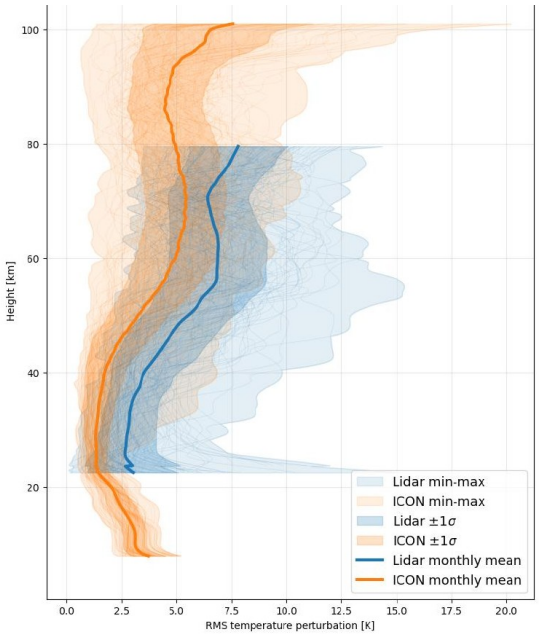


Figure 1: Temperaturstörungen (RMS, je gemittelt über 15km Höhe) in Rio Grande für Juni 2023 von Lidar Messungen (blau) und UA-ICON Simulationen (Orange).

Die Re-initalisierungs Strategie wurde weiterhin entwickelt und getestet für den Einsatz für Vorhersagen mit UA-ICON für die im November/Dezember 2026 geplante WAVEGUIDE Halo-Flugmesskampagne, mit dem Ziel Schwerewellenaktivität in Stratosphäre und Mesosphäre zu charakterisieren. Die Flugplanung basiert zu großen Teilen auf Vorhersagen mit IFS am ECMWF. Allerdings ist bekannt, dass Schwerewellenaktiviät in

diesem Produkt aufgrund der numerischen Dämpfungsschicht bereits ab ca. 45 km Höhe gedämpft sind. Die ergänzenden Vorhersagen mit UA-ICON soll somit Information in größeren Höhen liefern. Dafür ist geplant, Vorhersagen täglich zu starten mit 4 Tagen Laufzeit, initialisiert mit aktuellen IFS Analysen. Die Durchführung dieser Vorhersagen wird die restliche im Projekt verbleibende Rechenzeit beanspruchen.

2) Analyse von Schwerewellenquellen in der mittleren Atmosphäre

Basierend auf bestehenden Simulationen mit UA-ICON (durchgeführt im Jahr 2024) wird derzeit eine Publikation vorbereitet, die die wichtige Rolle von explizit aufgelösten Schwerewellen für die Darstellung der großskaligen Zirkulation der Mesosphäre/ unteren Thermosphäre zeigt. Im vergangenen Jahr wurden weitere tiefgehende Analysen der Wellenaktivität durchgeführt, und dabei wurde gezeigt, dass die relevanten kleinskaligen Wellen mit positiven zonalen Phasengeschwindigkeiten (ostwärts propagierend) in der Stratosphäre / unteren Mesosphäre erzeugt werden. Dies ist in Fig. 2 gezeigt: während aufwärts und westwärts propagierende Wellen ihre Quelle in der Troposphäre haben, konservativ durch die Stratosphäre propagieren (konstante Impulsflussdichte bis ca. 40 km Höhe) und danach dissipieren, zeigen aufwärts-ostwärts propagierende Wellen ein deutlich anderes Verhalten: Impulsflüsse nehmen mit der Höhe stark ab bis zu einem Minimum auf ca. 40 km Höhe (erklärbar durch Filterung durch die vorherrschenden Westwinde, aka dem Polarwirbel), aber steigen danach stark an. Dies bedeutet, dass diese Wellen in Höhen um ca. 60 km erzeugt werden. Der Mechanismus der Erzeugung ist noch unklar und wird derzeit untersucht. Die geografische und zeitliche Verteilung des Auftretens macht sekundäre Wellengenerierung (also Erzeugen von Wellen in Brechungsregionen von „primären“ Wellen, die aus der Troposphäre nach oben propagieren) unwahrscheinlich. Wahrscheinlicher handelt es sich um Wellen, welche durch spontanen Imbalanzen der größerskaligen Strömung erzeugt werden. Die Scherungsregion mit abnehmenden Winden überhalb des Polarwirbels favorisieren dann die aufwärts Propagation der ostwärts propagieren Wellen.
Eine Publikation hierzu steht kurz vor der Einreichung (Garny & Reichert, in prep).

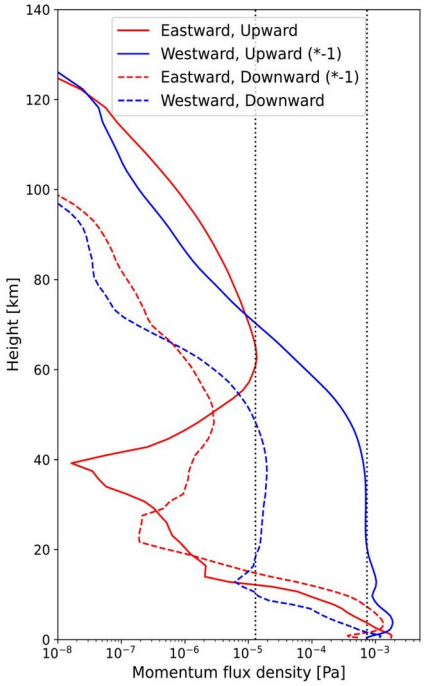


Fig. 2: Schwerewellenimpuls-flussdichten gemittelt über 40-70°S und über August-September aus einer UA-ICON Simulation (R2B7), separiert nach auf/abwärts (durchgezogen/ gestrichelt) und west/ostwärts propagierenden Wellen (blau/rot).

Neben den beschriebenen Arbeiten mit neu durchgeführten Simulationen wurde im Jahr 2026 Publikationen veröffentlicht, die entstanden sind unter Verwendung von Simulationen die in früheren Jahren durchgeführt wurden. Dies beinhaltet eine Publikation zur Vorhersagbarkeit von Tropsophären-Stratosphären Kopplung nach plötzlichen Straotsphärenerwärmungen (Loeffel et al, 2026) und eine Publikation zu einem Multi-model Vergleich von stratosphärischem Transport (Abalos et al, 2026):

Loeffel, S., Rupp, P., Kiefer, S., Pinto, J. G., Birner, T., and Garny, H.: Quantifying the tropospheric response to individual sudden stratospheric warmings revealed by an ensemble simulation strategy, Weather Clim. Dynam., 7, 895–913, https://doi.org/10.5194/wcd-7-895-2026, 2026.

Abalos, M., Birner, T., Chrysanthou, A., Davis, S., de la Cámara, A., Dhomse, S., Garny, H., Hegglin, M. I., Hubert, D., et al: Evaluation of stratospheric transport in three generations of Chemistry-Climate Models, Atmos. Chem. Phys., 26, 5249–5291, https://doi.org/10.5194/acp-26-5249-2026, 2026.