

INSTITUTSBERICHT INSTITUTE REPORT

20

21

INHALTSVERZEICHNIS

TABLE OF CONTENTS

HIGHLIGHTS	4	<u>ÖFFENTLICHKEIT</u>	<u>32</u>
HIGHLIGHTS		OUTREACH	
<u>OPTISCHE SONDIERUNGEN UND HÖHEN- FORSCHUNGSRAKETEN</u>	<u>8</u>	<u>BESONDERE VERÖFFENTLICHUNGEN</u>	<u>34</u>
OPTICAL SOUNDINGS AND SOUNDING ROCKETS		HIGHLIGHTED PUBLICATIONS	
Technische Entwicklung	9	<u>PREISE</u>	<u>35</u>
Technical development		AWARDS	
Beobachtungen von Schwerewellen	11	<u>BERATUNGSTÄTIGKEITEN</u>	<u>36</u>
Gravity wave observations		COMMUNITY SERVICES	
Hochaufgelöste Turbulenzmessungen	13	<u>TECHNOLOGIETRANSFER</u>	<u>37</u>
High resolution turbulence observations		TECHNOLOGY TRANSFER	
Leuchtende Nachtwolken: Indikatoren für Dynamik und Klimawandel	14	<u>ÖFFENTLICHKEITSARBEIT</u>	<u>38</u>
Noctilucent clouds: Tracers of dynamics and climate change		PUBLIC OUTREACH	
<u>RADARSONDIERUNGEN</u>	<u>16</u>	<u>LEIBNIZ NORDOST</u>	<u>39</u>
RADAR REMOTE SENSING		LEIBNIZ NORDOST	
SIMONe Radare in Südamerika	17	<u>WISSENSCHAFTLICHE TAGUNGEN</u>	<u>39</u>
SIMONe radars in South America		SCIENTIFIC MEETINGS	
Langzeit- MLT-Studien aus Radar-/ Funkbeobachtungen	19	<u>IAP IM ÜBERBLICK</u>	<u>40</u>
Long-term MLT studies from radar/radio observations		IAP AT A GLANCE	
Studien zu plötzlichen Erwärmungen der Stratosphäre	22	<u>ORGANIGRAMM</u>	<u>42</u>
Studies of sudden stratospheric warmings		ORGANISATIONAL CHART	
<u>MODELLIERUNG ATMOSPHERISCHER PROZESSE</u>	<u>24</u>	<u>STANDORTE UND INFRASTRUKTUR</u>	<u>43</u>
MODELLING OF ATMOSPHERIC PROCESSES		LOCATIONS AND INFRASTRUCTURE	
Modellentwicklungen	25	<u>ADMINISTRATION</u>	<u>44</u>
Model developments		ADMINISTRATION	
Theoretische Ansätze	27	<u>GREMIEN</u>	<u>46</u>
Theoretical approaches		BOARDS	
Himmelsleuchten und Chemie	29	<u>PERSONAL UND BUDGET</u>	<u>48</u>
Airglow and Chemistry		PERSONNEL AND BUDGET	
		<u>DRITTMITTELPROJEKTE</u>	<u>49</u>
		THIRD-PARTY FUNDING	
		<u>VERÖFFENTLICHUNGEN</u>	<u>50</u>
		PUBLICATIONS	
		<u>DOKTOR- UND MASTERARBEITEN</u>	<u>54</u>
		DOCTORATE AND MASTER THESES	
		<u>KOOPERATIONEN</u>	<u>56</u>
		COOPERATIONS	
		<u>ABKÜRZUNGEN</u>	<u>58</u>
		ABBREVIATIONS	
		<u>BILDNACHWEISE</u>	<u>59</u>
		CREDITS	
		<u>ANREISE</u>	<u>60</u>
		HOW TO GET TO IAP	
		<u>IMPRESSUM</u>	<u>61</u>
		IMPRESSUM	



Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Ergebnisse des und Ereignisse am IAP in den Jahren 2020 und 2021. Sie beschreiben die Entwicklungen, die aus den aktuellen Fragestellungen in der Physik der mittleren Atmosphäre resultieren. Dies war nur dank der Unterstützung unserer Förderer aus dem Land, dem Bund und weiteren Drittmittelgebern möglich. Ich danke im Besonderen dem unermüdlichen Einsatz und Enthusiasmus unserer rund 70 Mitarbeitenden und den zahlreichen Kooperationspartnern weltweit und bin sehr gespannt auf die weitere Zusammenarbeit.

The years 2020 and 2021 were characterized by major changes and challenges. They were years of ups and downs due to the restrictions caused by the Corona pandemic. The change of the directorate of our institute took place and we prepared intensively for the evaluation by the Leibniz Association in May 2022.

However, the constraints imposed by the pandemic also presented us with new tasks that we addressed and from which the IAP continues to benefit today. For example, much of the lidar and almost all of the radar systems can be operated automatically or controlled remotely. Installing new mobile radar systems in the field and participating in rocket campaigns could resume in the summer of 2021. In the years 2020 – 2021, the IAP reached a high publication output for the field, of which some articles were internationally honored as scientific highlights.

The first rocket campaign restarted on October 1, 2021, at the day I took office at the IAP and took over the directorship from Prof. Dr. Franz-Josef Lübken. He led the Institute for over 22 years with outstanding success and full commitment. It is an honor for me to take over the lead of an internationally renowned institute, the Leibniz Institute of Atmospheric Physics, and I am very much looking forward to working at and with the institute and all its staff. Future perspectives and strategies for maintaining the excellent research work at the IAP have been formulated in a new Strategic Science Plan, which is available through our website.

This report provides an overview of the results and events at the IAP in 2020 and 2021, describing the developments that resulted from actual scientific questions in middle atmosphere physics. This work was only possible thanks to the support of our state and federal governments and other third-party funders. In particular, I would like to thank the tireless dedication and enthusiasm of our about 70 employees and the numerous cooperation partners worldwide for these achievements, and I am very excited about our future collaboration.

Claudia Stolle
Direktorin

LIEBE LESERINNEN UND LESER, **LIEBE FREUNDINNEN** **UND FREUNDE DES IAP** **DEAR READERS,** **DEAR FRIENDS OF THE IAP**

Die Jahre 2020 und 2021 waren durch große Veränderungen und Herausforderungen geprägt. Es waren die Jahre des Auf und Ab durch die Umgangsbeschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie, es fand der Wechsel der Direktion unseres Instituts statt und wir haben uns intensiv auf die damals bevorstehende Evaluierung durch die Leibniz-Gemeinschaft im Mai 2022 vorbereitet.

Die Einschränkungen durch die Pandemie haben uns jedoch auch vor neue Aufgaben gestellt, die wir angegangen sind und von denen das IAP heute noch profitiert. So kann ein Großteil der Lidar- und fast alle Radarsysteme automatisiert betrieben oder von Ferne gesteuert werden. Das Installieren neuer mobiler Radarsysteme im Feld und die Teilnahme an Raketenkampagnen konnten ab Sommer 2021 wieder aufgenommen werden. Auch konnte das IAP in den Jahren 2020 – 2021 wieder mit einer für das Fachgebiet hohen Publikationsleistung glänzen, von der einige Artikel als wissenschaftliche Highlights international geehrt wurden.

Die erste wiederstattfindende Raketenkampagne fiel auf den 01. Oktober 2021 und somit auf den Tag meines Amtsantrittes am IAP und der Übernahme der Direktion von Prof. Franz-Josef Lübken. Er hat das Institut über 22 Jahre mit herausragendem Erfolg und vollem Einsatz geführt. Es ist mir eine Ehre, die Leitung eines international renommierten Instituts, des Leibniz-Instituts für Atmosphärenphysik, zu übernehmen und ich freue mich sehr auf die Arbeit am und mit dem Institut und allen seinen Mitarbeitenden. Neue Entwicklungsperspektiven und Strategien zur Aufrechterhaltung der exzellenten Forschungsarbeit am IAP wurden in einem neuen wissenschaftlichen Rahmenprogramm formuliert, welches über unsere Webseite verfügbar ist.

UNSERE MISSION **OUR MISSION**

Wir erweitern das Wissen über die Mesosphäre und untere Thermosphäre, indem wir Erkenntnisse in den Bereichen Atmosphärenphysik, Messtechnik, Interpretation der Beobachtungen und Modellierung schaffen und nutzen. Damit tragen wir zur Lösung neuer gesellschaftlicher Herausforderungen bei. Advancing scientific knowledge of the mesosphere and lower thermosphere by developing and exploiting expertise in atmospheric physics, instrumentation, analysis and modelling to serve emerging societal needs.

Das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e. V. an der Universität Rostock (IAP) erforscht die Physik der Mesosphäre und unteren Thermosphäre. Dazu entwickelt und betreibt es hochentwickelte Lidar- und Radartechnologie sowie Nutzlasten für Höhenforschungsraketen und atmosphärische Modelle. Neben dem Studium spezifischer Prozesse der Mesosphäre und unteren Thermosphäre verbindet sich unsere Forschung zudem mit Fragen zur Klimaveränderung und dem atmosphärischen Einfluss auf das Weltraumwetter. Das IAP ist durch nationale und internationale Kooperationen weltweit vernetzt.

Die Schwerpunkte der wissenschaftlichen und experimentellen Forschungsarbeit am IAP sind:

1. Erforschung der Mesosphäre und unteren Thermosphäre;
2. Kopplung der Mesosphäre und unteren Thermosphäre zu unteren und oberen Atmosphärenschichten;
3. Langzeitveränderungen in der Mesosphäre und unteren Thermosphäre und angrenzender Regionen.

Das IAP hat seinen Hauptsitz im Ostseebad Kühlungsborn, betreibt eine Außenstelle in Juliusruh und beteiligt sich maßgeblich am ALOMAR-Observatorium in Nordnorwegen. Als An-Institut der Universität Rostock ist das IAP fester Bestandteil des Lehrprogramms des Instituts für Physik. Mit ca. 70 Mitarbeitenden integriert das Institut eine gleichstellungs- und familienorientierte Personalpolitik. Das IAP engagiert sich darüber hinaus im interdisziplinären Verbund der Institute der Leibniz-Gemeinschaft, in der es seit 1992 Mitglied ist.

The Leibniz Institute of Atmospheric Physics at the University of Rostock (IAP) investigates the physics of the mesosphere and lower thermosphere. To this end, it operates sophisticated lidar and radar technology, payloads for sounding rockets and develops atmospheric models. In addition to studying specific processes of the mesosphere and lower thermosphere, our research also connects to questions of climate change and atmospheric influence on space weather. The IAP is globally networked through national and international collaborations.

The main areas of scientific and experimental research at the IAP are:

1. Exploration of the mesosphere and lower thermosphere;
2. Coupling of the mesosphere and lower thermosphere to lower and upper atmospheric layers;
3. Long-term changes in the mesosphere and lower thermosphere and adjacent regions.

The IAP is located near the Baltic Sea resort of Kühlungsborn, it operates a branch station at Juliusruh and participates significantly in the ALOMAR observatory in northern Norway. As an affiliated institute of the University of Rostock, the IAP is an integral part of the teaching program of the Institute of Physics. With about 70 employees, the institute integrates an equal opportunity and family-oriented personnel policy. The institute is also involved in the interdisciplinary network of institutes of the Leibniz Association, of which it has been a member since 1992.

HIGHLIGHTS

HIGHLIGHTS

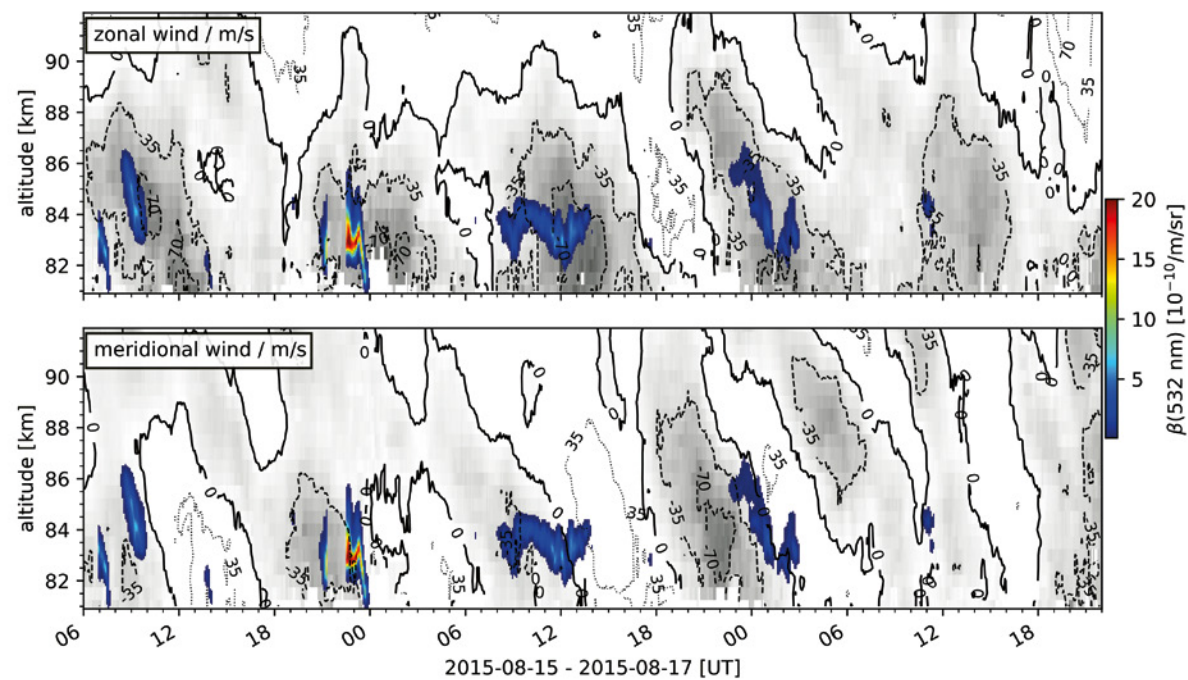
1



Leuchtende Nachtwolken befinden sich am Rande des Weltraums in einer Höhe von etwa 83 km. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen sie als Indikatoren für verschiedene atmosphärische Prozesse in diesem schwer zugänglichen und herausfordernden Höhenbereich. Zum Beispiel sind die Temperaturen hier im Sommer am niedrigsten, obwohl die solare Einstrahlung in dieser Zeit am größten ist. Der solare Eintrag wird aber durch Schwerewellen mehr als ausgeglichen. In leuchtenden Nachtwolken werden diese direkt sichtbar. Noctilucent clouds are found at the edge of space at altitudes of around 83 km. Scientists use them as indicators for various atmospheric processes in this hard-to-reach and challenging area. For example, temperatures are coldest during the summer, although the solar input is most extensive during this period. However, the solar input is more than offset by gravity waves. They become directly visible within noctilucent clouds.

Die Mesosphäre und untere Thermosphäre (englisch: mesosphere / lower thermosphere, MLT) bildet die Grenze zwischen terrestrischem Wetter und Weltraumwetter. Damit ist die Region der Schlüssel zum Verständnis der Verbindungen zwischen den jeweiligen Prozessen. Am IAP erforschen wir die MLT mit einer Vielzahl verschiedener Instrumente, Modellierungsverfahren und mathematischer Ansätze. Einige dieser Untersuchungen werden unabhängig innerhalb der Abteilungen des IAP durchgeführt, andere abteilungsübergreifend bearbeitet. Im Zeitraum 2020 – 2021 waren an den folgenden drei Themen alle drei Abteilungen beteiligt: (a) Leuchtende Nachtwolken (NLC), (b) mesoskalige Dynamik und (c) polare mesosphärische Winterechos.

The mesosphere and lower thermosphere (MLT) region acts as a bridge between terrestrial and space weather, and therefore key to understand their connections. At IAP we explore this region with a variety of experimental instruments, modelling implementations and mathematical approaches. Some of these efforts are performed independently within each of IAP's Departments, while others are a result of cross-departmental interactions. In the 2020 – 2021 period, the following three topics involved all three Departments: (a) Noctilucent clouds (NLC), (b) Mesoscale dynamics, and (c) Polar mesospheric winter echoes.



Gleichzeitige Messungen des Horizontalwinds (graue Schattierung) und der NLC-Helligkeit (farbig) über Andenes durch Meteorradar und ALOMAR-RMR-Lidar. Simultaneous sounding of horizontal winds (gray-scaled contours) and NLC brightness (colored) above Andenes by meteor radar and ALOMAR RMR lidar.

LEUCHTENDE NACHTWOLKEN NOCTILUCENT CLOUDS

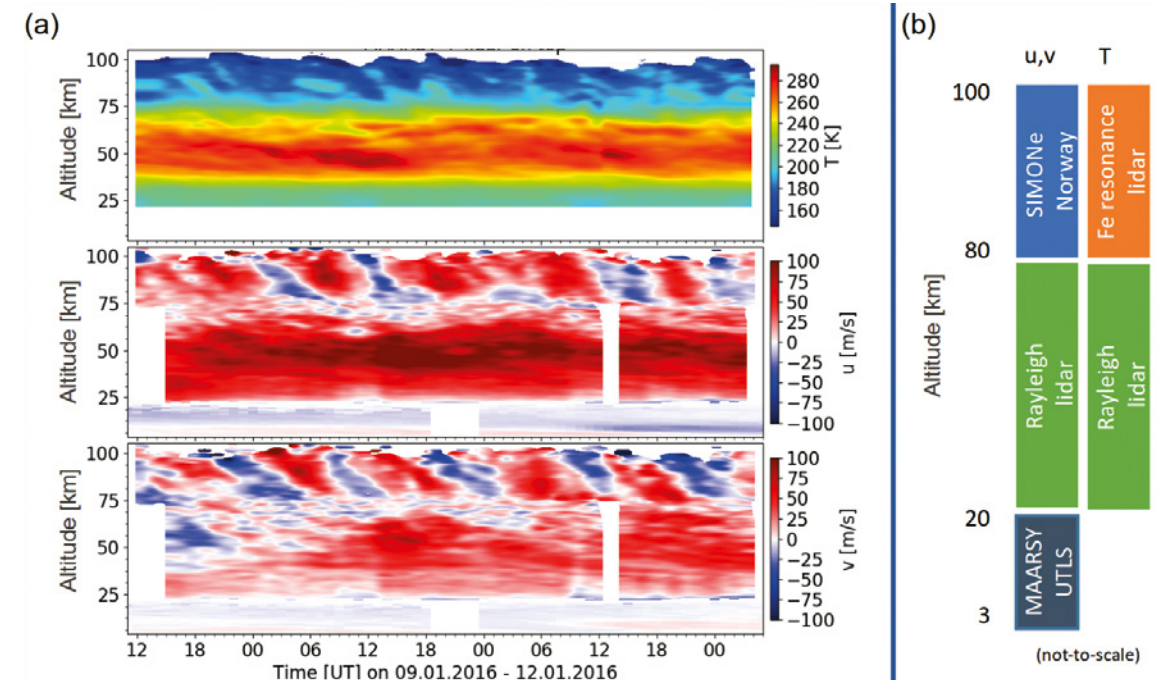
Die Physik hinter diesen Wolken wurde seit der Gründung des IAP untersucht. In dieser Zeit wurde durch die Kombination der einzigartigen Expertise am IAP ein bedeutendes Verständnis erzielt. Es wurden sowohl optische als auch Radarmessungen der Wolken verwendet, um die MLT-Dynamik mit horizontalen Skalen im Bereich von Metern bis Kilometern in Norddeutschland und Nordnorwegen zu untersuchen, was beispielsweise die Entdeckung von Regionen mit extremen vertikalen Winden ermöglichte. Ebenso wurden die Langzeitmessungen dieser Wolken durch Langzeitmodellsimulationen ergänzt, um ihre Verbindung zur Klimavariabilität zu untersuchen.

The physics behind these clouds have been studied since IAP was founded. During this time a significant understanding has been achieved by combining IAP's unique expertise. During this period, both optical and radar versions of the clouds have been used to study MLT dynamics with horizontal scales ranging from meters to kilometres in northern Germany and northern Norway, allowing, for example, the discovery of regions with extreme vertical drafts. Similarly, the long-term measurements of these clouds have been complemented with long-term model simulations to study their connection to climate variability.

MESOSKALIGE DYNAMIK MESOSCALE DYNAMICS

Diese Skalen werden von atmosphärischen Klima- und Wettermodellen derzeit nicht abgebildet und daher meist parametrisiert. Die derzeitigen und künftigen experimentellen Möglichkeiten am IAP, wie SIMONE und VAHCOLI, wurden speziell für die Beobachtung dieser Skalen in bisher unerreichten vier Dimensionen entwickelt. Diese Aktivitäten werden durch die theoretische und experimentelle Erforschung von geschichteter Turbulenz und Schwerewellen ergänzt, da ihr Beitrag zu diesen Skalen wichtig, aber noch nicht ausreichend erforscht ist.

These scales are currently not reproduced by atmospheric climate and weather models. Therefore, they are usually parametrised. Current and future experimental capabilities at IAP, like SIMONE and VAHCOLI, have been specially designed to observe such scales in unprecedented four dimensions. Such efforts have been accompanied during this period with theoretical and experimental exploration of stratified turbulence and gravity waves, since their contributions to these scales are relevant but poorly understood.

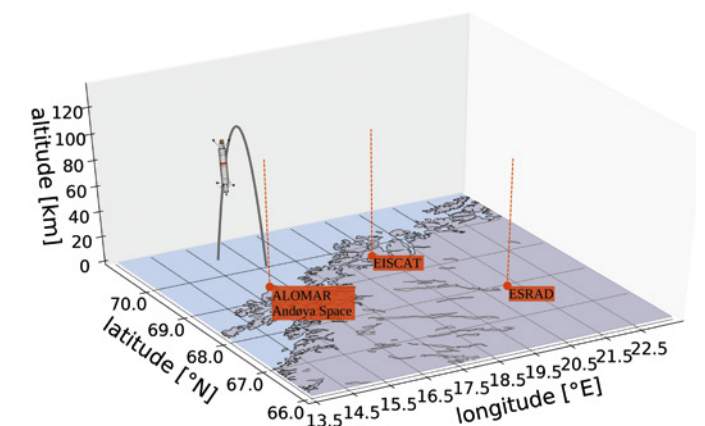


Kombinierte Wind- und Temperaturdaten von benachbarten IAP-Messsystemen in Nordnorwegen. Combined winds and temperatures from IAP co-located instrumentation in northern Norway.

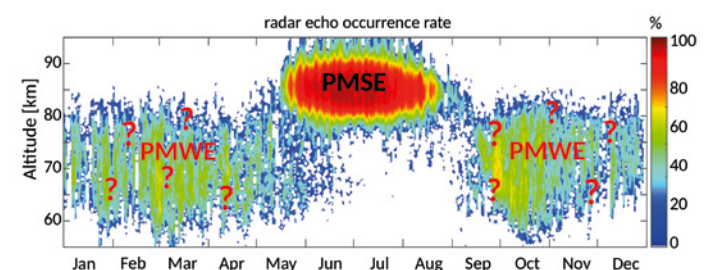
WINTERECHOS IN DER POLAREN MESOSPHERE POLAR MESOSPHERE WINTER ECHOES

Schwache, aber nachweisbare Radarechos treten in der unteren Mesosphäre (zwischen 60 und 80 km) hauptsächlich während der Wintermonate in polaren Breiten auf. Diese Echos wurden zuvor nur unzureichend untersucht, da sie mit herkömmlichen Radarsystemen nur selten erfasst werden konnten. Dank der verbesserten Radarkapazitäten des IAP in Nordnorwegen (MAARSY) werden diese Echos seither viel häufiger beobachtet. Während des Berichtszeitraums wurde eine Raketenkampagne durchgeführt, um diese Echos mit einzigartigen in-situ-Instrumenten des IAP sowie mit bodengebundenen Radar- und Lidargeräten zu untersuchen. Dabei kamen insgesamt mehr als 30 verschiedene Instrumente zum Einsatz. Unsere Beobachtungen und theoretischen Bemühungen zeigen, dass die Echos hauptsächlich von neutraler Turbulenz dominiert werden und den in niedrigen Breiten beobachteten mesosphärischen Echos ähneln.

Weak but detectable radar echoes occur in the lower mesosphere (between 60 and 80 km) mainly during winter months at polar latitudes. These echoes have not been intensively studied before, since their detections with traditional radar systems were not frequent. Thanks to IAP's improved radar capabilities in northern Norway (MAARSY), these echoes are now observed much more frequently. During the reporting period a rocket campaign was conducted to study these echoes with unique in-situ sensors as well as ground-based radars and lidars. More than 30 different instruments were used. Our observations and theoretical efforts indicate that the echoes are mainly dominated by neutral turbulence, resembling the mesospheric echoes observed at low latitudes.



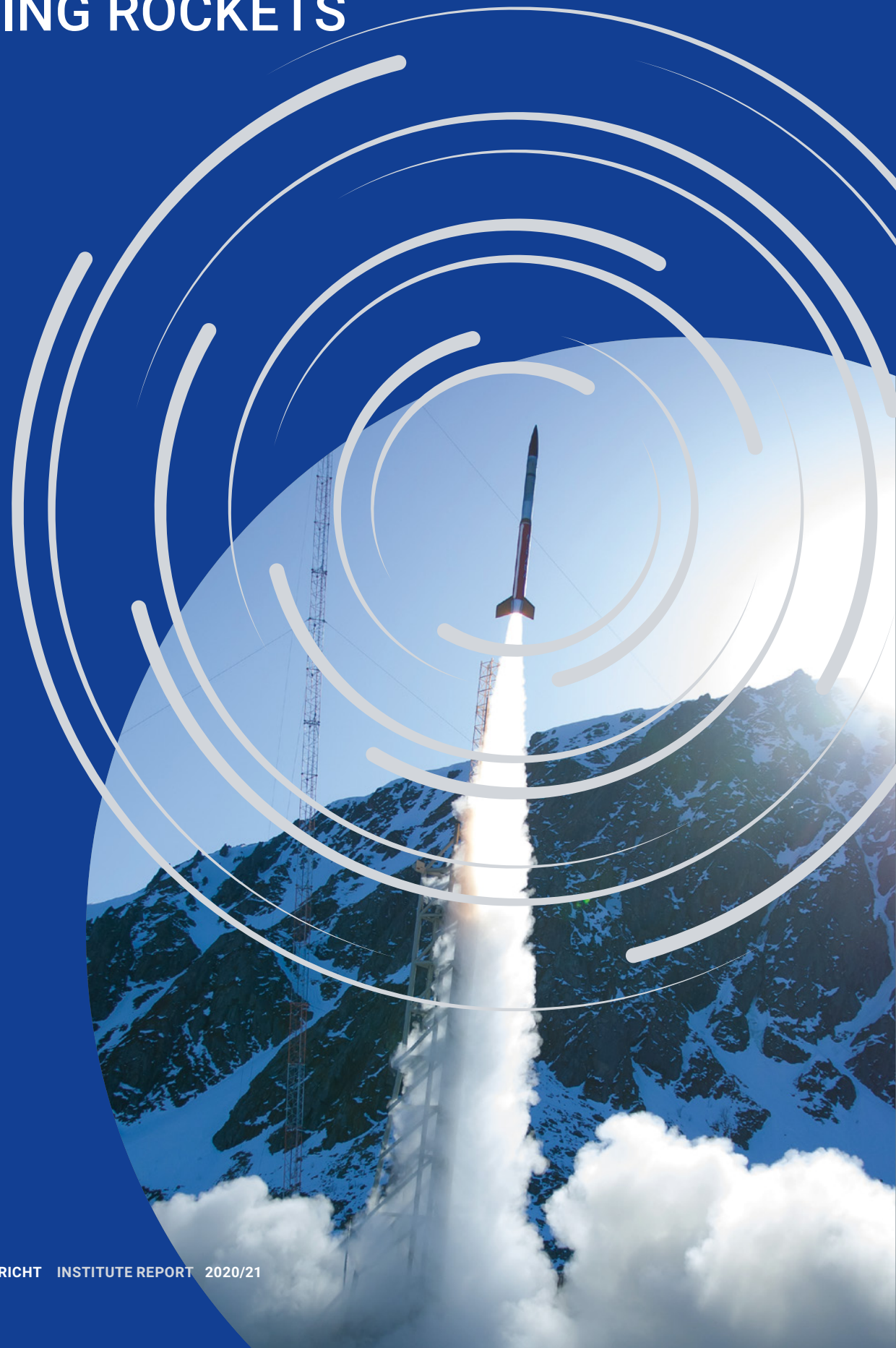
Trajektorie der Nutzlast während der PMWE-Kampagne in Nordnorwegen. Rocket trajectory during the PMWE campaign in northern Norway.



Mit MAARSY beobachtete Auftrittshäufigkeiten von polaren mesosphärischen Echos: Niedrige Echos treten hauptsächlich im Winter auf (PMWE), hohe Echos um 85 km Höhe im Sommer. Occurrence rate of polar mesospheric echoes observed with MAARSY. Lower echoes dominated during winter (i.e., PMWE), while upper echoes predominate during summer.

OPTISCHE SONDIERUNGEN UND HÖHENFORSCHUNGSRAKETEN

OPTICAL SOUNDINGS AND SOUNDING ROCKETS



In der Abteilung Optische Sondierungen und Höhenforschungsraketen setzen wir Lidar-Fernerkundung für die Untersuchung von Temperaturen, Wind, Dichten, Aerosolen, Wolken (z. B. leuchtende Nachtwolken) und anderen Spurenstoffen von der oberen Troposphäre bis zur unteren Thermosphäre ein. Diese Sondierungen werden durch In-situ-Messungen mit großer Höhenauflösung mit speziellen Instrumenten an Bord von Höhenforschungsraketen oder Ballons ergänzt. Die Abteilung hat einzigartige tageslichtfähige Lidars entwickelt, die ganzjährig während Tag und Nacht die Untersuchung der mittleren Atmosphäre in mittleren und hohen Breiten ermöglichen. Diese vollständige zeitliche Abdeckung ist unerlässlich für das Verständnis der besonderen dynamischen Eigenschaften der mittleren Atmosphäre. Die Fähigkeit des IAP, Zeit und Ressourcen für die Entwicklung neuer Messtechniken aufzuwenden, ermöglicht darüber hinaus einzigartige Ausbildungschancen für den Nachwuchs.

Lidar remote sensing is used to measure temperatures, winds, densities, aerosols, clouds (e.g., noctilucent clouds) and other trace constituents from the upper troposphere to the lower thermosphere. These measurements are complemented with in-situ measurements with high altitude resolution made with specialized rocket- and balloon-borne instruments. The department has developed unique daylight-capable lidars, allowing for the study of the middle atmosphere throughout the year (day and night) at middle and high latitudes. Covering the whole seasonal and diurnal cycle is essential for studying the middle atmosphere with its peculiar dynamical features. In addition, IAP's capacity to devote time and resources to developing new in-house technology creates unique training opportunities for PhD students and early-career scientists.

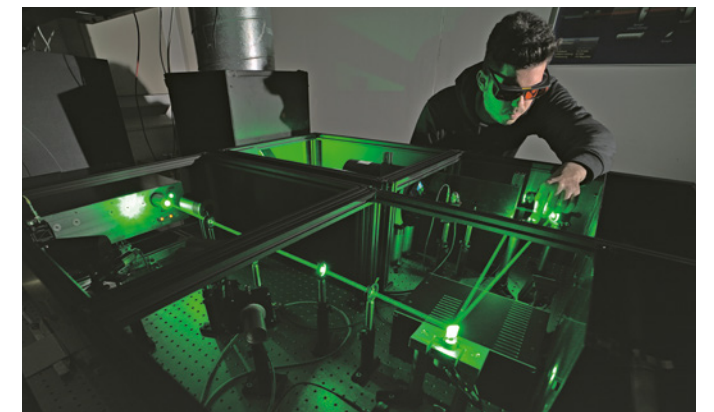
TECHNISCHE ENTWICKLUNG TECHNICAL DEVELOPMENT

Das IAP will die Grenzen des Verständnisses unserer welt-raumnahen Umwelt erweitern. Um dieses Ziel zu erreichen, werden neue Instrumente benötigt, um qualitativ hochwertige Messungen in diesen großen Höhen durchzuführen. Wir entwerfen, entwickeln und bauen neue Lidar- und Raketeninstrumente, die in der Lage sind, höher in der Thermosphäre zu messen.

IAP aims to push the boundaries of human understanding of our near-space environment. To accomplish this goal, new instrumentation is needed to achieve high-quality measurements in this remote region. We design, develop and build new lidar and rocket instruments capable of measuring further up into the thermosphere.

TEAM (31.12.2021)

Gerd Baumgarten, Ronald Eixmann, Jens Fiedler, Eframir Franco-Diaz, Jan Froh, Michael Gerding, Hans-Jürgen Heckl, Josef Höffner, Torsten Köpnick, Franz-Josef Lübken, Alsu Mauer, Thorben Mense, Reik Ostermann, Michael Priester, Philipp Seither, Tristan Staszak, Boris Strelnikov, Irina Strelnikova, Ashique Vellalassery, Robin Wing



Ein schnell drehender Spiegel lenkt den Laserstrahl des Kühlungsborner RMR-Lidars in zwei verschiedene Richtungen. A fast turning mirror reflects the laser beam of the Kühlungsborn RMR lidar in two different directions.

ALOMAR

Das ALOMAR-RMR-Lidar ist ein Langzeit-Forschungslidar in der Arktis, das auch der Entwicklung neuer Lidar-Techniken dient. In der Vergangenheit war ALOMAR maßgeblich an der Entwicklung eines tageslichtfähigen RMR-Lidars und der Anwendung der Doppler-Technik für Windmessungen beteiligt. In den letzten zwei Jahren wurden erhebliche Fortschritte bei der Automatisierung der Lidar-Messungen gemacht, die durch die personellen Einschränkungen während der COVID-19-Pandemie motiviert waren. Dadurch konnte ALOMAR während der Pandemie eine hohe Messdichte aufrechterhalten, was für langfristige Studien über Veränderungen der Atmosphäre entscheidend ist.

The ALOMAR RMR lidar is a long-term Arctic research lidar, which also serves as a test-bed for developing new lidar techniques. Historically, ALOMAR was instrumental in the development of daylight-capable RMR lidar and using the Doppler technique for wind measurements. In the last two years, significant effort has been put into automating the lidar measurements, motivated by personnel restrictions enforced due to the COVID-19 pandemic. This has permitted ALOMAR to maintain a high data cadence during the pandemic, which is crucial for long-term studies of atmospheric change.



Grüne und orangene Strahlen am Himmel: Das ALOMAR-RMR-Lidar misst mit Hilfe von geschwenkten Laserstrahlen Wind und Temperatur in Nordnorwegen. Green and orange beams in the sky: The ALOMAR RMR lidar measures winds and temperature in northern Norway with tilted laser beams.

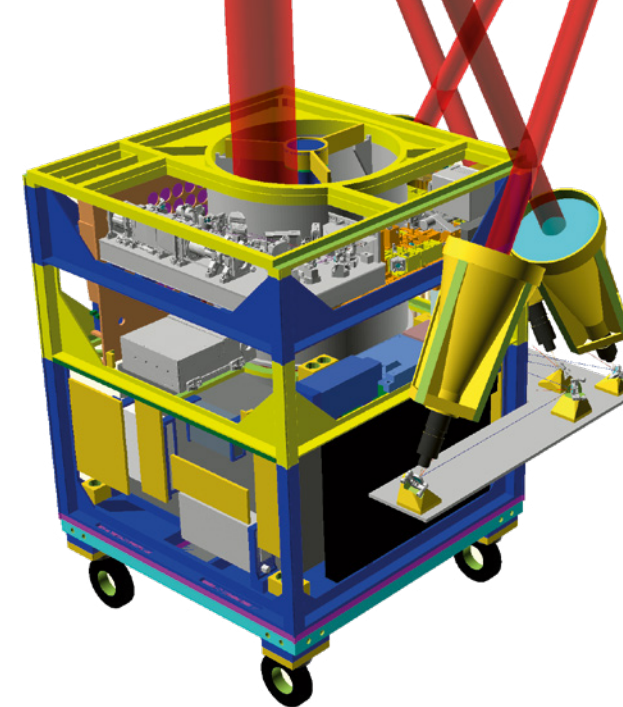


Grüne Strahlen am Himmel: Zwischen den gekippten Strahlen des neuen RMR-Lidars in Kühlungsborn ragt der senkrechte Strahl des alten Lidars in den Himmel. Green beams in the sky: In between the tilted beams of the new Kühlungsborn RMR lidar, the vertical beam of the old lidar rises to the sky.

KÜHLUNGSBORN

Das Kühlungsborner Doppler-Rayleigh-Lidar wurde kürzlich um zwei gekippte Strahlen erweitert, um horizontale Winde in der mittleren Atmosphäre zu messen. Dies stellt eine bedeutende Erweiterung der Messkapazität des IAP dar und ist erst das vierte Instrument dieser Art weltweit. Durch die Ergänzung dieser beiden Strahlen können wir neue Fragen zur mittleren Atmosphäre angehen, was ohne unsere eigenen technischen Entwicklungen nicht möglich wäre.

The Kühlungsborn Doppler-Rayleigh lidar has recently added two off-zenith beams to measure horizontal winds in the middle atmosphere. This is a significant upgrade to the measurement capacity of IAP and has produced the fourth of such instruments globally. The addition of these two new beams will allow us to tackle new questions about the middle atmosphere, which would not be possible without our in-house technical development.



Die technische Zeichnung demonstriert das kompakte Design der VAHCOLI-Lidars mit fünf Messrichtungen. The technical drawing demonstrates the compact design of the VAHCOLI lidars with five fields of view.

VAHCOLI

Dieses neue Lidar-Konzept umfasst den Aufbau eines Netzes kleiner, aber individuell leistungsfähiger Lidare, die sowohl die horizontalen als auch die vertikalen Eigenschaften der Atmosphäre erfassen. Hierfür wurde am IAP ein „Mehrfach-Sichtfeld“-Ansatz entwickelt und aufgebaut: Der Laser wird quasi gleichzeitig in fünf verschiedene Richtungen gerichtet. This new concept in lidar design is focused on building a network of small, yet individually capable lidars to assess both the horizontal and vertical characteristics of the atmosphere. A “multiple field-of-view” approach has been designed and built at IAP: the laser points in five different directions, quasi-simultaneously.

LITOS

Wir haben die Windauflösung kommerzieller Radiosonden durch einfache technische Änderungen um mehr als eine Größenordnung verbessert. Dies ergänzt die noch höher aufgelösten LITOS-Turbulenzsondierungen (Leibniz Institute Turbulence Observations in the Stratosphere). We have improved the wind resolution of commercial radiosondes by more than an order of magnitude by simple technical modifications. This complemented the even higher resolved LITOS (Leibniz Institute Turbulence Observations in the Stratosphere) turbulence soundings.

HÖHENFORSCHUNGSRAKETEN

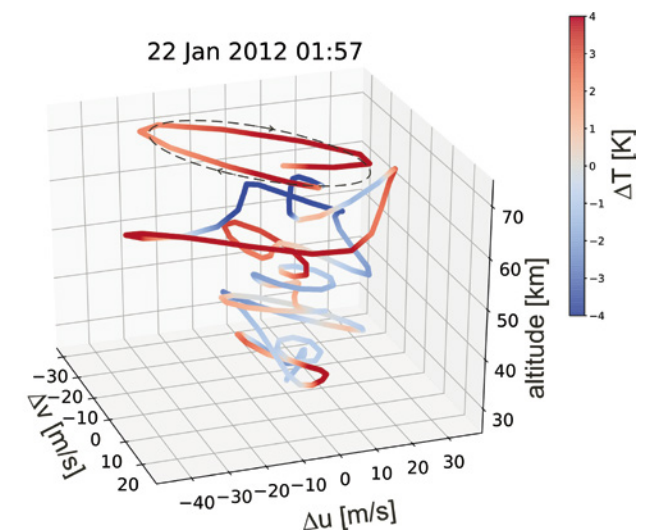
Ein Ionisationsmanometer der neuen Generation, CONE4, wurde als Teil des raketengestützten Turb3D-Systems entwickelt. Es wurde erfolgreich in einem ballistischen Raketenflug getestet. Die ersten Messungen lieferten wertvolle Hinweise für weitere Verbesserungen und das Instrument ist nun für hochaufgelöste Dichtemessungen von Neutronen und Elektronen im Höhenbereich von 60 – 110 km anerkannt.

A new generation ionisation gauge, CONE4, has been developed as part of the rocket-borne Turb3D system. It has been successfully tested in a ballistic rocket flight. The first measurements provided valuable input for further improvements and the instrument is now approved for high-resolution density measurements of neutrals and electrons in the height range of 60 – 110 km.

BEOBACHTUNGEN VON SCHWEREWELLEN

Schwerewellen sind periodische Schwingungen von Temperatur, Luftdichte, Druck und Wind. Schwerewellen werden in erster Linie in der unteren Atmosphäre angeregt (z. B. durch Strömung über ein Gebirge) und breiten sich horizontal und vertikal aus.

Schwerewellen sind ein wichtiger Antrieb der atmosphärischen Zirkulation. Sie transportieren Energie und Impuls vom Ort ihrer Entstehung nach oben in die mittlere Atmosphäre, wo sie brechen. Unsere Kenntnisse der Schwerewellenparameter werden durch hochauflösende Fernerkundung ständig verbessert. Jüngste Entwicklungen in der Lidar-Technologie geben uns neue Möglichkeiten, Wind- und Temperaturschwankungen auf räumlichen Skalen von 150 m und zeitlichen Skalen von



Hodograph einer Schwerewelle. Hodograph of a gravity wave.

5 min zu messen. Wir haben ein „Schwerewellenmikroskop“ entwickelt, indem wir mit geeigneter Datenanalyse mehrere wichtige Parameter von Schwerewellen aus einzigartigen Lidarmessungen von Temperaturen und Winden extrahieren.

Temperaturmessungen der Mesosphäre mehrerer Jahre wurden analysiert, um jahreszeitliche Schwankungen der Wellenaktivität über Kühlungsborn und ALOMAR zu erforschen. Darüber hinaus wurde die räumliche Variabilität der Schwerewellenaktivität durch die Kombination unserer Lidar-Daten mit Satellitenbeobachtungen untersucht.

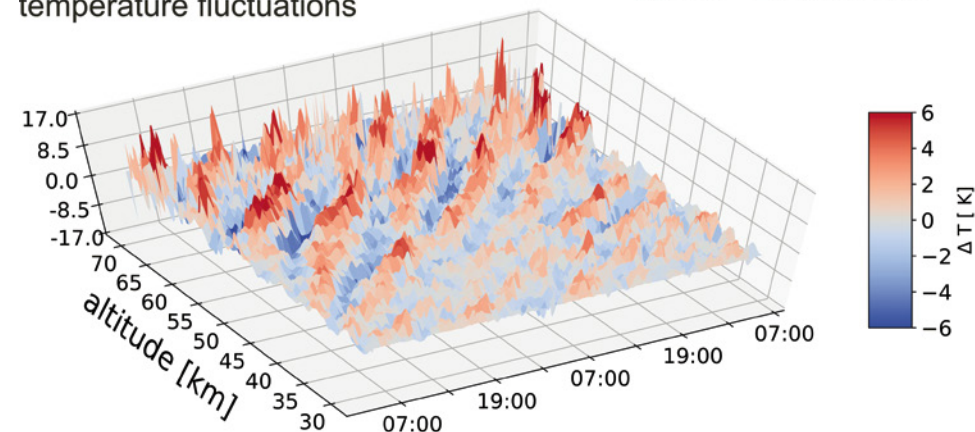
Gravity waves are periodic oscillations of temperature, air density, pressure and wind. Gravity waves are primarily excited in the lower atmosphere (e.g., by flow over mountains), and they propagate horizontally and vertically.

Gravity waves are an important driver of atmospheric circulation. They transport energy and momentum from the location of their generation upward to the middle atmosphere, where they break. Our knowledge of gravity wave parameters is continuously improved by means of high-resolution remote sensing. Recent developments in lidar technology give us new possibilities to measure wind and temperature fluctuations on spatial scales

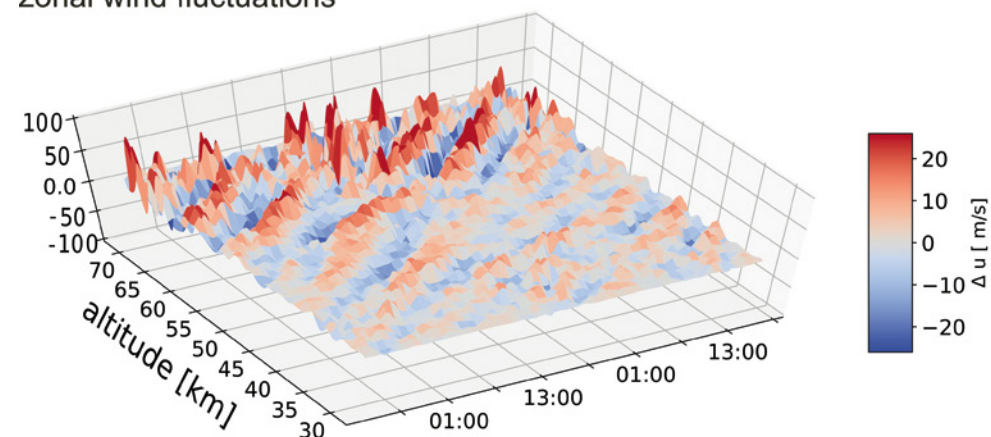
of 150 m and temporal scales of 5 min. We have developed a “gravity wave microscope” by applying a special data analysis technique to extract several important parameters of gravity waves from unique lidar measurements of temperatures and winds.

Several years of temperature measurements of the mesosphere have been analysed to study seasonal variations in the wave activity above Kühlungsborn and ALOMAR. Furthermore, the spatial variability of gravity wave activity is investigated by combining our lidar data with satellite observations.

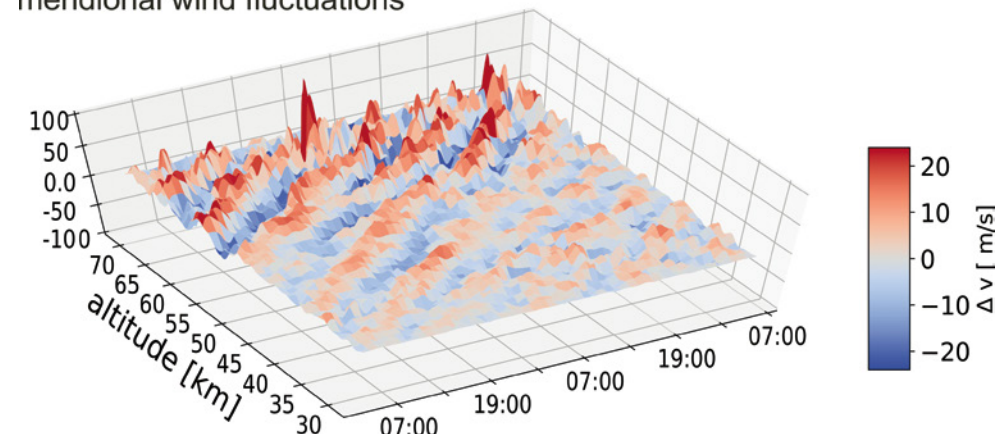
temperature fluctuations 21 Jan - 23 Jan 2012



zonal wind fluctuations



meridional wind fluctuations



3D-Darstellung von Schwerewellenmessungen. 3D representation of gravity wave observations.

HOCHAUFGELOSTE TURBULENZMESSUNGEN HIGH RESOLUTION TURBULENCE OBSERVATIONS

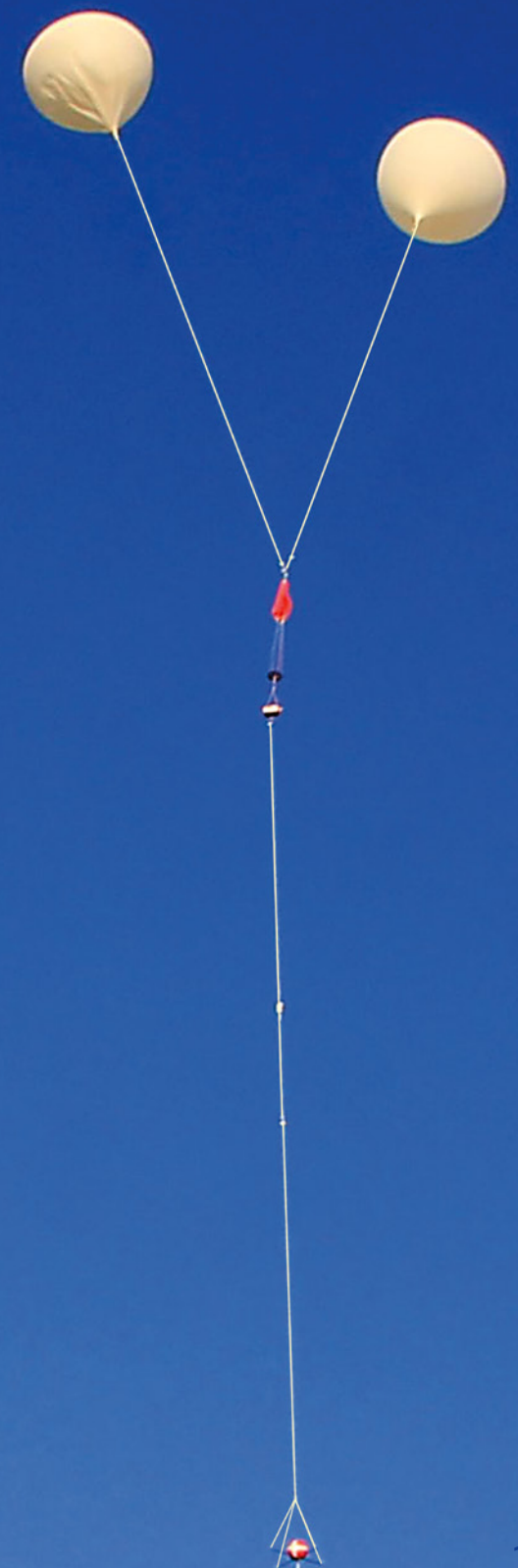
Turbulenz ist ein entscheidender Mechanismus für den Energiehaushalt und die Durchmischung in der Atmosphäre. Sie ist eng mit sich brechenden atmosphärischen Wellen verbunden. Ein Maß für die Turbulenzstärke ist die Energiedissipationsrate, die die Rate der in Wärme umgewandelten kinetischen Energie beschreibt. In-situ-Messungen mit Ballons und Höhenforschungsraketen sind einzigartige Methoden für den direkten Zugang zur mittleren Atmosphäre auf den relevanten Skalen von einigen Millimetern bis Metern. Zur Turbulenzmessung werden die Schwankungen der Windgeschwindigkeit und der Luftdichte spektral ausgewertet.

In den letzten Jahren wurden viele erfolgreiche Ballonsondierungen durchgeführt. Eine Nutzlast wurde direkt in eine tiefe Tropopausenfalte in etwa 6 – 13 km Höhe gestartet, eine perfekte Gelegenheit, um detaillierte Einblicke in dieses Phänomen zu erhalten. Das LITOS-Instrument hat die ersten gleichzeitigen Turbulenzmessungen im oberen und unteren Teil einer Tropopausenfalte aufgezeichnet. Mit Hilfe eines Wettervorhersagemodells (ECMWF) fanden wir heraus, dass dieses Ereignis durch das Brechen planetarer Wellen verursacht wurde.

Für Turbulenzmessungen in der Mesosphäre werden Höhenforschungsraketen eingesetzt. Gemeinsam mit Industriepartnern wurden Instrumente und Methoden entwickelt, um unsere Fähigkeiten zur Messung von Turbulenzen auf verschiedene Spurenstoffe im Rahmen des PMWE-Projekts auszuweiten. So war es möglich, die Wechselwirkung verschiedener Spezies in turbulenten Regimen zu verstehen und atmosphärische Parameter abzuschätzen, die nicht explizit gemessen wurden, z. B. die Größe von Meteorstaubpartikeln. Es wurde nicht nur nachgewiesen, dass Turbulenzen in der polaren Wintermesosphäre Radarechos erzeugen, sondern auch, dass winzige (etwa 1 nm große) Meteorstaubpartikel an diesem Prozess beteiligt sind.

Turbulence is a crucial mechanism for the energy budget and mixing in the atmosphere. It is strongly connected to breaking atmospheric waves. Turbulence is quantified by the energy

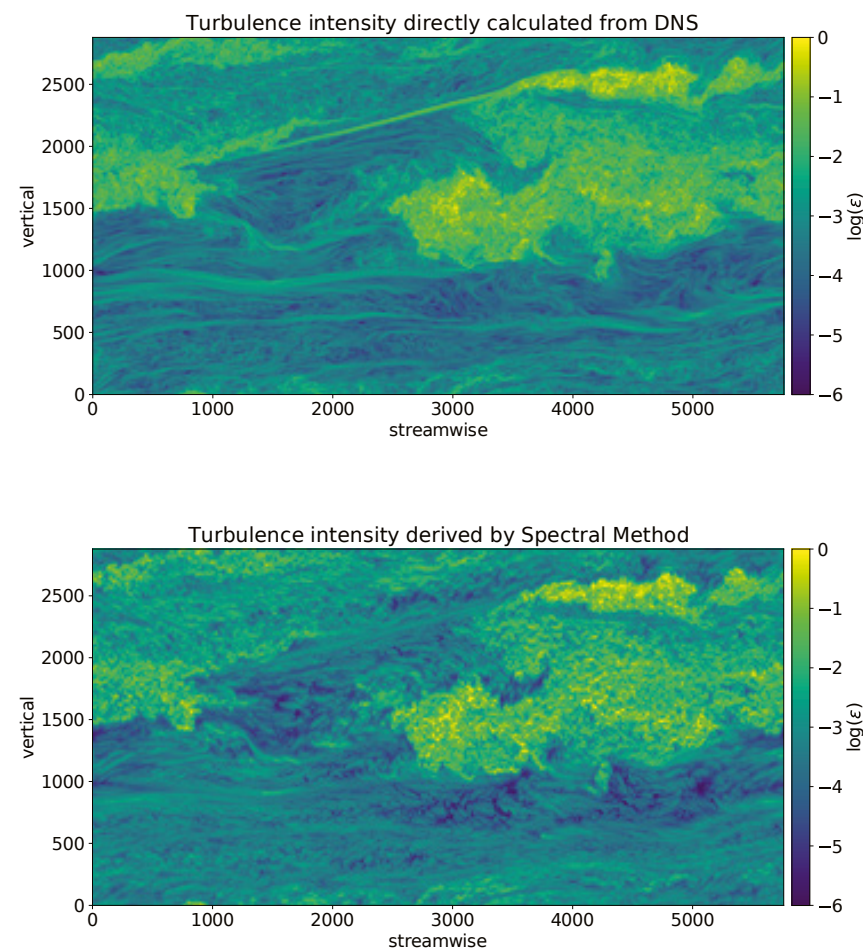
Start einer überarbeiteten LITOS-Nutzlast für Turbulenzmessungen in der Tropo- und unteren Stratosphäre. Das LITOS-Instrument befindet sich am unteren Ende der Nutzlast, um beim Abstieg störungsfreie Messungen außerhalb der Ballon-Wirbelschleppung durchzuführen. Launch of a new conceptualized LITOS flight train for wake-free turbulence measurements. The LITOS instrument is mounted at the bottom end of the payload, measuring when the balloon descends.



dissipation rate, which describes the rate of kinetic energy transformed into heat. In-situ measurements by balloons and sounding rockets are a unique tool for directly accessing the middle atmosphere on the relevant scales of a few millimetres to metres. Turbulence analysis utilises fluctuations in winds and air densities together with spectral data evaluation.

In recent years, many successful balloon soundings have been performed. One of them was launched directly into a deep tropopause fold at around 6 – 13 km altitude, a perfect opportunity to get detailed insights into that phenomenon. The Leibniz Institute Turbulence Observations in the Stratosphere (LITOS) experiment recorded the first simultaneous turbulence measurements in the upper and lower parts of a tropopause fold. Using a weather forecast model (ECMWF) we found that this event was driven by planetary wave breaking.

Vergleich turbulenter Strukturen: Das obere Bild zeigt Werte, die direkt aus den Ergebnissen der dreidimensionalen direkten numerischen Simulation (DNS) berechnet wurden. Das untere Bild zeigt die gleiche Größe, wie sie durch unsere spektrale In-situ-Messung abgeleitet werden würde. Comparison of turbulent structures: The top panel shows values directly calculated from three-dimensional direct numerical simulation (DNS) results. The bottom panel shows the same quantity as it would be derived by our spectral in-situ measurement.



LEUCHTENDE NACHTWOLKEN: INDIKATOREN FÜR DYNAMIK UND KLIMAWANDEL

NOCTILUCENT CLOUDS: TRACERS OF DYNAMICS AND CLIMATE CHANGE

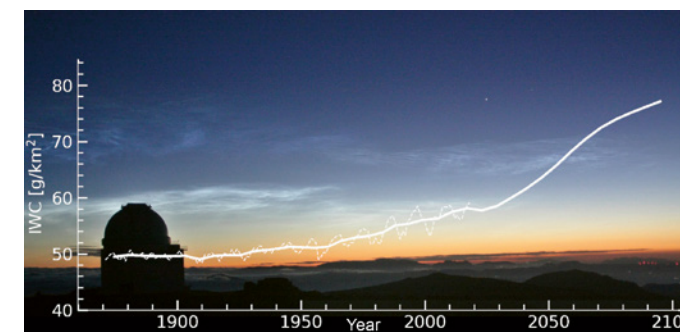
Dünne Wolken am Rande zum Weltraum werden nun mit unseren Lidaren auf zeitlichen und räumlichen Skalen erkannt, die um Größenordnungen kleiner sind als bisher beobachtet.

Sounding rockets were used for turbulence studies in the mesosphere. Instruments and methods were developed together with industrial partners and at IAP to extend our turbulence measurement capabilities to various constituents within the PMWE project. Thus, it was possible to understand the interaction of different species in turbulent regimes and to estimate atmospheric parameters which were not measured explicitly, i.e., the size of meteor smoke particles. It was not only proven that turbulence generates radar echoes in the polar winter mesosphere, but additionally, that tiny (about 1 nm sized) meteor smoke particles are involved in this process.

Änderungen in den Wolken können nun mit bis zu 1 Sekunde Auflösung nachgewiesen werden. Wir entdecken häufig Wellen mit Perioden von weniger als 10 Minuten und einer Schichtdicke von weniger als 100 m. Die quasi-permanente Beobachtung kleinskaliger Strukturen ermöglicht einen tieferen Einblick in das Brechen und die Auflösung von Schwerewellen. In Bezug auf den Klimawandel ist die Rolle der leuchtenden Nachtwolken (NLC) bei der Erkennung von Veränderungen am Übergang zum Weltraum in der Literatur umstritten. Wir haben ein Modell für langfristige Veränderungen der mittleren Atmosphäre entwickelt und mikrophysikalische Prozesse eingeschlossen,

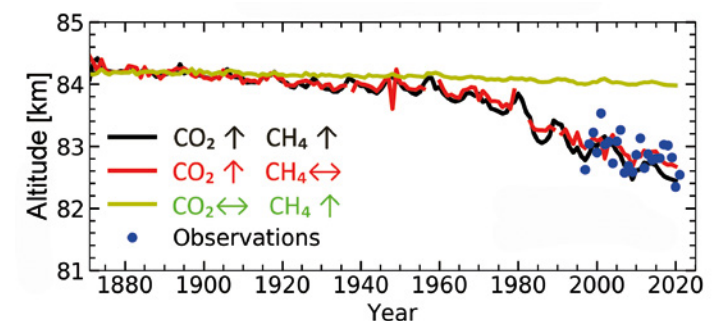
die für diese Wolken relevant sind. Es zeigt sich, dass die Zunahme von Methan (das in der Atmosphäre zu Wasser oxidiert wird) zu einer signifikanten Erhöhung der Helligkeit und des Auftretens von NLC führt. Gleichzeitig bewirkt der Anstieg des Kohlendioxids eine allgemeine Abkühlung in der Mesosphäre. Unsere Modellergebnisse stimmen mit Langzeitbeobachtungen der Wolken überein und zeigen z. B. eine Abnahme der Wolkenhöhe aufgrund der mesosphärischen Abkühlung.

Faint clouds at the edge of space are now detected by lidar at temporal and spatial scales orders of magnitude smaller than previously possible. Detection of temporal variations in the clouds down to 1 second has been achieved. We frequently detect waves with periods shorter than 10 minutes and a layer thickness of less than 100 m. Quasi permanently observing fine-scale structures contributes to a deeper insight into gravity wave breaking and dissipation. Regarding climate change,



Aufgrund des Anstiegs von Methan berechnen Modelle eine Zunahme der Eismasse in leuchtenden Nachtwolken (IWC). Das wiederholte Auftreten leuchtender Nachtwolken über Spanien könnte durch diesen Anstieg begründet sein und hat zu einem verstärkten Interesse an Extremereignissen in der Mesopausenregion geführt. Due to the increase in methane, models calculate an increase in ice mass in noctilucent clouds (IWC). The repeated occurrence of noctilucent clouds over Spain could be due to this increase and has led to a raising interest in extreme events in the mesopause region.

the role of noctilucent clouds in detecting changes at the edge of space is being debated in the literature. We have developed a model on centennial time scales of the middle atmosphere and applied microphysical processes relevant to these clouds. It has been found that the increase of methane (oxidized to water in the atmosphere) leads to a significant enhancement of noctilucent cloud brightness and occurrence. Concurrently, the rise in carbon dioxide causes a general cooling in the mesosphere. Our model results are consistent with long-term observations of the clouds and show, e.g., a decrease in the cloud altitude due to the mesospheric cooling.



Modellsimulationen über mehr als 100 Jahre zeigen, dass die abnehmenden Höhen leuchtender Nachtwolken das Schrumpfen der Atmosphäre widerspiegeln und damit einen wichtigen Indikator für die Abkühlung der mittleren Atmosphäre durch die Zunahme von Kohlendioxid bilden. Centennial scale model simulations show that decreasing noctilucent cloud altitudes resemble the atmospheric shrinking and provide a useful tracer for cooling in the middle atmosphere due to the increase of carbon dioxide.

AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Gerding, M., Baumgarten, G., Zecha, M., Lübken, F.-J., Baumgarten, K., and Latteck, R.: On the unusually bright and frequent noctilucent clouds in summer 2019 above Northern Germany, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 217, 105577, doi: 10.1016/j.jastp.2021.105577, 2021.

Lübken F.-J., Baumgarten G., and Berger U.: Long term trends of mesospheric ice layers: A model study, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 214, 105378, doi: 10.1016/j.jastp.2020.105378, 2021.

Lübken, F.-J. and Höffner, J.: VAHCOLI, a new concept for lidars: technical setup, science applications, and first measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 14, 3815–3836, doi: 10.5194/amt-14-3815-2021, 2021.

Söder, J., Züllicke, C., Gerding, M., and Lübken, F.-J.: High-resolution observations of turbulence distributions across tropopause folds, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2020JD033857, doi: 10.1029/2020JD033857J, 2021.

Strelnikov, B., Staszak, T., Latteck, R., Renkwitz, T., Strelnikova, I., Lübken, F.-J., Baumgarten, G., Fiedler, J., Chau, J. L., Stude, J., Rapp, M., Friedrich, M., Gumbel, J., Hedin, J., Belova, E., Hörschgen-Eggers, M., Giono, G., Hörner, I., Löhle, S., Eberhart, M., and Fasoulas, S.: Sounding rocket project “PMWE” for investigation of polar mesosphere winter echoes, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 218, 105596, doi: 10.1016/j.jastp.2021.105596, 2021.

Strelnikova, I., Almowafy, M., Baumgarten, G., Baumgarten, K., Ern, M., Gerding, M., and Lübken, F.-J.: Seasonal cycle of gravity wave potential energy density from lidar and satellite observations at 54° and 69°N, *J. Atmos. Sci.*, 78, 1359–1386, doi: 10.1175/JAS-D-20-0247.1, 2021.

Schäfer, B., Baumgarten, G., and Fiedler, J.: Smallscale structures in noctilucent clouds observed by lidar, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 208, 105384, doi: 10.1016/j.jastp.2020.105384, 2020.

RADARSONDIERUNGEN

RADAR REMOTE SENSING

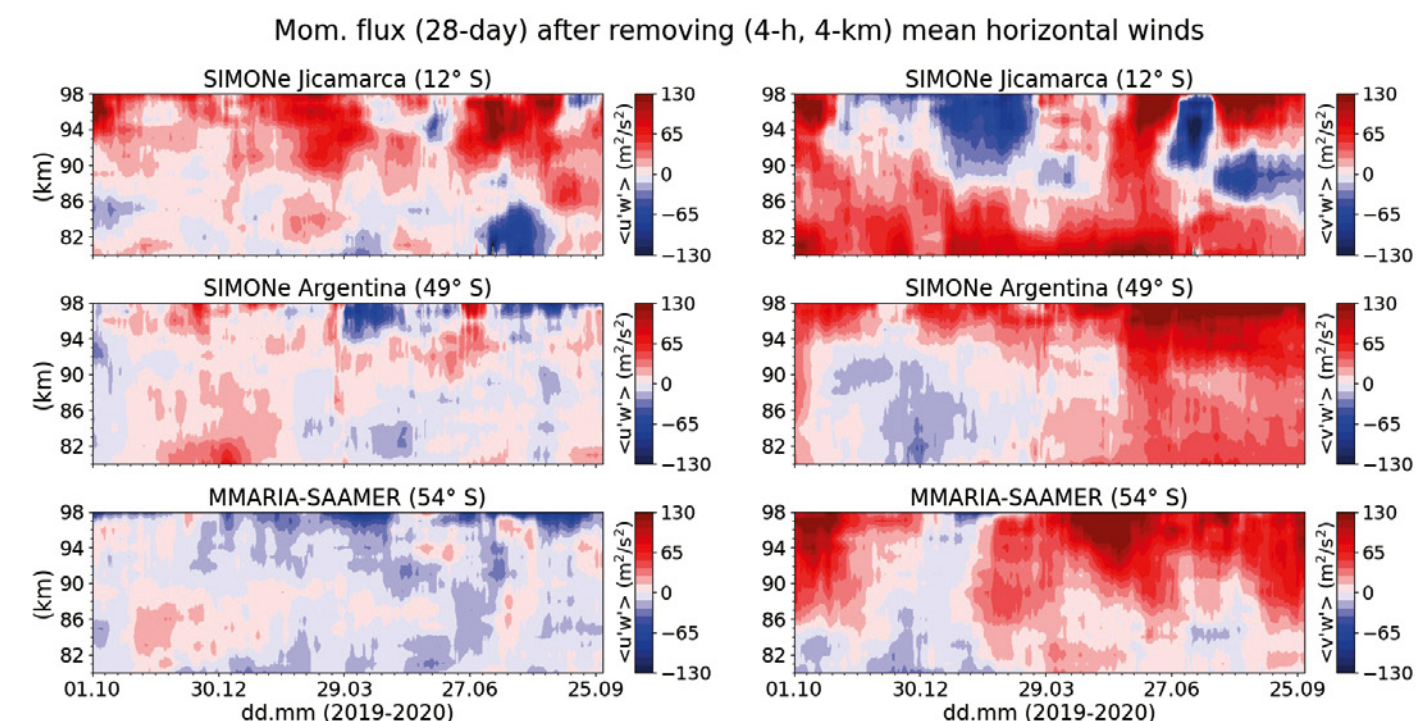


Wir tragen zu den Themen des IAP bei, indem wir modernste bodengestützte aktive und passive Radartechnologien einsetzen, die unter allen Wetterbedingungen funktionieren. Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung der MLT-Dynamik auf verschiedenen Skalen und ihrer Kopplung mit anderen atmosphärischen Regionen, indem wir zeitliche und räumliche Mehrdeutigkeiten der atmosphärischen und ionosphärischen Parameter auflösen.

We contribute to IAP's topics by employing state-of-the-art ground-based radar and radio techniques that work under all weather conditions. Our focus is on studies of MLT dynamics at different scales and their coupling to other atmospheric regions, by resolving temporal and spatial ambiguities of atmospheric and ionospheric parameters.

TEAM (31.12.2021)

Thomas Barth, Matthias Clahsen, Harikrishnan Charuvil Asokan, Jorge Chau, Federico Conte, Priyanka Ghosh, Jennifer Hartisch, Maosheng He, Juliana Jaen, Liliana Macotela, Sivakandan Mani, Jens Mielich, Ralph Latteck, Toralf Renkowitz, Nico Pfeffer, Facundo Poblet, Kesava Ramachandran, Tarique Siddiqui, Jens Wedrich, Marius Zecha



SIMONE RADARE IN SÜDAMERIKA

SIMONE RADARS IN SOUTH AMERICA

Zur Untersuchung der noch immer unverstandenen mesoskaligen MLT-Dynamik hat das IAP multistatische Radarkonzepte wie MMARIA und kürzlich SIMONE entwickelt und diese umgesetzt. Dank SIMONE, einer Eigenentwicklung in Zusammenarbeit mit dem Massachusetts Institute of Technology und der Universität Tromsø, hat das IAP seine wissenschaftliche Forschung auf Südamerika, insbesondere auf Argentinien und Peru, ausgedehnt. Die MLT über dieser Region, insbesondere über den Gebirgszügen der Anden, ist eine der dynamischsten Regionen der Welt.

Diese Dynamik entwickelt sich hauptsächlich auf Mesoskalen. Das derzeitige Wissen zur MLT-Dynamik über Südargentinien, wo sich der stärkste Hotspot stratosphärischer Schwerewellen befindet, ist vor allem aufgrund der wenigen derzeit verfügbaren bodengestützten Beobachtungen sehr begrenzt. Auch die elektrodynamische Kopplung der mesoskaligen MLT-Dynamik in den oberen Höhen nahe dem geografischen und magnetischen Äquator sind kaum bekannt. Zur Untersuchung dieser Prozesse wurden drei SIMONE-Systeme in Südamerika installiert: in der Umgebung von El Calafate (Argentinien), Lima (Peru) und Piura (Peru); in allen drei Fällen in enger Zusammenarbeit mit lokalen Universitäten und Forschungsinstituten.

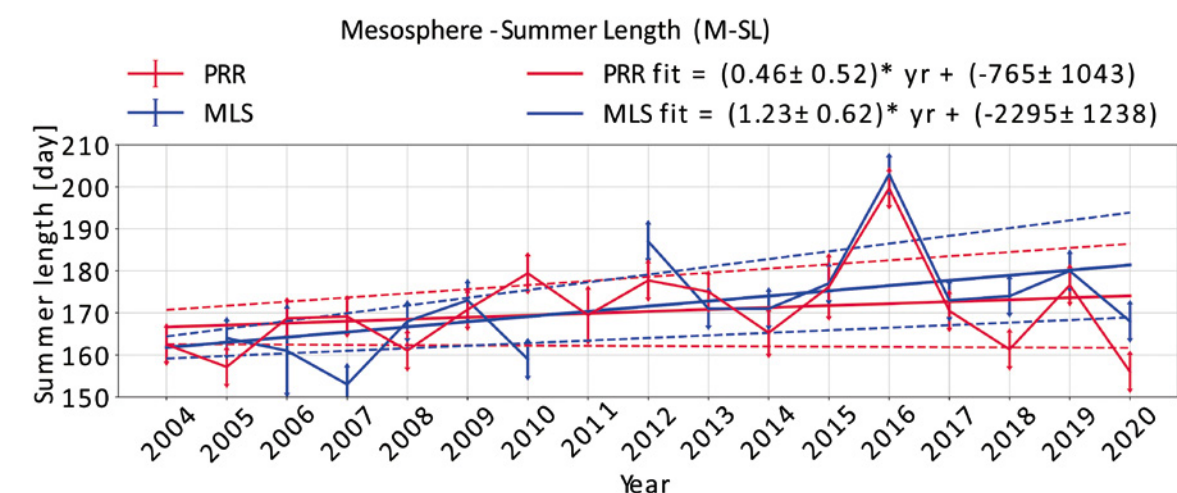
Erste Studien mit den Daten unserer SIMONe-Systeme in Südamerika zeigen bereits, dass die mesoskalige Dynamik entlang der Andenkordillere unerwartet vielfältig ist. Zum Beispiel hängen die mittleren vertikalen Impulsflüsse stark von den Amplituden der sie antreibenden Wellen ab. Das heißt, dass Wellen mit großer Amplitude an Orten, die Tausende von Kilometern voneinander entfernt sind, einen ähnlichen Beitrag leisten, während der Einfluss von Wellen mit kleiner Amplitude innerhalb von Entfernungen von nur wenigen hundert Kilometern stark variiert. Studien wie diese bringen neue Fragen auf, z. B.: Warum beeinflussen verschiedene Wellenamplituden die mesoskalige Dynamik über Südamerika so unterschiedlich? Des Weiteren sind diese neuen Beobachtungsergebnisse für Modellentwickler von großem Nutzen, da sie zur Verbesserung der Schwerewellen-Parametrisierung und damit auch der Modellvorhersagen atmosphärischer Phänomene beitragen können.

To study the enigmatic MLT mesoscale dynamics, IAP has developed and implemented multistatic radar concepts like MMARIA and more recently SIMONe. Thanks to SIMONe, an in-house development in collaboration with Massachusetts Institute of Technology and the University of Tromsø, IAP has extended its scientific research to South America, specifically to Argentina and Peru. The MLT above this region, and in particular above the Andes cordillera, is one of the most dynamically active regions of the world. These dynamics develop mostly at mesoscales. The current knowledge of the MLT dynamics

above southern Argentina, where the strongest hotspot of stratospheric gravity waves exists, is very limited mostly due to the scarce amounts of ground-based observations currently available. Similarly, the mesoscale MLT dynamics and their electrodynamic coupling to upper altitudes close to the geographic and magnetic equators are poorly understood. To study these processes, three SIMONe systems have been installed in South America, around El Calafate (Argentina), Lima (Peru) and Piura (Peru); in all three cases, in close collaboration with local universities and research institutes.

First studies carried out using data from our SIMONe systems in South America already indicate that the mesoscale dynamics along the Andes cordillera are more intriguing than expected. For example, mean vertical momentum fluxes strongly depend on the amplitude of the waves driving them. That is, large amplitude waves contribute similarly at locations separated thousands of kilometres, while the influence of small amplitude waves varies significantly within distances of only a few hundred kilometres. On one hand, studies like this pose new questions to the scientific community, such as: why do distinct wave amplitudes affect the mesoscale dynamics over South America so differently? On the other hand, these new observational results are of great benefit for model developers, since they can help to improve gravity wave parameterization schemes and thus modelled predictions of atmospheric phenomena.

Beispiele für SIMONe-Installationen in Südamerika. Examples of SIMONe installations in South America. Piura (Peru, 5°S), Jicamarca (Peru, 12°S), El Calafate (Argentina, 49°S).



Länge des Sommers in der Mesosphäre und unteren Thermosphäre (MLT) in Nordskandinavien basierend auf Messungen des dortigen Zonalwindes. Total summer length in the mesosphere and lower thermosphere (MLT) in northern Scandinavia based on zonal wind measurements.

LANGZEIT- MLT-STUDIEN AUS RADAR-/FUNKBEOBACHTUNGEN LONG-TERM MLT STUDIES FROM RADAR/RADIO OBSERVATIONS

Das IAP verfügt über zwei der längsten Zeitreihen atmosphärischer bzw. ionosphärischer Parameter in Europa. Konkret handelt es sich dabei einerseits um Ionogramme der Iono-sonde in Juliusruh seit 1957 und andererseits um Indikatoren für die Variabilität der D-Region basierend auf Langwellen-Funkverbindungen ebenfalls seit den 1950er Jahren. Im Wissen um die Bedeutung solcher Messungen für die Identifizierung möglicher Anzeichen von Klimaveränderungen in der oberen

Atmosphäre und vor allem des möglichen Einflusses anthropogener Faktoren, legt das IAP besonderen Wert auf die Stabilität und Kontinuität solcher Radar- bzw. Funkmessungen in Norddeutschland und Nordnorwegen.

Während des Berichtszeitraums wurden Langzeitstudien der polaren mesosphärischen Echos auf Grundlage von Beobachtungen der letzten über 20 Jahre mit unseren Anlagen in Nordnorwegen durchgeführt. Zum ersten Mal wurden die Echos nicht nach ihrem jahreszeitlichen Auftreten, sondern nach den ihnen zugrundeliegenden physikalischen Prozessen klassifiziert und untersucht. Diese sind hauptsächlich turbulenz- oder staubdominiert. Dabei hängen letztere mit dem Auftreten leuchtender Nachtwolken zusammen. Die jüngste Studie, die

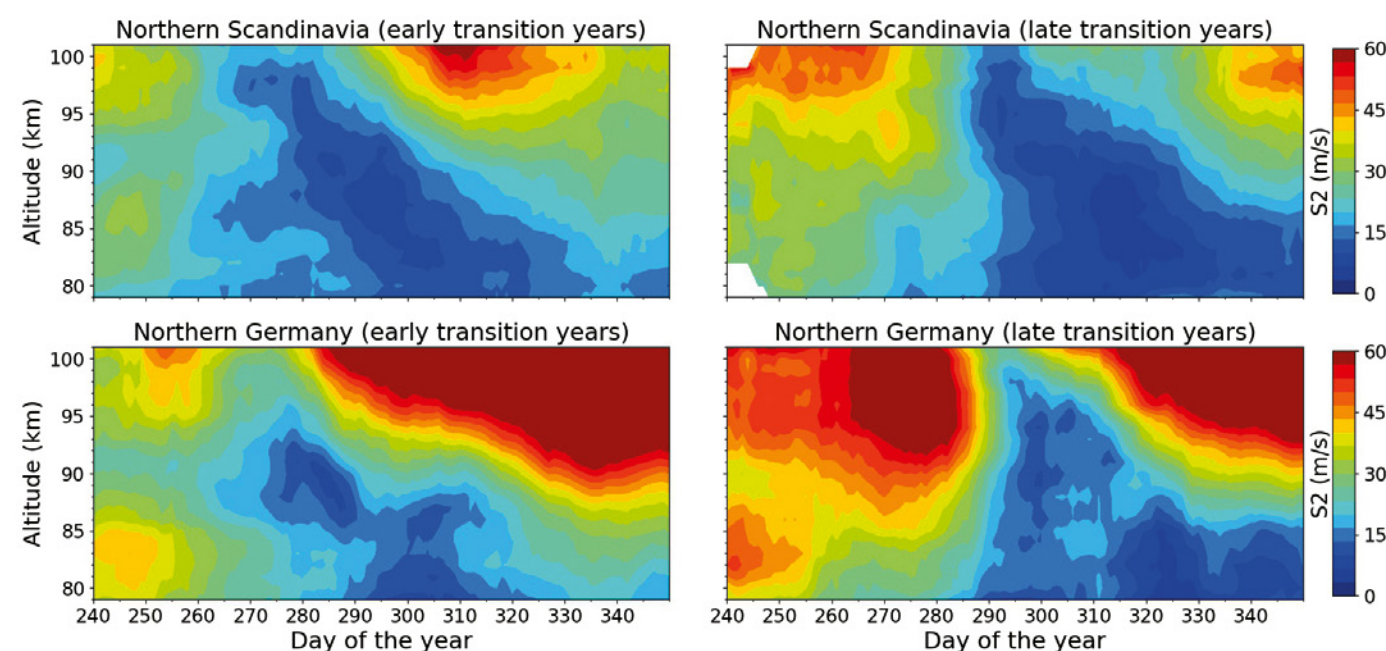
auf 27 Jahren Beobachtungen polarer mesosphärischer Sommerechos beruht, zeigt, dass die ersten Echos jedes Jahr etwas früher auftreten, während das Ende ihres Auftretens nahezu konstant ist. Die höchste Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Echos liegt in den Monaten Juni und Juli und hat in den letzten 27 Jahren um 0,32 % pro Jahr zugenommen. Dieses Verhalten lässt sich durch negative mesosphärische Temperaturtrends erklären, die in den polaren Breitengraden beobachtet werden.

Nahezu zwei Sonnenzyklen (~22 Jahre) an MLT-Winden (Mesosphäre und untere Thermosphäre), die mit MF- (zwischen 70 und 85 km) und Meteor-Radaren (zwischen 85 und 100 km) gemessen wurden, wurden verwendet, um den Zeitpunkt der zonalen Windumkehr in diesen Höhen zu untersuchen. Die Studie wurde durch Satellitenmessungen (MLS Daten) ergänzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Herbstumkehr fast unverändert in der gleichen Woche jedes Jahres stattfindet, während die Frühjahrs-umkehr einen negativen Trend von etwa 0,5 Tagen pro Jahr aufweist, d. h. sie tritt jedes Jahr früher auf. Hieraus ist es derzeit jedoch noch nicht so einfach, einen Zusammenhang zwischen diesen beobachteten, langfristigen Verhaltensweisen und dem Klimawandel herzustellen.

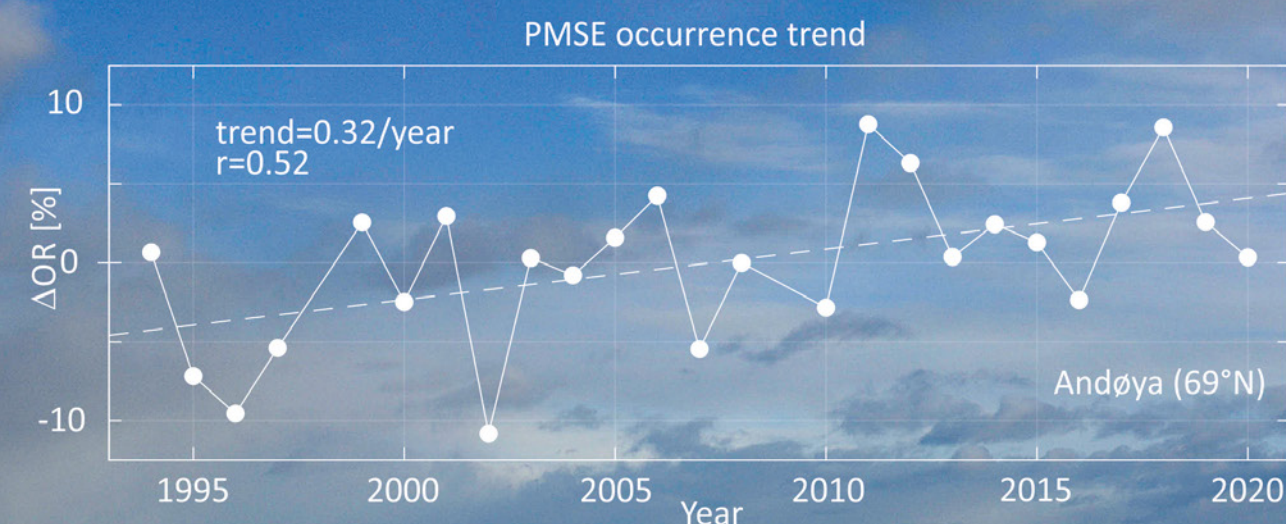
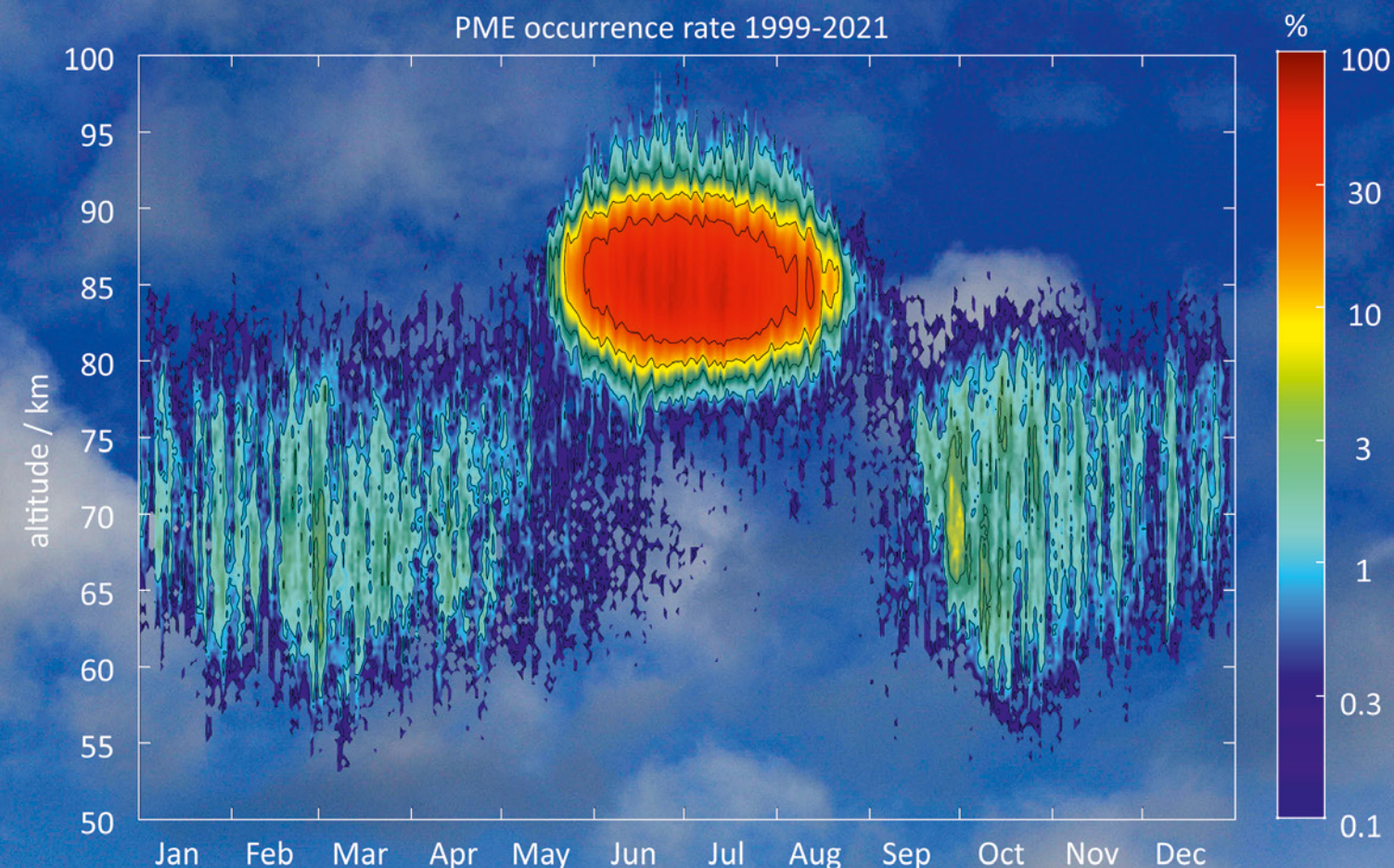
IAP keeps two of the longest times series of atmospheric and ionospheric parameters in Europe. Specifically, these are ionograms from Juliusruh since 1957 and proxies of D region variability from low frequency radio links also since the mid-1950s. Knowing the importance of such measurements to identify possible signatures of climate change in the upper

atmosphere and more importantly the possible influence of anthropogenic factors, IAP puts special emphasis on keeping the continuity of radio and radar measurements in northern Germany and northern Norway. During the reported period, long-term studies of polar mesospheric echoes have been conducted based on two decades of observations with our facilities in northern Norway. For the first time, the echoes have been classified and studied separately not based on their seasonal occurrence, but based on the physical processes behind them. They are mainly turbulence- or dust-dominated. The latter are related to noctilucent clouds. The most recent study based on 27 years of dust-dominated observations shows that the first echoes are observed earlier every year, whereas the end of their occurrence is almost constant. The highest probability of occurrence of these echoes is during June and July and it has increased over the past 27 years by 0.32 % per year. This behaviour can be explained by negative mesospheric temperature trends observed at polar latitudes.

Close to two solar cycles of MLT winds measured with partial reflections radars (between 70 and 85 km) and specular meteor radars (between 85 and 100 km) have been used to study the timing of the zonal wind reversal at these altitudes. The study has been complemented with satellite measurements (MLS data). The results indicate that the autumn reversal takes place almost unchanged in the same week of every year, while the spring change shows a negative trend of about 0.5 day per year, i.e., it occurs earlier every year. Currently, it is still not straightforward to find a connection between these observed long-term behaviours and climate change.

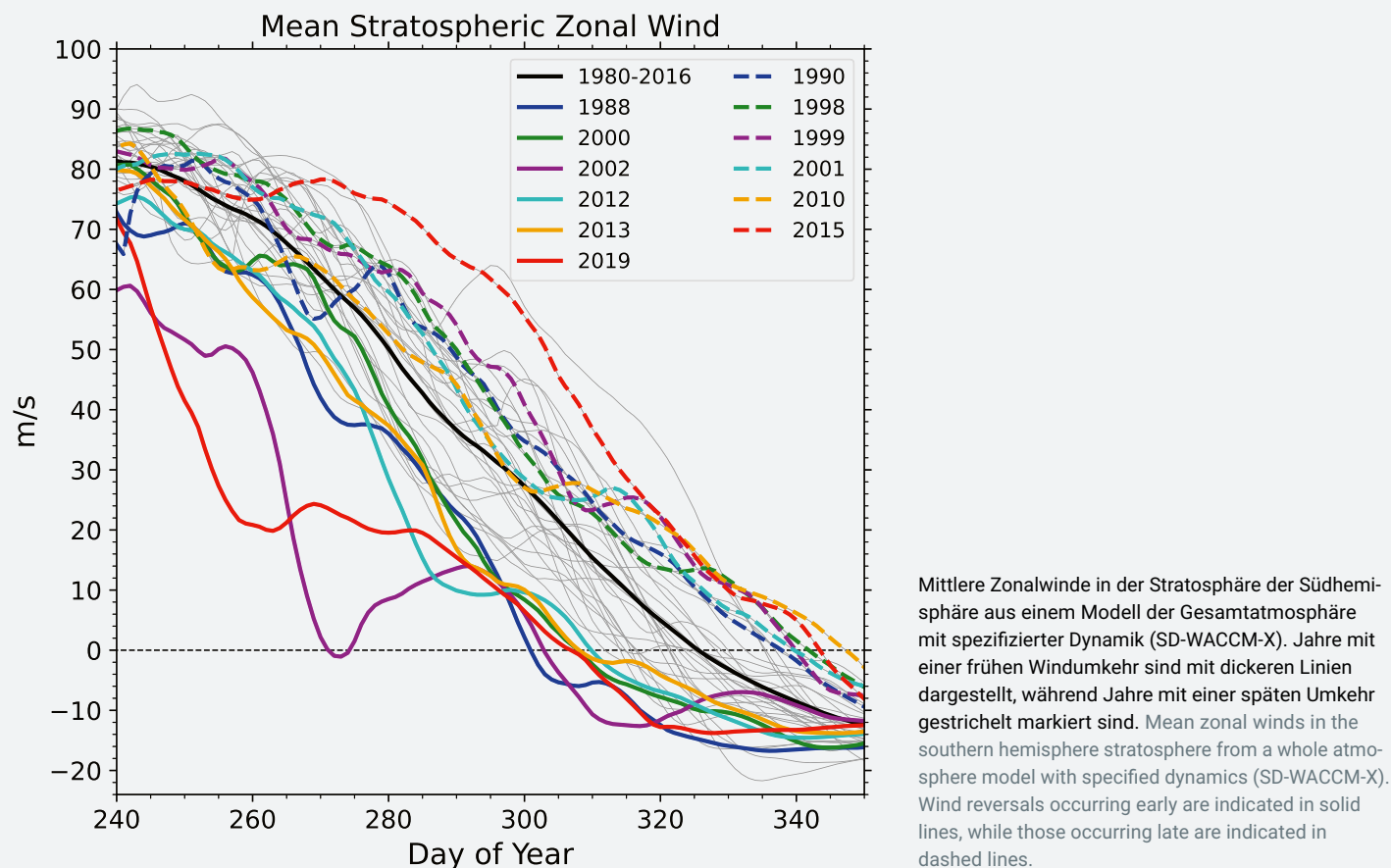


Das Verhalten der halbtäglichen Gezeit in der MLT über Norddeutschland (unten) und Nordskandinavien (oben) für Jahre mit früher (links) und später (rechts) Zonalwindumkehr in der Stratosphäre der Südhemisphäre. Behaviour of MLT semidiurnal wind amplitudes over northern Germany (bottom) and northern Scandinavia (top) for years when the reversal of the mean zonal wind in the southern hemisphere stratosphere is early (left) and late (right).



Auftrittshäufigkeit von polaren mesosphärischen Sommerechos nach Beobachtungen mit MAARSY (Foto) für 1994 bis 2020. Occurrence rate of polar mesospheric summer echoes as observed with IAP's MAARSY (photo) for 1994 to 2020.





STUDIEN ZU PLÖTZLICHEN ERWÄRMUNGEN DER STRATOSPHERE

STUDIES OF SUDDEN STRATOSPHERIC WARMINGS

Plötzliche Erwärmungen der Stratosphäre (engl.: sudden stratospheric warmings – SSW) treten auf der Nordhalbkugel der Erde recht häufig auf und sind allgemein bekannt. Diese Ereignisse wurden von der wissenschaftlichen Gemeinschaft aufgrund ihrer Auswirkungen auf das terrestrische Wetter auf der Nordhalbkugel sowie ihrer kürzlich festgestellten globalen Auswirkungen auf das Weltraumwetter bereits eingehend untersucht. Auf der Südhalbkugel der Erde hingegen treten SSWs seltener auf, was zum großen Teil auf geografische Unterschiede zurückzuführen ist.

Im September 2019 ereignete sich jedoch eine starke und ungewöhnliche SSW auf der Südhalbkugel. Im Gegensatz zu einem im Jahr 2002 registrierten Ereignis konnte diese SSW weltweit mit einer Vielzahl von boden- und satellitengestützten Instrumenten gut beobachtet und durch allgemeine Zirkulationsmodelle ergänzt werden. Obwohl die Messeinrichtungen

des IAP in 2019 noch nicht vollständig auf der Südhalbkugel installiert waren, konnte sich das IAP an der Zusammenarbeit der internationalen Kolleginnen und Kollegen beteiligen und die Auswirkungen dieses Ereignisses auf die Dynamik in der MLT-Region der Nordhalbkugel untersuchen.

Unter Einbeziehung unserer früheren Studien über die Abschwächung der halbtäglichen Gezeiten in der Herbstsaison auf der Nordhalbkugel wurde im Vergleich zur allgemeinen Klimatologie ein klarer Unterschied im Zeitablauf der Abschwächung während des SSW-Ereignisses 2019 auf der Südhalbkugel festgestellt. Dieses Ergebnis motivierte die Analyse langjähriger Simulationen mit dem Atmosphärenmodell WACCM-X, um die globale Dynamik derartiger Ereignisse zu untersuchen. Es wurde festgestellt, dass der Zeitpunkt der Abschwächung mit dem Umkehrzeitpunkt des mittleren stratosphärischen zonalen Windes auf der Südhalbkugel zusammenhängt.

Weiterhin wurden für dieses Ereignis atmosphärische Wellen mit Perioden von einigen Tagen und einigen Stunden untersucht, indem die Radarmessungen des IAP mit denen von Einrichtungen in Alaska, Kanada, China und Deutschland kombiniert wurden. Diese Verbindung ermöglichte es unter Einbeziehung

einer hochauflösenden Spektralanalyse, die Verstärkung von Wellen mit Perioden von zehn Tagen und die Abschwächung der halbtäglichen Gezeiten zu beobachten. Gleichzeitig werden Wellen mit Perioden von fast 12 Stunden (aufgrund nichtlinearer Wechselwirkungen mit den vorherigen Wellen) verändert.

Diese Ergebnisse sind ein Beleg für die globalen Auswirkungen von SSWs sowie nichtlineare Wechselwirkungen und haben große Bedeutung für das Verständnis von MLT-Wellen.

It is well known that sudden stratospheric warmings (SSW) occur often in the northern hemisphere. These events have been extensively studied by the scientific community given their impacts on terrestrial weather in the northern hemisphere and their recently identified global impacts on space weather. On the other hand, SSWs are not frequent in the southern hemisphere, in part due to the geographical differences.

In September 2019, a major and unusual SSW occurred in the southern hemisphere. Contrary to the previously recorded event of 2002, this event has been well observed globally with a variety of ground- and satellite-based instruments, and complemented with general circulation modelling. Despite IAP's facilities were not yet fully installed in the southern hemisphere, in 2019 IAP scientists in cooperation with international colleagues have been able to investigate effects of this event in the northern hemisphere MLT dynamics.

Our previous studies of the MLT semidiurnal tide weakening around the fall in the northern hemisphere were utilized to clearly identify a difference in the timing of the weakening during the SSW 2019 event in the southern hemisphere when compared to climatology. This finding motivated the exploration of many years of simulations of the whole atmosphere model called WACCM-X to investigate the global dynamics of such events. It was found that the tide weakening is related to the

reversal timing in the stratospheric mean zonal wind in the southern hemisphere.

During the same event, the waves with periods of a few days and a few hours were studied combining IAP's radars with radars from collaborators in Alaska, Canada, Germany and China. This combination of radars and high resolution spectral analysis allowed to observe the enhancement of waves with periods of ten days and the weakening of the semidiurnal tide. At the same time, waves with periods close to 12 hours (due to non-linear interactions of the previous waves) were modified.

These results are one evidence of the global impact of SSWs and the importance of non-linear interactions in understanding MLT planetary-scale wave dynamics.

AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN

SELECTED PUBLICATIONS

Chau, J. L., Urco, J. M., Vierinen, J., Harding, B. J., Clahsen, M., Pfeffer, N., Kuyeng, K. M., Milla, M. A., and Erickson, P. J.: Multistatic specular meteor radar network in Peru: System description and initial results, *Earth Space Sciences*, 7, e2020EA001293, doi: [10.1029/2020EA001293](https://doi.org/10.1029/2020EA001293), 2021.

Conte, J. F., Chau, J. L., Urco, J. M., Latteck, R., Vierinen, J., and Salvador, J. O.: First studies of mesosphere and lower thermosphere dynamics using a multistatic specular meteor radar network over southern Patagonia, *Earth and Space Science*, 8, e2020EA001356, doi: [10.1029/2020EA001356](https://doi.org/10.1029/2020EA001356), 2021.

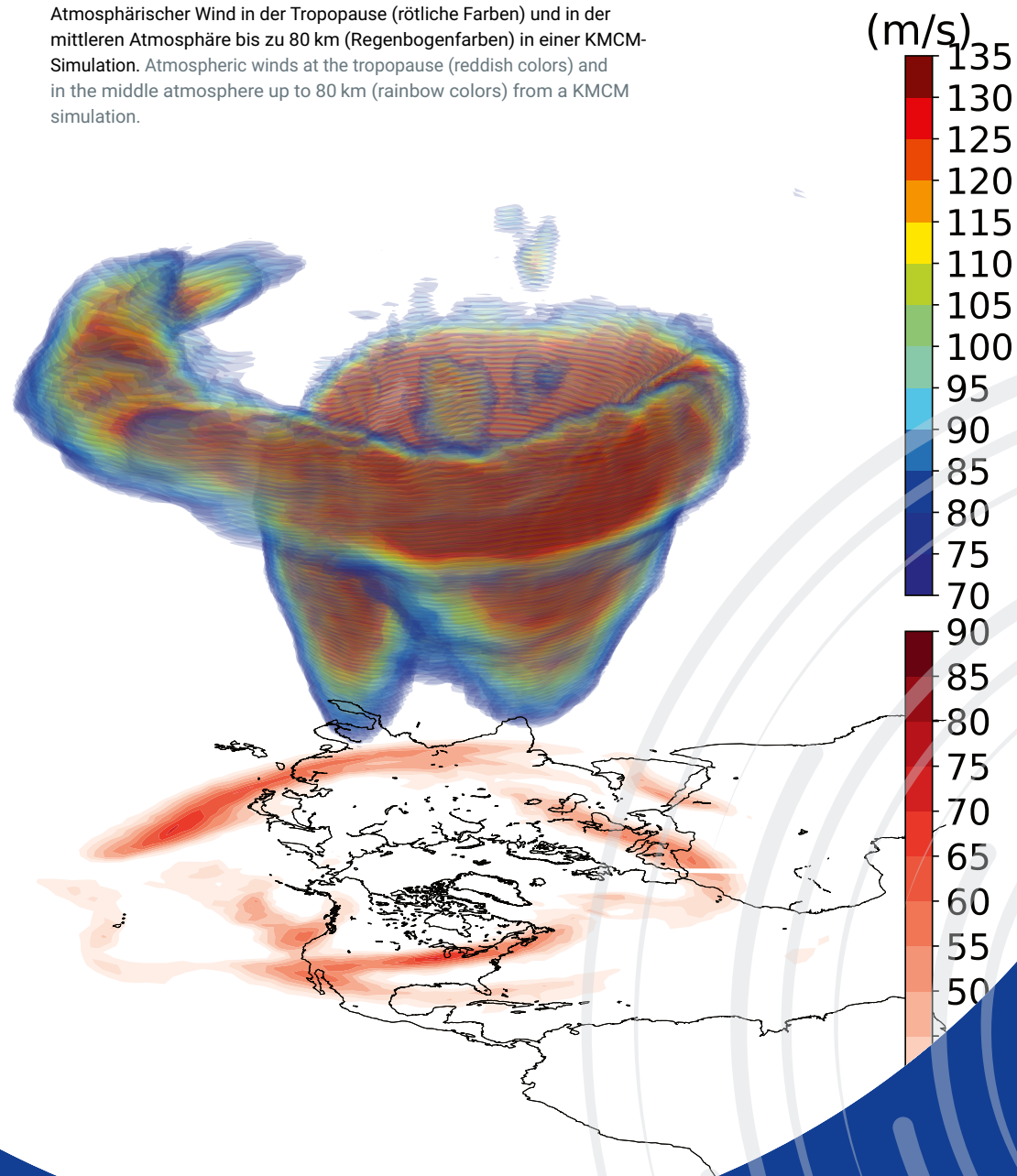
Latteck, R., Renkwitz, T., and Chau, J. L.: Two decades of long-term observations of polar mesospheric echoes at 69°N, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 216, 105576, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105576](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105576), 2021

Jaen, J., Renkwitz, T., Chau, J. L., He, M., Hoffmann, P., Yamazaki, Y., Jacobi, C., Tsutsumi, M., Matthias, V., and Hall, C.: Long-term studies of mesosphere and lower-thermosphere summer length definitions based on mean zonal wind features observed for more than one solar cycle at middle and high latitudes in the Northern Hemisphere, *Ann. Geophys.*, 40, 23 – 35, doi: [10.5194/angeo-40-23-2022](https://doi.org/10.5194/angeo-40-23-2022), 2022.

He, M., Chau, J. L., Forbes, J. M., Thorsen, D., Li, G., Siddiqui, T. A., Yamazaki, Y., and Hocking, W. K.: Quasi-10-day wave and semidiurnal tide nonlinear interactions during the Southern Hemispheric SSW 2019 observed in the Northern Hemispheric mesosphere, *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL091453, doi: [10.1029/2020GL091453](https://doi.org/10.1029/2020GL091453), 2020.

Pedatella, N. M., Liu, H.-L., Conte, J. F., Chau, J. L., Hall, C., Jacobi, C., Mitchell, N., and Tsutsumi, M.: Migrating semi-diurnal tide during the September equinox transition in the Northern Hemisphere, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2020JD033822, doi: [10.1029/2020JD033822](https://doi.org/10.1029/2020JD033822), 2021.

Atmosphärischer Wind in der Tropopause (rötliche Farben) und in der mittleren Atmosphäre bis zu 80 km (Regenbogenfarben) in einer KMCM-Simulation. Atmospheric winds at the tropopause (reddish colors) and in the middle atmosphere up to 80 km (rainbow colors) from a KMCM simulation.



MODELLIERUNG ATMOSPHÄRISCHER PROZESSE MODELLING OF ATMOSPHERIC PROCESSES

Der Beitrag der Abteilung zu den Forschungsthemen des IAP besteht in der Anwendung fortgeschrittener Diagnostik zur Untersuchung physikalischer Systeme verschiedener Komplexitätsebenen, der Nutzung konzeptioneller Modelle zum Verständnis atmosphärischer Prozesse und der Entwicklung numerischer Modelle. Diese Arbeiten sind auf die MLT-Region gerichtet. Eine besondere Stärke bestand im kontinuierlichen Vergleich und der gemeinsamen Auswertung unserer Modellergebnisse mit bodengestützten und satellitengetragenen Beobachtungen für regionale Erscheinungen sowie globale Untersuchungen.

The department contributes to the research themes of IAP by applying advanced diagnostics to study physical systems of different levels of complexity, utilising conceptual models for understanding atmospheric processes, and developing numerical models. These efforts are focused on the MLT. A particular strength has been the continuous efforts in comparing and co-analysing our model results with ground-based and space-borne observations for regional phenomena as well as global studies.

MODELLENTWICKLUNGEN MODEL DEVELOPMENTS

Das neue Paradigma der mehrstufigen vertikalen Kopplung beschreibt eine Abfolge von primären, sekundären und tertiären Schwerewellen, die in der unteren Atmosphäre angeregt werden und mit einem breiten Spektrum bis in die Thermosphäre hineinreichen. Für eine entsprechende Modellierung dieser Prozesse müssen die Wellen von der Oberfläche bis zu einigen hundert Kilometern Höhe aufgelöst werden. Das unlängst entwickelte HIAMCM, eine erweiterte Version des KMCM, ist ein Modell dieser Klasse. Während des Berichtszeitraums wurde auch eine Option entwickelt, mit der das Modell zum direkten Vergleich mit Beobachtungen an Analysen herangeführt wird (englisch: nudging). Diese Option wurde mit höhen- und wellenzahlabhängigen Koeffizienten umgesetzt. Der Vergleich von HIAMCM-Simulationsergebnissen mit Satelliten- und Lidar-Beobachtungen erbrachte eine fast realistische mesoskalige Variabilität. In der Thermosphäre wurden Details von schwerewelleninduzierten Instabilitäten aufgelöst, die aus brechenden tertiären Wellen resultieren. Für spezifische Untersuchungen bis 120 km Höhe wurde das KMCM auch mit einer nudging-Option ausgestattet.

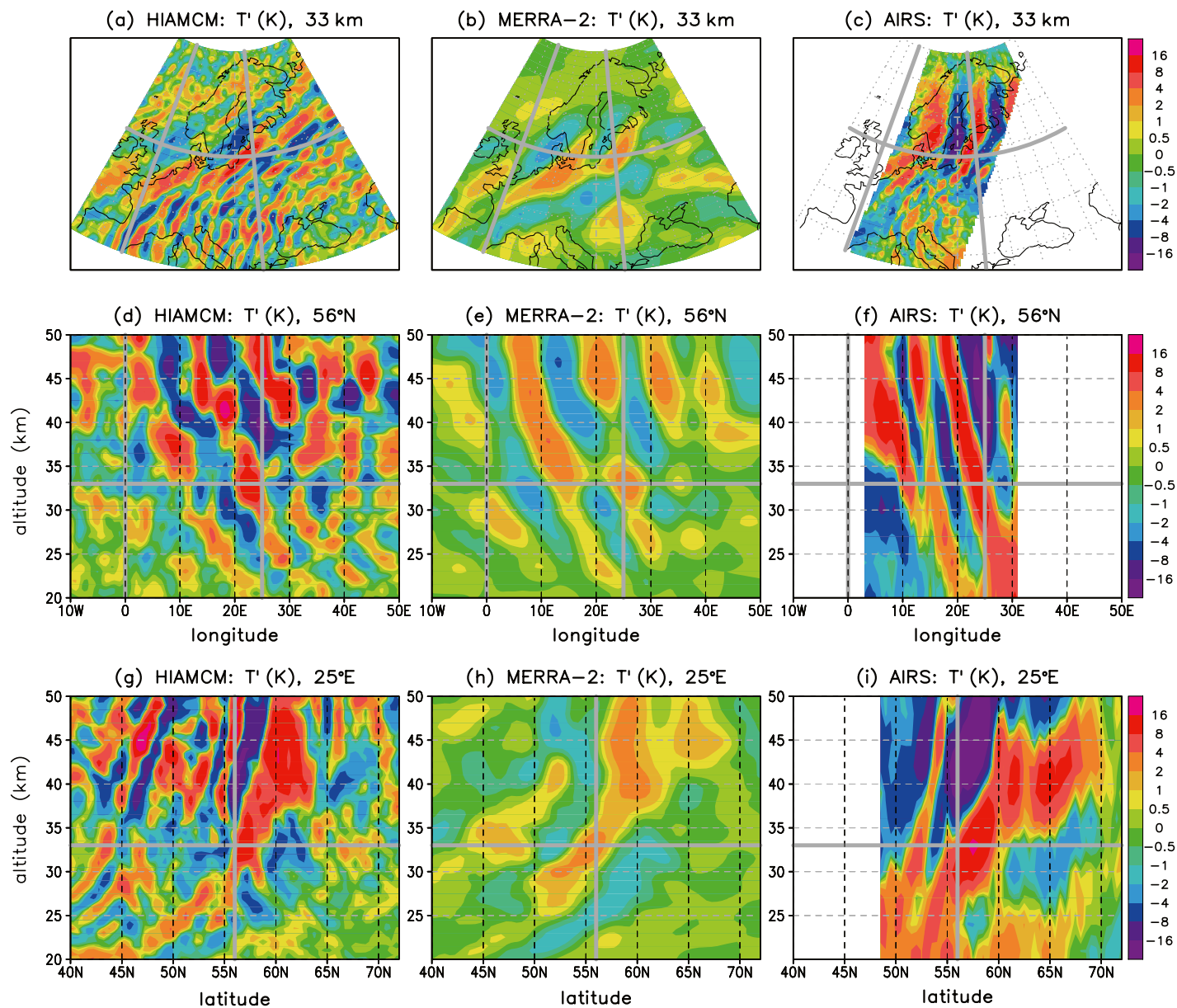
Im Jahr 2021 haben wir das deutsche Gemeinschaftsmodell UA-ICON am IAP implementiert, eine Erweiterung des nichthydrostatischen, derzeit operativ vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Globalen Zirkulationsmodells (englisch: GCM), um damit hochaufgelöste und langfristige Simulationen durchzuführen.

TEAM (31.12.2021)

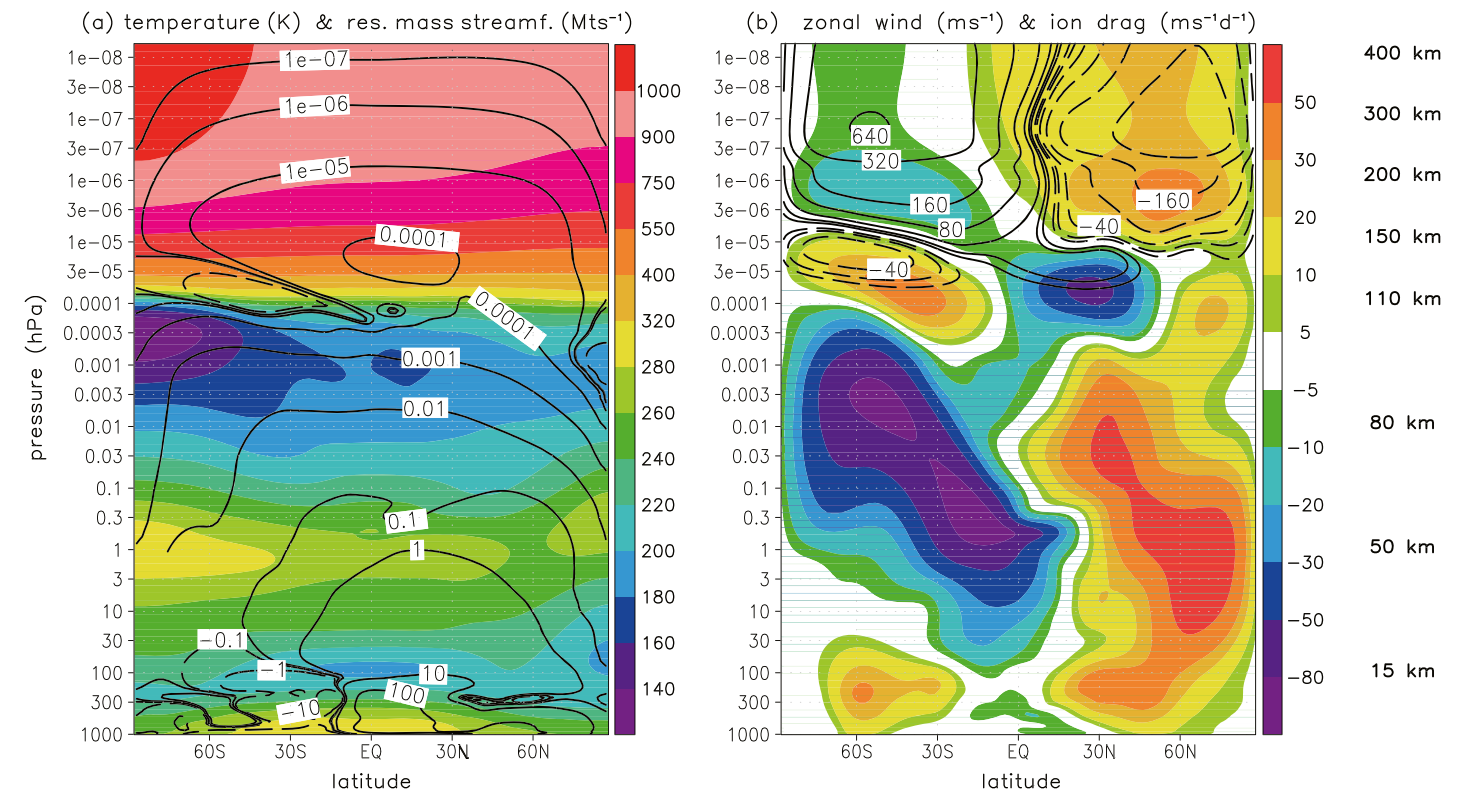
Mozhgan Amiramjadi, Victor Avsarkisov, Erich Becker, Serhat Can, Axel Gabriel, Mykhaylo Grygalashvly, Matthäus Mai, Urs Schaefer-Rolffs, Corinna Schütt, Claudia Stolle, Christoph Zülicke

The new paradigm of multi-step vertical coupling describes a sequence of primary, secondary and tertiary gravity waves initiated at the lower atmosphere and reaching up into the thermosphere with a broad spectrum. For an adequate modelling of these processes models with wave-resolving capabilities extending from the surface up to several hundred kilometers are required. The recently developed HIAMCM, an extended version of KMCM, is a model of this class. During this reporting period, a specified dynamics option has been developed for direct comparison with observations (called nudging). This option is realised with height-and-wave-number-dependent nudging coefficients. Comparison of HIAMCM simulation results with satellite and lidar observations revealed nearly realistic mesoscale variability. In the thermosphere, details of gravity-wave induced instabilities were resolved as a result of breaking tertiary waves. For dedicated studies up to 120 km altitude, the KMCM has been extended with the nudging option.

In 2021, we have implemented the German community model UA-ICON at IAP, an extension of the non-hydrostatic Global Circulation Model (GCM) currently operated at the German Weather Service in order to run high-resolution and long-term simulations.



Gleichzeitige Temperaturstörungen während eines Schwerwellenereignisses über Nordeuropa um 01:30 UT am 11. Januar 2016 vom HIAMCM mit nudging-Option (links), MERRA-2 Reanalysen (mittig) und AIRS-Satelliten (rechts). Erste Zeile: horizontale Kartenausschnitte in 33 km Höhe von 10°W bis 50°O und von 40°N bis 72°N. Zweite Zeile: Längen-Höhe-Schnitte auf 56°N. Dritte Zeile: Breitenschnitte auf 25°O. Die grauen Linien markieren die Längen 0° und 25°O, die Breite 56°N und die Höhe 33 km. Instantaneous temperature perturbations during a gravity wave event over Northern Europe at 1:30 UT on 11 January 2016 from the nudged HIAMCM (left), MERRA-2 reanalysis (middle), and AIRS satellite (right). First row: horizontal map segments at 33 km height from 10°W to 50°E and from 40°N to 72°N. Second row: longitude-height cross-sections at 56°N. Third row: Latitudinal section at 25°E. The gray lines mark the longitudes 0° and 25°E, the latitude 56°N, and the height 33 km.



HIAMCM-modellierte zonalgemittelte Temperatur (a) und Zonalwind (b) während des 1. – 30. Januar (Farben). Konturen in (a) zeigen die residuelle Massenstromfunktion in Einheiten von Mt s^{-1} . Konturen in (b) zeigen die zonalgemittelte Zonalkomponente der Ionen-Bremmung in Einheiten von $\text{m s}^{-1} \text{ day}^{-1}$. Die vertikale Skala ist die Hybrid-Koordinate des Modells für 1013 hPa. Die ungefähre geometrische Höhe ist an der rechten Achse von Teilbild (b) gegeben. HIAMCM-modelled zonal-mean temperature (a) and zonal wind (b) during 1 – 30 January (colors). Contours in (a) show the residual mass stream function in units of Mt s^{-1} . Contours in (b) show the zonal-mean zonal component of the ion drag in units of $\text{m s}^{-1} \text{ day}^{-1}$. The vertical coordinate is the model's hybrid vertical coordinate for 1,013 hPa. Approximate geometric altitudes are given on the right side of panel (b).

THEORETISCHE ANSÄTZE THEORETICAL APPROACHES

Das Konzept der geschichteten Turbulenz (englisch: stratified turbulence, ST) wurde als Alternative zu Schwerwellen als Erklärung der physikalischen Prinzipien hinter der Abwärts-Energiekaskade für mesoskalige Dynamik eingeführt. Mit einer Skalenanalyse von neuesten GCM-Simulationen, in-situ sowie Fernerkundungsbeobachtungen haben wir festgestellt, dass das ST-Regime in den Atmosphärenregionen der oberen Troposphäre/unteren Stratosphäre (UTLS) sowie der MLT signifikant ist. Weiterhin wurden Skalenbeziehungen für die Spektren von potentieller und kinetischer Energie abgeleitet und mit Beobachtungen bestätigt.

Ergebnisse von GCM-Simulationen in UTLS-Höhen haben gezeigt, dass einige der gesättigten Schwerwellen, die spontan durch Starkwind und Fronten entstanden sind, brechen und zur Bildung von ST führen. Das bestätigt frühere theoretische

Voraussagen, die die Theorien gesättigter GWs mit ST verbinden. Somit wurde ein neues Verständnis mesoskaliger Dynamik entwickelt.

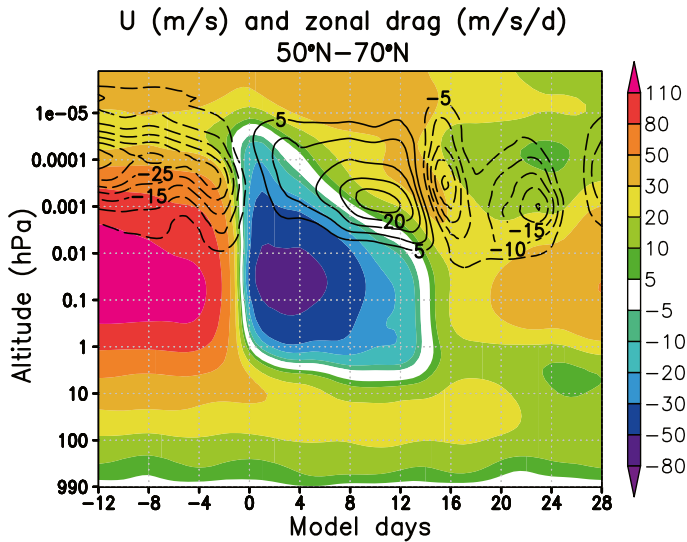
Es wurde eine neue Schwerwellenparametrisierung, die Strahlungstransferparametrisierung, entwickelt. Diese Parametrisierung ist transient und konserviert Energie und Impuls. Es liefert ein kontinuierliches Wellenfeld und seine Wechselwirkung mit dem Hintergrund. Um seine praktische Nutzbarkeit zu testen, wurde es in das KMCM eingebaut. Tatsächlich hob die Parametrisierung die kalte Sommermesopause und die warme Winterstratopause hervor und modellierte erfolgreich die Windumkehr in der südlichen Mesopause.

The concept of the stratified turbulence (ST) is introduced as an alternative to the gravity wave approach for explaining the physical principles behind the downward energy cascade of mesoscale dynamics. Using scaling analysis of state-of-the-art GCM simulations, in-situ and remote sensing observations

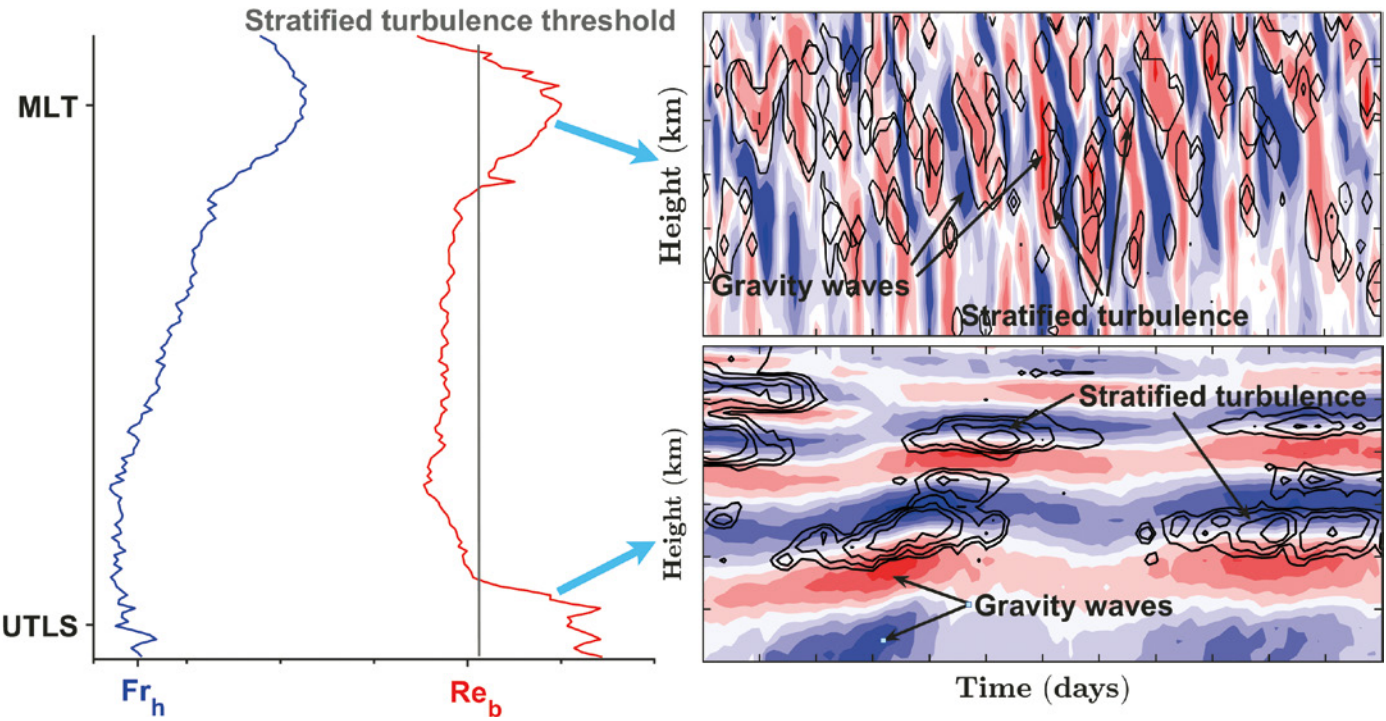
we found that the ST regime is significant in the upper troposphere and lower stratosphere (UTLS) and MLT regions of the atmosphere. Furthermore, new scaling laws for potential and kinetic energy spectra have been derived and confirmed with observations.

Results from GCM simulations at UTLS heights have shown that some of the saturated GWs, spontaneously generated by strong jets and fronts, break and lead to the formation of ST. This confirms previous theoretical predictions bridging different theories of saturated GWs and ST. It thus provides a new understanding of mesoscale dynamics.

A novel GW parameterization, the Radiative Transfer Parameterization, has been developed. This parameterization is transient and conserves energy and momentum. It features a continuous wave field and its interaction with the background. In order to test its practical performance, it was implemented into the KMCM model code. Indeed, the parameterization enhanced the appearance of the cold summer mesopause and the warm winter strato-pause regions, and successfully modelled the wind reversal in the southern mesopause.



Zonalmittel von zonalem Wind (U) in Farbe und GW-Kraft in Konturen, simuliert mit dem KMCM. Nach dem Einsetzen der SSW braucht es 9 Modell-tage, bis sich die vorherrschende GW-Kraft in der MLT von westwärts auf ostwärts ändert – ein sichtbarer transienter Effekt der Strahlungstransfer-parameterisierung. Zonal average of zonal wind (U) in colours and GW drag in contours simulated with KMCM. After the SSW onset at model day 9 it takes several days until the predominant GW drag in the MLT changes from westward to eastward – a visible transient effect of the radiation transfer parameterization.



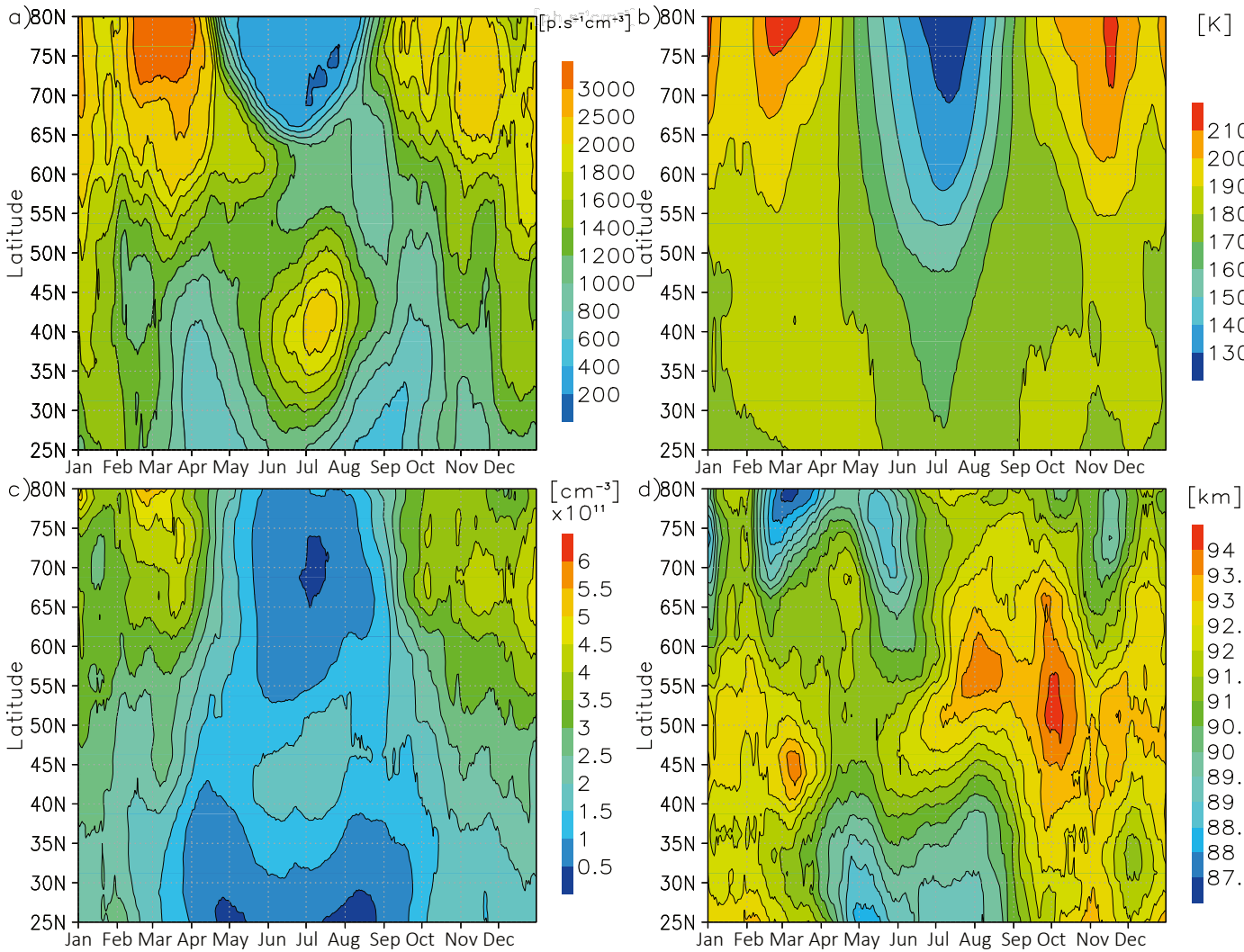
Nachweis der Existenz geschichteter Turbulenz in den UTLS- und MLT-Regionen in KMCM-Daten. Fr_h and Re_b sind dimensionslose Parameter, die die Schichtung und Turbulenzraten für geschichtete Turbulenz definieren. Farben im rechten Teil der Abbildung kennzeichnen Schwerewellen, während Konturen die geschichtete Turbulenz hervorheben. Evidence for the existence of stratified turbulence in the UTLS and MLT regions in KMCM data. Fr_h and Re_b are non-dimensional parameters that define stratification and turbulence rates of stratified turbulence. Colors on the right-hand side panels represent gravity waves, while contours indicate stratified turbulence.

HIMMELSLEUCHTEN UND CHEMIE AIRGLOW AND CHEMISTRY

Himmelsleuchten (englisch: airglow) ist eine schwache Licht-emission von angeregten Molekülen und Atomen in den planetaren Atmosphären. Es wird weithin genutzt, um Informationen über die Verteilung atmosphärischer chemischer Spurenstoffe in der Mesosphäre zu erhalten. Diese Information ist grundlegend für das Verständnis der thermischen und energetischen Balance in der mittleren Atmosphäre, wo diese atmosphärischen Schichten vorkommen, und ihre Verbindung zum Klimawandel. Wir untersuchen Chemie und Himmelsleuchten durch Analyse von satelliten- und bodengegebenen

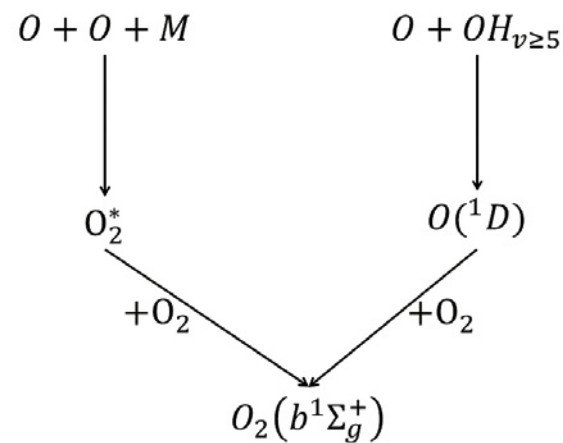
Beobachtungen, raketentragenen Messungen und dreidimensionalen Modellierung.

Mit dreidimensionaler Modellierung haben wir den Verlangsamungseffekt in der nächtlichen mesosphärischen Chemie von Hydrogen-Radikalen gefunden. So ein Verhalten ist typisch für nichtlineare Systeme, die durch eine interne Rückkopplung charakterisiert sind. Darüber hinaus haben wir die Kennzeichen der halbjährige Variation der OH*-Emission in mittleren Breiten erklärt.



Modellierte monatliche nächtliche Mittelwerte in der nordhemisphärischen Mesopause von (a) Volumenemission des Himmelsleuchtens, (b) Temperatur, (c) atomarem Sauerstoff sowie (d) der Höhe des Emissionspiks. Darstellungen (a) und (b) reflektieren, dass die Konzentration des atomaren Sauerstoffs die Formierung Hydroxyl-Luftleuchten dominiert. Modelled monthly, nighttime averages at the northern hemispheric mesopause of (a) airglow volume emission, (b) temperature, (c) atomic oxygen at emission peak, and (d) height of emission peak. Panels (a) and (c) reflect that atomic oxygen concentration dominates in hydroxyl airglow formation.

Von selbstkonsistenten raketengetragenen Messungen von Temperaturen, Dichte atomaren Sauerstoffs und Volumenemissionen des atmosphärischen Bandes mit 762 nm Wellenlänge ausgehend haben wir die Koeffizienten für eine Fit-Funktion zwischen diesen Parametern empirisch abgeleitet. Diese Koeffizienten können entweder für die Modellierung von Volumenemissionen des atmosphärischen Bandes genutzt werden oder zur Abschätzung der Konzentration atomaren Sauerstoffs, wenn die Volumenemission bekannt ist. Gleichzeitige Messungen aus dem gleichen Messvolumen aller Parameter einer theoretischen Rechnung machen die Einzigartigkeit und den Vorzug dieser Arbeit aus. Zusätzlich haben wir die O(1D)-Konzentration in der nächtlichen Mesopause durch den neu vorgeschlagenen Mechanismus zur O(1D)-Produktion aus OH* bestimmt. Schließlich haben wir gezeigt, dass sowohl der gutbekannte Zwei-Schritt-Mechanismus als auch der neu entwickelte Mechanismus für die Bildung des angeregten O₂(b¹Σ_g⁺) beide richtig sind.



Diese Skizze illustriert die Entsprechung des traditionellen Zwei-Schritt-Mechanismus (links) und des neu beschriebenen (rechts) für die Bildung des angeregten Sauerstoffs. This sketch illustrates an equivalence of the traditional two-step mechanism (left) and the newly described one (right) for the excited-state oxygen.

Airglow is a faint emission of light by excited molecules and atoms in planetary atmospheres. It is widely used in order to obtain information about distributions of minor chemical atmospheric constituents in the mesosphere. This information is crucial for the understanding of the thermal and energetic balance of the middle atmosphere where these atmospheric layers occur, and their connection to climate change. We study chemistry and airglow by analysis of satellite- and ground-based observations, rocket-borne measurements and 3D modelling.

Using 3D modelling we found the slow-down effect in the nighttime mesospheric chemistry of hydrogen radicals. Such behaviour is typical for nonlinear systems characterized by internal feedback. Additionally, we explained characteristics of the semi-annual variation of OH* emissions at mid-latitudes.

Based on self-consistent rocket-borne measurements of temperature, density of atomic oxygen and volume emission of the atmospheric band at 762 nm wavelength, we empirically derived the coefficients for a fit-function between these parameters. These coefficients can be utilized either for atmospheric band volume emission modelling or for estimation of atomic oxygen concentration when the volume emission is known. Simultaneous common volume measurements of all these parameters involved in one theoretical calculation is the novelty and the advantage of this work. Additionally, we have determined the O(1D) concentration in the nighttime mesopause due to the newly proposed mechanism of O(1D) production from OH*. As a consequence, we have shown that the well-known two-step mechanism and the newly developed mechanism for excited-state O₂(b¹Σ_g⁺) formation are both valid.

AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Avsarkisov, V.: On the Buoyancy Subrange in Stratified Turbulence, Atmosphere, 11, 659, doi: [10.3390/atmos11060659](https://doi.org/10.3390/atmos11060659), 2020.

Avsarkisov, V., Becker, E., and Renkowitz, T.: Turbulent parameters in the middle atmosphere: theoretical estimates deduced from a gravity wave-resolving general circulation model, J. Atmos. Sci., 79, 933-952, doi: [10.1175/JAS-D-21-0005.1](https://doi.org/10.1175/JAS-D-21-0005.1), 2021.

Becker, E. and Vadas, S. L.: Explicit global simulation of gravity waves in the thermosphere, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2020JA028034, doi: [10.1029/2020JA028034](https://doi.org/10.1029/2020JA028034), 2020.

Becker, E., Grygalashvyly, M., and Sonnemann, G. R.: Gravity wave mixing effects on the OH*-layer, Adv. Space Res. 65, 175-188, doi: [10.1016/j.asr.2019.09.043](https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.09.043), 2020.

Grygalashvyly, M., Strelnikov, B., Eberhart, M., Hedin, J., Khaplanov, M., Gumbel, J., Rapp, M., Lübken, F.-J., Löhle, S., and Fasoulas, S.: Nighttime O(1D) and corresponding atmospheric band emission (762 nm) derived from rocket-borne experiment, J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 213, 105522, doi: [10.1016/j.jastp.2020.105522](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105522), 2021.

Grygalashvyly, M. and Sonnemann, G.R.: Note on consistency between Kalogerakis-Sharma Mechanism (KSM) and two-step mechanism of atmospheric band emission (762 nm), Earth Planets Space, 72, 187, doi: [10.1186/s40623-020-01321-z](https://doi.org/10.1186/s40623-020-01321-z), 2020.

Grygalashvyly, M., Pogoreltsev, A. I., Andreyev, A. B., Smyshlyaev, S. P., and Sonnemann, G. R.: Semi-annual variation of excited hydroxyl emission at mid-latitudes, Ann. Geophys., 39, 255-265, doi: [10.5194/angeo-39-255-2021](https://doi.org/10.5194/angeo-39-255-2021), 2021.

ÖFFENTLICHKEIT OUTREACH



Das IAP kommuniziert mit der Gesellschaft in unterschiedlicher Art und Weise, um die öffentliche Wahrnehmung und das Verständnis der wissenschaftlichen Aktivitäten des IAP zu fördern. Die Kommunikation unserer Forschung und Aktivitäten zur wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Welt motiviert die wissenschaftliche Zusammenarbeit, erhöht die Faszination der Menschen von Wissenschaft und ermöglicht einen gegenseitigen Gewinn durch die Kooperation mit der Privatwirtschaft. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über wissenschaftliche Errungenschaften von besonderem öffentlichen Interesse, Technologietransfer in die lokale Industrie, aktive Presseberichte und vieles mehr.

The IAP communicates with society in various ways to promote public awareness and understanding of IAP's scientific activities. Communicating our research and activities to academia and to the non-academic world motivates scientific collaboration, increases people's fascination about science and enables mutual benefit in cooperation with the private sector. This chapter gives an overview on scientific achievements with particular public interest, technology transfer to local industry and active press reporting among others.

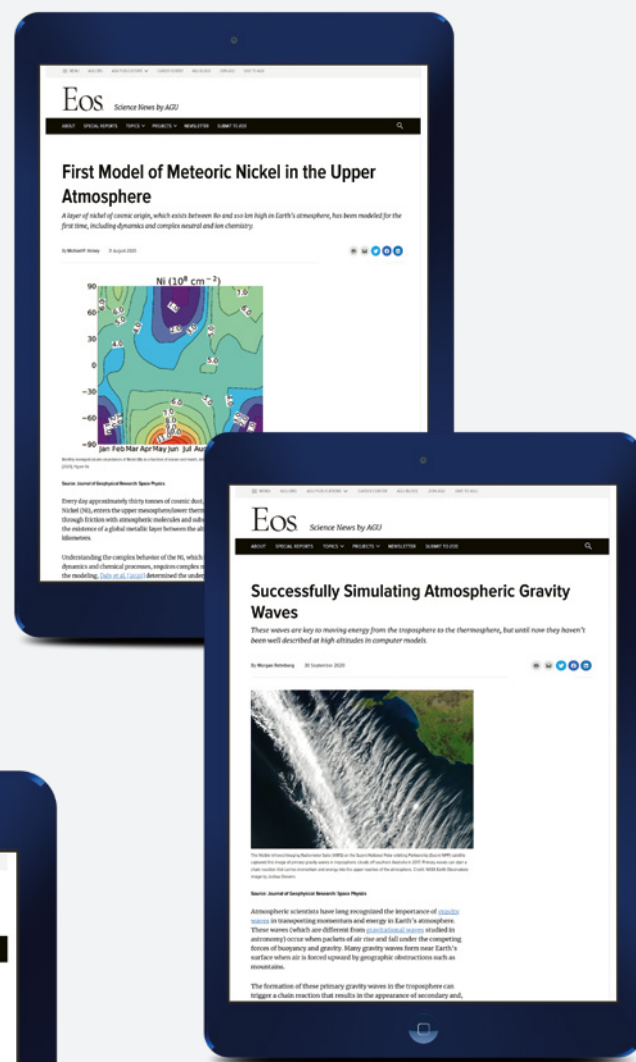
BESONDERE VERÖFFENTLICHUNGEN HIGHLIGHTED PUBLICATIONS

Einige wissenschaftliche Primärpublikationen erhielten die spezielle Aufmerksamkeit der Herausgebenden. So erwähnte EOS, das Magazin für Wissenschaftsnachrichten aus Veröffentlichungen der Amerikanischen Geophysikalischen Gesellschaft (AGU), unsere Arbeit in Artikeln, Hervorhebungen der Herausgebenden sowie als Forschungs-Brennpunkte. Ein weiterer Artikel in der Copernicus-Zeitschrift Atmospheric Measurement Techniques fand ebenfalls Aufmerksamkeit.

Wir weisen auf solche Errungenschaften in Mitteilungen auf unserer Webseite hin: <https://www.iap-kborn.de/aktuelles/nachrichten>. In 2020/21 gab es dort 13 Nachrichten in diesem Format über erfolgreich abgeschlossene Projekte, nationale und internationale Treffen, Ehrungen und Auszeichnungen, herausragende Veröffentlichungen und mehr – bunte und aktuelle Eindrücke aus unserem Institutsleben.

Some of the primary scientific publications received special attention by the editors. E.g., EOS, the magazine for science news from publications of the American Geophysical Union (AGU), mentioned our work in articles, editors highlights and research spotlights. Another article in the Copernicus journal Atmospheric Measurement Techniques was highlighted, too.

We reference these achievements in posts on our webpage: <https://www.iap-kborn.de/aktuelles/nachrichten>. In 2020/21, 13 communications in this format have been posted on successfully finished projects, national and international meetings, honors and awards, highlighted publications and more – a colorful and updated impression from our institute life.



Drei in EOS hervorgehobene Artikel.
Three highlighted articles in EOS.
→ eos.org



Liliana Macotela wurde durch die Deutsche Physikalische Gesellschaft zur „Physikerin der Woche“ gewählt.
Liliana Macotela was elected Physicist of the Week by the German Physical Society.

PREISE AWARDS

Franz-Josef Lübken diente der wissenschaftlichen Gemeinschaft über mehrere Dekaden, einschließlich der Vize-Präsidenschaft des internationalen Komitees für solar-terrestrische Physik (SCOSTEP) und der Leitung des nationalen Rahmenprogramms ROMIC – Rolle der mittleren Atmosphäre im Klima. Seine Aktivitäten wurden 2021 durch SCOSTEP mit dem Distinguished Service Award gewürdigt.

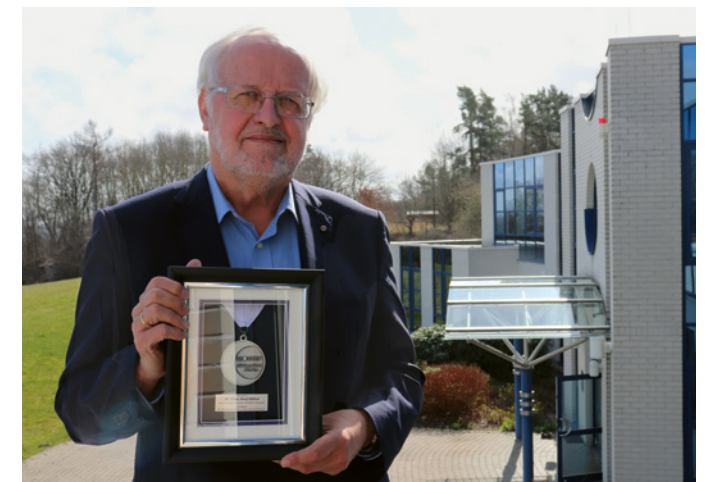
Die Förderung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern ist am IAP von hohem Interesse. Wir sind besonders stolz, wissenschaftlichen Nachwuchs aus dem Ausland anzuziehen, einschließlich zweier Stipendiaten der Alexander-von-Humboldt-Stiftung.

Ein besonderes Anliegen des IAP ist die Förderung weiblicher Studierender und PostDocs. Wir freuen uns, dass eine von ihnen durch die Deutsche Physikalische Gesellschaft zur „Physikerin der Woche“ gewählt worden ist.

Franz-Josef Lübken has served the scientific community for several decades including the vice-presidency of the international Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP) and leading the national framework programme Role of the Middle Atmosphere in Climate (ROMIC). His activities have been recognized in 2021 with the Distinguished Service Award by SCOSTEP.

Promoting early career scientists is of high interest to IAP. We are particularly proud to have attracted early career scientists from abroad, including two fellows of the Alexander-von-Humboldt foundation.

An important aspect at IAP is the promotion of female students and postdocs. We are proud that one of our colleagues was selected as “physicist of the week” by the German Physical Society.



SCOSTEP-Preis für Franz-Josef Lübken.
SCOSTEP award to Franz-Josef Lübken.



Alexander von Humboldt Stiftung/Foundation

Das IAP hieß zwei Humboldt-Stipendiaten willkommen – Tarique Adnan Siddiqui und Sivakandan Mani. The IAP welcomed two Humboldt Fellows – Tarique Adnan Siddiqui and Sivakandan Mani.

BERATUNGSTÄTIGKEITEN COMMUNITY SERVICES

Die aktive Beteiligung von IAP-Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern in nationalen und internationalen Gremien ist eine Anerkennung der IAP-Leistungen und hilft, an der weltweiten wissenschaftlichen Weiterentwicklung mitzuwirken.

The active participation of IAP scientists in national and international bodies is a recognition for IAP achievements and helps to actively participate in international developing science.

So hat sich das IAP in den Jahren 2020 und 2021 beispielsweise an den folgenden Gremien beteiligt: SCOSTEP-Büro, COSPAR-SAC, ALOMAR SAC, GFZ geomagnetic observatories SSC, EISCAT SSC, NCAR HAO External Advisory Commission, Jicamarca Radio Observatory Scientific Advisory Council, Swarm DISC Advisory Board, Kuratorium des Magnus-Hauses der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, und an NSF Portfolio Review for Geospace Sciences. For example, IAP has participated in the following bodies during the years 2020 and 2021: SCOSTEP Bureau, COSPAR subcommissions, ALOMAR SAC, GFZ geomagnetic observatories SSC, EISCAT SSC, NCAR HAO External Advisory Commission, Jicamarca Radio Observatory Scientific Advisory Council, Swarm DISC Advisory Board, Board of Trustees of the Magnus Haus Berlin at the German Physical Society, and for the NSF Portfolio Review for Geospace Sciences.



Einige dieser Aktivitäten befassen sich mit der Ausrichtung von Forschung, was Experten-Gutachten einschließt und wovon wir hier das MLT-Projekt im Rahmen der Grand Challenge Initiative sowie die strategische Vision für Inkohärente-Streuungs-Radare erwähnen möchten.



Logo der Grand Challenge Initiative für die MLT-Region, wozu Franz-Josef Lübken beitrug. Logo of the Grand Challenge Initiative for the MLT region to which Franz-Josef Lübken contributed.



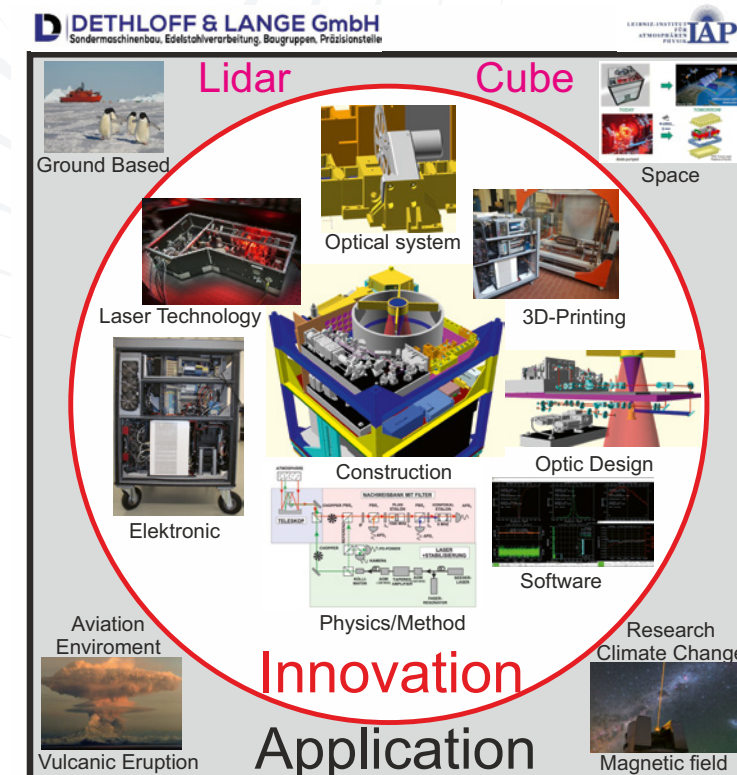
Die Strategic Vision of Incoherent Scatter Radar wurde durch Jorge-Luis Chau vorangebracht. The Strategic Vision of Incoherent Scatter Radar was pushed by Jorge Luis Chau.

TECHNOLOGIETRANSFER TECHNOLOGY TRANSFER

Die Forschungsaktivitäten am IAP sind mit Technologieentwicklungen verbunden, um neue Phänomene an der Grenze des Wissens zu beobachten. In vielen Fällen können diese Entwicklungen auch für die lokale und regionale Industrie nutzbringend sein. Im Berichtszeitraum wurden zwei Technologietransferprojekte im Zusammenhang mit VAHCOLI verwirklicht: (a) Lidar Cube und (b) MoLiCu.

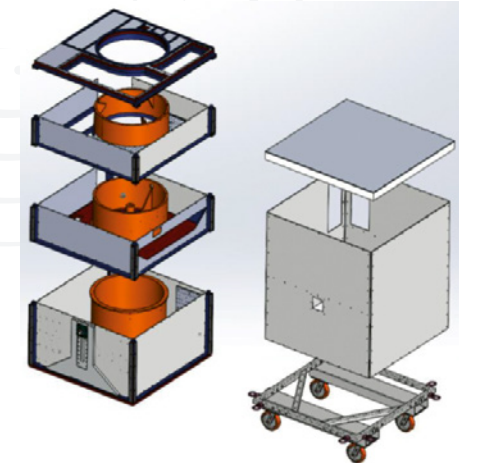
The research activities at IAP are accompanied with technological developments in order to observe new phenomena at the edge of knowledge. In many cases, these developments can be beneficial to local and regional industry. During this reporting period, two technological transfer projects were executed in relation to VAHCOLI. These are: (a) Lidar Cube and (b) MoLiCu.

A) Lidar Cube



LidarCube ist ein Netzwerk von neun Partnern, das durch RUBIN (Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation) gefördert wird. Lidar Cube is a network of nine partners funded by RUBIN programme.

B) MoLiCu



Das von ZIM (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) geförderte Projekt MoLiCu ist eine Zusammenarbeit mit Dethloff & Lange Neubukow. The project MoLiCu funded by ZIM is a cooperation with Dethloff & Lange Neubukow.

ÖFFENTLICHKEITSARBEIT PUBLIC OUTREACH

Das IAP ist ein aktiver Teil der Wissenschaftsgemeinschaft der Region Rostock. Wir sind mit der Universität Rostock nicht nur durch Wissenschaft und Bildung verbunden, sondern auch durch Wissenschaftskommunikation. Als Mitglied des Marketingvereins „Rostock denkt 365“ sind wir Mitorganisator des Wettbewerbs „Rostock's Eleven“, bei dem elf Studierende aus der Region Rostock elf Wissenschaftsjournalistinnen und -journalisten aus dem ganzen Land ihre Forschung präsentieren. Nach einer Unterbrechung wegen COVID-19 haben wir uns auch 2021 wieder beteiligt.

The IAP is an active part of the science community in the Rostock region. We are not only associated to the University of Rostock with numerous scientific and educational links, but also in terms of science communication. As a member of the science marketing association "Rostock denkt 365", we co-organize the contest "Rostock's Eleven", where eleven students from the Rostock region present their research to eleven science journalists from all over the country. After an interruption due to COVID-19 in 2020 we again contributed in 2021.

**WIR HEISSEN AUCH
SCHULKLASSEN WILLKOMMEN,**
erklären, was wir machen,
zeigen, wie wir arbeiten und starten
zusammen eine Radiosonde.

WE ALSO WELCOME SCHOOL CLASSES,
explain what we do, show
how we work and together launch
a radiosonde.



IAP-Student Tristan Staszak
beim Wettbewerb „Rostock's
Eleven“ in 2021. IAP's student
Tristan Staszak at the contest
"Rostock's Eleven" in 2021.



Leibniz Nordost



Schnappschuss der Ausgaben des
Journals Leibniz Nordost vom April und
November 2021. Snapshot from the
Leibniz Nordost journal issues of April
and November 2021.

LEIBNIZ NORDOST LEIBNIZ NORDOST

Das IAP ist eines der vier Leibniz-Institute in Mecklenburg-Vorpommern, die Leibniz Nordost bilden. Zusammen geben wir halbjährlich ein gleichnamiges Journal heraus, was sowohl über aktuelle Forschung und das Institutsleben berichtet als auch Forschende vorstellt. Wegen COVID-19 haben wir in 2020 nicht veröffentlicht, sondern einen Neustart vorbereitet. Im April 2021 waren wir mit einem frischen Design und konzentrierten Format wieder dabei.

IAP is one of four Leibniz institutes in Mecklenburg-Vorpommern that form Leibniz Nordost. Jointly, semi-annually an equally-named journal is published which reports on current research, the institutes' life and presents their researchers. Due to COVID-19, we did not publish in 2020 but prepared a relaunch instead. In April 2021 we presented the journal in a fresh design and concentrated format.

WISSENSCHAFTLICHE TAGUNGEN SCIENTIFIC MEETINGS

Das schloss das Eröffnungstreffen für ROMIC-2 ein – die zweite Phase der vom IAP koordinierten BMBF-Fördermaßnahme. Es fand im Februar 2021 statt, als COVID-19 noch einige Einschränkungen hinsichtlich der persönlichen Zusammenkunft auferlegte. Obwohl virtuell, war es eine gute Weiterführung und Beginn zugleich.

This included the kick-off meeting for ROMIC 2 – the second phase of a collaborative project funded by the BMBF and coordinated by IAP. It took place in February 2021 when COVID-19 still put restriction on in person meetings. Although virtual, it was a good continuation and beginning at once.

ROMIC
ROMIC



ROMIC2-Eröffnungstreffen –
virtuell. ROMIC2 kick-off
meeting – virtual.

IAP IM ÜBERBLICK

IAP AT A GLANCE

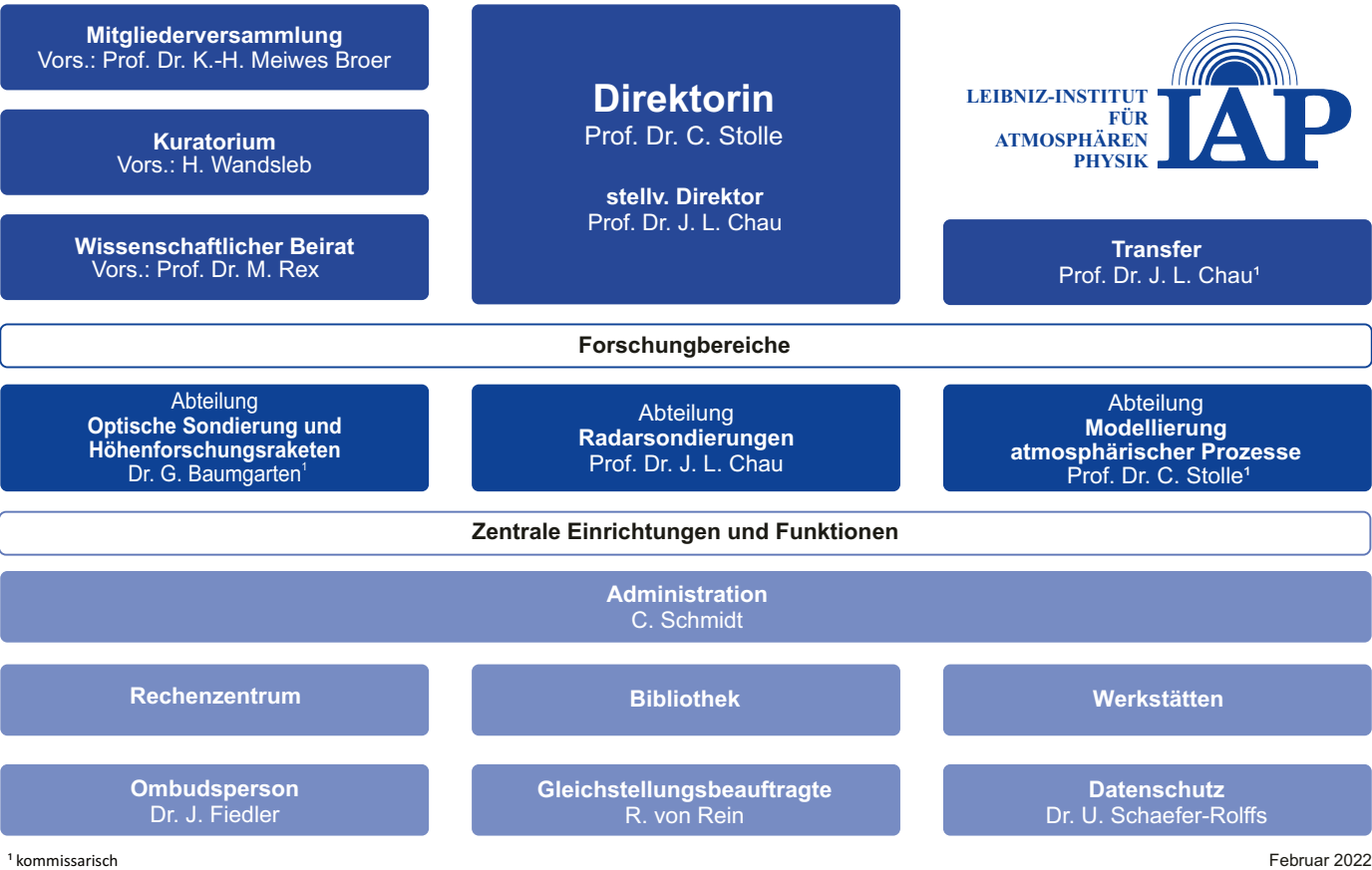
3

Die Forschungsergebnisse beruhen auf einer gut funktionierenden und unermüdlichen Unterstützung durch externe Beratung, operative Infrastruktur, Management und Verwaltung. Dieses Kapitel stellt die Struktur und die Organe des IAP vor. Es gibt auch einen Überblick über die wissenschaftlichen Aktivitäten des Instituts in Form von Publikationen, Dissertationen und der Teilnahme an nationalen und internationalen Projekten.

Research outcome is based on well-functioning and tireless support through external advice, operating infrastructure, management and administration. This chapter introduces the structure and bodies of IAP. It also summarizes the institute's scientific activities in terms of publications, thesis works and involvement in national and international projects.

ORGANIGRAMM

ORGANISATIONAL CHART



STANDORTE UND INFRASTRUKTUR

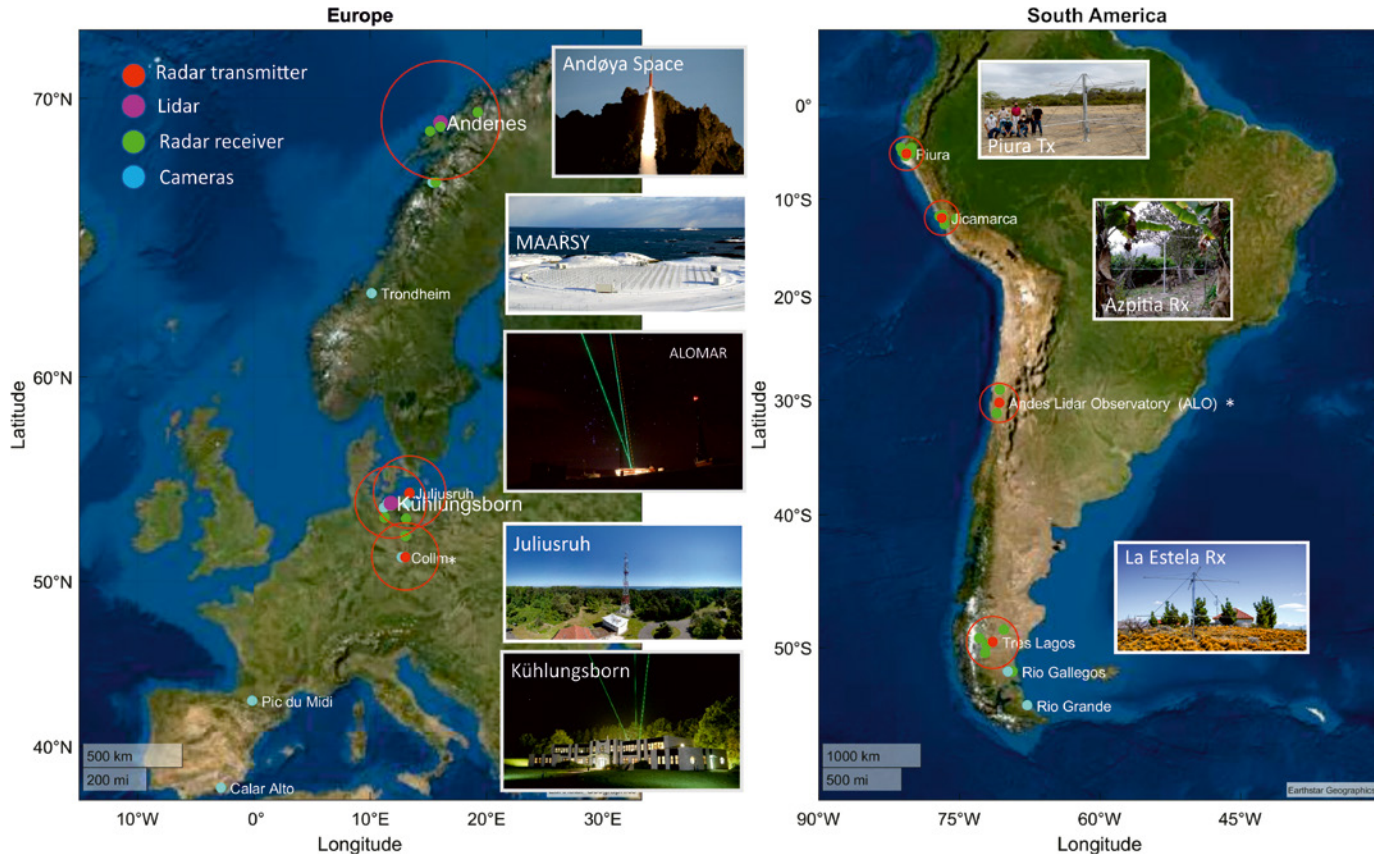
LOCATIONS AND INFRASTRUCTURE

Der Hauptsitz des IAP befindet sich in Kühlungsborn. Das Institut unterhält einen Nebenstandort in Juliusruh und beteiligt sich maßgeblich am ALOMAR-Observatorium. In Juliusruh befinden sich verschiedene geophysikalische Instrumente, z. B. die am längsten in Betrieb befindliche Ionosonde in Europa. ALOMAR, eine Einrichtung der Andøya Space in Nordnorwegen, unterstützt den Betrieb von IAP Lidar- und Radarsystemen. Zusätzlich betreibt das IAP verteilte Systeme in Norddeutschland und Nordnorwegen und seit Ende 2019 auch in Südamerika. Diese Installationen werden in Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Institutionen betrieben und bestehen aus multi-statischen Meteorradaren (z. B. SIMONE) und NLC-Kameras. Der weltweite Betrieb von Instrumenten fördert die internationale Zusammenarbeit mit lokalen Partnern und ermöglicht gemeinsame Analysen.

Die IT-Abteilung in Kühlungsborn betreut eine große Menge an Daten und die Rechenanlagen. In den letzten Jahren wurde die IT-Infrastruktur erheblich erweitert, um große Datenmengen zu speichern, einschließlich der Rohdaten von Großgeräten und kleinen Messnetzwerken, die nicht am IAP-Hauptsitz liegen, und um anspruchsvolle, rechenintensive Simulationen komplexer atmosphärischer Prozesse durchzuführen. Die Netzwerk-kommunikation erfolgt über zwei 1,5-Gigabyte/s-Internetverbindungen, die vom Deutschen Forschungs- und Bildungsnetz bereitgestellt werden.

IAP headquarters is located in Kühlungsborn. The institute also runs a branch office at Juliusruh and largely supports the ALOMAR observatory. Juliusruh houses various geophysical instruments, e.g., the longest operating ionosonde in Europe. ALOMAR, a facility of Andøya Space in Northern Norway, supports IAP lidars and radars. Besides these facilities, IAP operates distributed systems in northern Germany and northern Norway, and since late 2019 in South America. The distributed facilities are operated in cooperation with national and international institutions and consist of multi-static meteor radars (e.g., SIMONE) and NLC cameras. The operation of instrumentation worldwide fosters international collaboration with local partners and allows joint analyses.

The IT in Kühlungsborn hosts a large amount of data and the main computing environment. In recent years, the IT infrastructure has been extended significantly in order to store the large amounts of data, including the raw data from remote large facilities and small distributed systems not located at IAP headquarters, as well as to perform sophisticated, computationally-demanding simulations of complex atmospheric processes. Network communication is realised by two 1.5 Gigabyte/s internet connections provided by the German National Research and Education Network.



*IAP signals from radars in Collm and ALO that belong to University of Leipzig and ERU, respectively



ADMINISTRATION ADMINISTRATION

Alle administrativen Aufgaben wie:

- Allgemeine Verwaltung und Organisation
- Personal
- Finanzen
- Beschaffung
- Bau- und Liegenschaften
- Bibliothek

werden am IAP durch derzeit 8 hochqualifizierte Mitarbeitende der Kernverwaltung wahrgenommen. Zwei weitere zum Team gehörende Beschäftigte erledigen alle anfallenden Hausmeister-tätigkeiten, wie kleinere Umbauten und Unterhaltungsmaßnah-men, die Grundstückspflege und die Unterhaltung des Fuhrparks. Tatkräftige Unterstützung bei der Grundstückspflege erhalten wir regelmäßig durch Beschäftigte der evangelischen Stiftung Michaelshof Rostock.

Durch unsere Arbeit nach administrativen und wirtschaftlichen Grundsätzen tragen wir dazu bei, dass eine effektive wissen-schaftliche Arbeit am Institut geleistet werden kann. So erfolgt in der Verwaltung die Rechnungsbearbeitung aller ein- und

ausgehenden Rechnungen sowie die Betreuung und Abrechnung des finanziellen Teils unserer Drittmittelprojekte. Der als Programmbudget bezeichnete Wirtschaftsplan des Instituts wird durch uns unter Anwendung der Kosten-Leistungs-Rechnung nach den Erfordernissen des Instituts erstellt und wir wirken eng an dessen Bewirtschaftung unter Einhaltung der rechtlichen Bestimmungen in der Haushaltsführung mit. Jährlich stellen wir gegenüber den Zuwendungsgebern Land und Bund die vorschriftsmäßige institutionelle Verwendung dieser Mittel dar. Weiterhin stellen wir die rechtskonforme Vergabe von Beschaffungsaufträgen sicher und verwalten das Inventar. Wir begleiten große Baumaßnahmen, haben kleinere Baumaßnahmen im Blick und sorgen für die Bauunterhaltung und die Bewirtschaftung der Liegenschaften. Neben den Personalgewinnungs- und Personalbindungsmaßnahmen für das Stammpersonal und die Drittmittelbeschäftigten spielt die Unterstützung des zum Teil internationalen, wissenschaft-lichen Nachwuchses eine große Rolle. Wir unterstützen unsere internationalen Beschäftigten bei der Wohnungssuche, den Behördengängen, KITA-Anmeldungen und vielem mehr.

Das IAP hat sich zum Ziel gesetzt, die Gleichstellung und Vereinbarkeit von Beruf, Pflege und Familie zu festigen. Uns zeichnet das Bestreben aus, individuelle Lösungen in unter-schiedlichen Lebensphasen und -situationen zu finden. Im Jahr 2020 hat sich das IAP deshalb einer Re-Auditierung unterzo-gen, die im März 2021 mit der wiederholten Verleihung des Zertifikates „Audit berufundfamilie“ beendet wurde. Damit einhergehend wurden Ziele gesetzt, die die Fortentwicklung der vorhandenen Maßnahmen und Regelungen beinhalten und weitere Möglichkeiten erschließen, um die Attraktivität des IAP als familienbewussten Arbeitgeber zu erhalten und zu steigern.

Im Jahr 2021 konnten bereits einige wichtige Meilensteine realisiert werden, indem zum Beispiel eine Festlegung zur Regelung zur gleitenden Arbeitszeit verabschiedet wurde und ebenso eine Regelung zum mobilen Arbeiten. Die Geschäfts-ordnung wurde neu aufgelegt und innerhalb dieser wurde die Zuständigkeit der Gleichstellungsbeauftragten verankert. Aber auch ein betriebliches Gesundheitsmanagement wurde weiter ausgebaut. Im Jahr 2021 wurde z. B. ein Sportraum am IAP eingerichtet.

Der im Jahr 2019 von der Direktion unterzeichnete Gleichstel-lungsplan wird nach 4 Jahren evaluiert. Alle weiteren Maßnahmen werden in Zusammenarbeit mit der Gleichstellungsbeauftragten und deren Stellvertreterin bei Bedarf angepasst. Dieses wird in einem jährlichen Bericht dokumentiert, welcher an die beruf-undfamilie Service gmbh weitergeleitet und von dieser begut-achtet wird.

Die Bibliothek des IAP ist eine zentrale Literatur-Service-Einrichtung für die wissenschaftlich Arbeitenden des Institutes, wird als OPL (One Person Library) geführt und hält regional und überregional Kontakt zu anderen Institutionen und Biblio-thekseinrichtungen. Sie ist zudem Mitglied des Arbeitskreises Bibliotheken und Informationseinrichtungen sowie des Arbeits-kreises Open Access der Leibniz Gemeinschaft. Sie versteht sich als Informations-und Recherchedienst für die effiziente Abdeckung des Informationsbedarfs der Forschenden des Institutes. Aber auch Studierenden und Mitarbeitenden der Universität Rostock steht die Bibliothek zur beruflichen und persönlichen Weiterbildung offen.

All administrative duties:

- General administration and organization
- Personnel
- Finances
- Purchasing
- Building and real estate
- Library

are carried out at the IAP by 8 highly qualified employees of the central administration. Two additional employees, who are part of the team, take care of all janitorial tasks, including minor renovations, property maintenance and the upkeep of the vehicles. We regularly receive active support for grounds maintenance from employees of the Evangelic Michaelshof Rostock Foundation.

Through our work according to administrative and economic principles, we contribute towards the efficient scientific work at

the institute. The administration department handles all incoming and outgoing invoices as well as the supervision and accounting of the financial part of our third-party funded projects. The economic plan of the institute, which is referred as the program budget, is prepared by us according to the requirements of the institute using cost-performance accounting, and we are closely involved in its management in compliance with the legal provisions of budget management. Each year, we present the institutional use of these funds in accordance with the regulations to the state and federal funding agencies. Furthermore, we ensure the legally compliant awarding of procurement contracts and manage the inventory. We supervise major construction projects, keep an eye on smaller construc-tion projects, and take care of building maintenance and property management. In addition to personnel recruitment and reten-tion measures for regular and third-party staff, support for young scientists, some of whom are international, plays a major role in the progress of the institute. We support our international employees in finding accommodation, dealing with the au-thorities, registering for daycare centers and much more.

The IAP has set itself the goal of consolidating equality and the compatibility of work, care and family. We are characterized by our efforts to find individual solutions in different phases and situations of life. In 2020, IAP therefore underwent a re-audit, which was concluded in March 2021 with the renewed award of the “Audit berufundfamilie” certificate. At the same time, goals were set for the further development of existing measures and regulations, and also to open up further possibilities to main-tain and increase the appeal of IAP as a family-conscious employer.

In 2021, a number of important milestones have already been achieved, such as the adoption of a regulation on flexible working hours and a regulation on mobile working, for that the procedure was updated and the responsibility of the equal opportunity officers was integrated. The institute's health man-agement system was also further expanded: in 2021, for example, a sports room was set up at the IAP.

The equality plan signed by the directorate in 2019 will be evaluated after 4 years. All further measures will be adjusted in cooperation with the Equal Opportunities Officer and her deputy as needed. This is documented in an annual report, which is forwarded to and reviewed by “berufundfamilie” Service gmbh.

The library of the IAP, a central literature service facility for the scientific staff of the institute, is managed as an OPL (One Person Library) and maintains regional and national contact with other institutes and library facilities. It is also a member of the Working Group Libraries and Information Institutions and the Working Group Open Access of the Leibniz Association. It is an information and research service for the efficient cov-erage of the information needs of the researchers at the insti-tute. The library is also open to students and employees of the University of Rostock for professional and personal development.

GREMIEN BOARDS

KURATORIUM BOARD OF TRUSTEES

HOLGER WANDSLEB

Vorsitzender
seit 2017

Ministerium für Wissenschaft, Kultur, Bundes- und
Europaangelegenheiten Mecklenburg-Vorpommern

PROF. DR. RENÉ HAAK

Stellvertretender Vorsitzender
bis 2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung Bonn

DR. SVENJA KRUSE

stellvertretende Vorsitzende
seit 2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung Bonn

PROF. DR. KLAUS NEYMEYR

seit 2014

Universität Rostock, Dekan der Math.-Nat. Fakultät

PROF. DR. HANS PETER SCHMID

seit 2016

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für
Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische
Umweltforschung Garmisch-Partenkirchen

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT SCIENTIFIC ADVISORY BOARD

PROF. DR. MARKUS REX

Vorsitzender
seit 2021

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für
Polar- und Meeresforschung Potsdam

PROF. DR. KATJA MATTHES

Vorsitzende
bis 2021

Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel GEOMAR

DR. STEPHAN BUCHERT

Swedish Institute of Space Physics Uppsala

PROF. DR. GEORGE CRAIG

Meteorologisches Institut der Universität München

PROF. DR. JOACHIM CURTIUS

J. W. Goethe-Universität Frankfurt, Institut für
Atmosphäre und Umwelt

PROF. DR. RALF KOPPMANN

Bergische Universität Wuppertal, Institut für
Atmosphären- und Umweltforschung

PROF. DR. JENS OBERHEIDE

bis 2021

Clemson University, Department of Physics and Astronomy

PROF. DR. CLAUDIA STOLLE

bis 2021

Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches
GeoForschungsZentrum GFZ

PROF. DR. MAY-BRITT KALLENRODE

Präsidentin der Stiftung Universität Hildesheim

PROF. DR. JUSTUS NOTHOLT

Universität Bremen, Institut für Umweltphysik

PROF. DR. SUSANNE CREWELL

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und
Meteorologie

MITGLIEDERVERSAMMLUNG BOARD OF MEMBERS

PROF. DR. KARL-HEINZ MEIWES-BROER

Vorsitzender

Universität Rostock, Institut für Physik

PROF. DR. STEFAN LOCHBRUNNER

Universität Rostock, Institut für Physik

HOLGER WANDSLEB

Ministerium für Wissenschaft, Kultur, Bundes- und
Europaangelegenheiten Mecklenburg-Vorpommern

PROF. DR. RENÉ HAAK

bis 2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung Bonn

DR. SVENJA KRUSE

seit 2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung Bonn

OLIVER BRÜNNICH

Norwegischer Honorarkonsul, Stadtwerke AG Rostock

RÜDIGER KOZIAN

Stadt Kühlungsborn, Bürgermeister

RAINER KARL

Kühlungsborn

PROF. DR. ALFRED LEDER

Kühlungsborn

PROF. DR. FRANZ-JOSEF LÜBKEN

bis 2021

Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik Kühlungsborn

PROF. DR. RONALD REDMER

Universität Rostock, Institut für Physik

UTE SCHMIDT

Schulzentrum Kühlungsborn, Schulleiterin

KNUT WIEK

Kühlungsborn

PROF. DR. CLAUDIA STOLLE

seit 2021

PERSONAL UND BUDGET

PERSONNEL AND BUDGET

In den Jahren 2020 und 2021 konnte das IAP mit einem Gesamtbudget von insgesamt 8,09 Mio. € bzw. 8,72 Mio. € wirtschaften. Land und Bund haben davon jeweils zur Hälfte mit einer institutionellen Förderung in Höhe von 6,86 Mio. € bzw. 6,97 Mio. € den größten Anteil getragen.

Neben der institutionellen Förderung kamen Erträge aus Zuwendungen zur Projektfinanzierung in Höhe von 1,23 Mio. € bzw. 1,75 Mio. € dazu. Größter Drittmittelgeber waren neben BMBF, EU und SAW, die DFG und das DLR. Weitere Erträge wurden aus eigenen Mitteln generiert, vor allem aus der Vermietung des Sendemastes in Juliusruh an die drei großen Telefonanbieter DFMG, Vodafone und Telefonica und aus der Vermietung von Gästewohnungen. Rund 2/3 der institutionellen Förderung stehen dem Institut für Personal- und Sachmittel zur Verfügung.

Das IAP hatte in den Jahren 2020 und 2021 einen durchschnittlichen Personalbestand von 68 Mitarbeitenden, wovon durchschnittlich 47 % befristet waren. Das IAP legt großen Wert auf Internationalität. So sind rund 29 % der Beschäftigten international.

Die räumliche Ausstattung des IAP ist sehr gut. Neben der üblichen Infrastruktur (Hauptgebäude mit Labor und Büroräumen, Tagungs- und Verwaltungsgebäude, IT-Gebäude, Werkstatt) verfügt das IAP über eine Mehrzahl besonderer Infrastruktureinheiten. Hierzu gehört neben dem Hauptsitz im Ostseebad Kühlungsborn die Außenstelle in Juliusruh mit einem über 60 Jahre alten außergewöhnlichen Stahlgittermast. Weiterhin beteiligt sich das IAP maßgeblich am Betrieb des geophysikalischen Observatoriums ALOMAR auf der Insel Andøya in Nordnorwegen. In Kühlungsborn besitzt und betreibt das Institut zwei Gästeappartements für Gastwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler

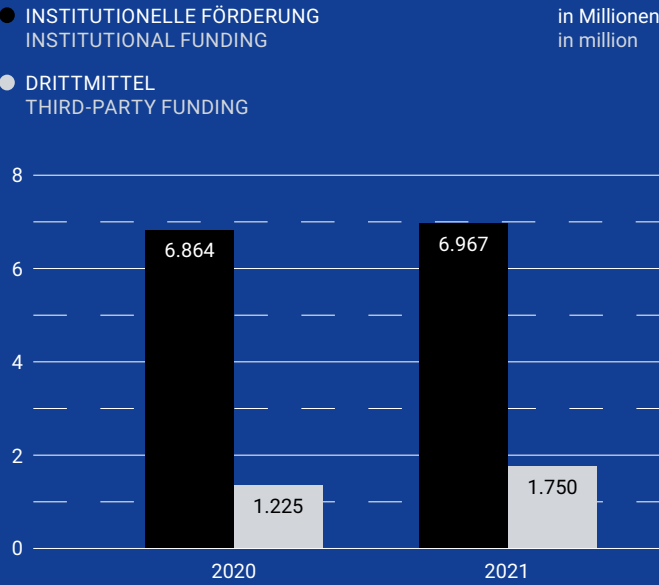
In 2020 and 2021, IAP operated with a total budget of € 8.09 million and € 8.72 million respectively. The state and federal governments each provided half of the institutional funding of € 6.86 million and of € 6.97 million, respectively.

In addition to institutional funding, income from grants for project funding totaled by € 1.23 million and by € 1.75 million. In addition to the BMBF, EU and SAW, the DFG and DLR were the largest providers of third-party funding. Further income was generated from our own funds, mainly from the leasing of the transmission tower in Juliusruh to the three major telephone providers DFMG, Vodafone and Telefonica and from the leasing of guest apartments. About 2/3rd of the institutional

funding is available for personnel and material resources. IAP had an average staff number of 68 in 2020 and 2021, of which an average of 47 % were on fixed-term contract. The IAP emphasizes on internationality. Thus, about 29 % of the employees are international.

The facility equipment of the IAP is very good. In addition to the regular infrastructure (main building with laboratory and offices, conference and administration building, IT building, workshop etc.) IAP operates a number of special infrastructure units. In addition to the headquarters in the Baltic Sea resort of Kühlungsborn, these include the branch office in Juliusruh with an extraordinary steel lattice mast that is over 60 years old. Furthermore, IAP is significantly involved in the operation of the geophysical observatory ALOMAR on the island of Andøya in northern Norway. In Kühlungsborn, the institute owns and operates two guest apartments for visiting scientists.

Budget / Budget



Personal / Personnel

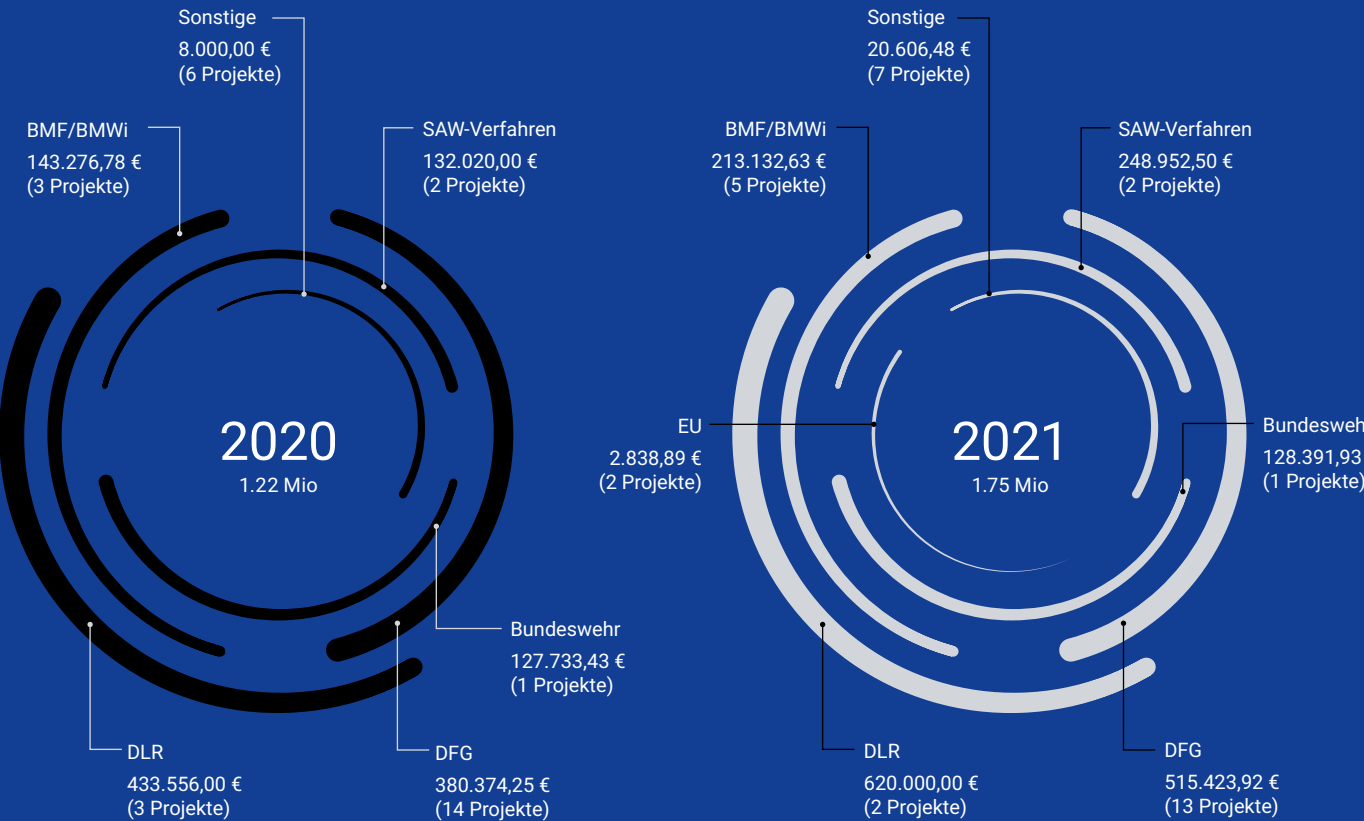


DRITTMITTELPROJEKTE

THIRD-PARTY FUNDING

Zusätzlich zur Grundfinanzierung erhalten wir durch Einwerbung unserer Forschenden weitere finanzielle Mittel als Drittfinanzierung aus Projektzuschüssen. Die durchschnittlichen jährlichen Einnahmen daraus lagen zwischen den Jahren 2020 und 2021 bei durchschnittlich 1,5 Mio. €. Die größten Beträge wurden vom DLR (rd. 35 %) und der DFG (rd. 30 %) eingeworben. Die Verteilung dieser Einnahmen ist in der unteren Abbildung dargestellt. Wir planen, uns weiterhin um Fördermittel von den unten genannten Stellen zu bemühen. Darüber hinaus werden wir unsere externe Finanzierung durch andere Organisationen wie von der EU und der ESA weiter ausbauen.

In addition to the basic funding, we receive further financial resources as third-party funding from project grants applied for by our scientific staff. The average annual income between the years 2020 and 2021 was € 1,5 million. The largest amounts were raised from DLR (approx. 35 %) and the DFG (approx. 30 %). The distribution of these revenues is shown in the figure below. We plan to continue to seek funding from the agencies listed below. In addition, we will continue to expand our external funding from other organizations such as from the EU and ESA.



VERÖFFENT- LICHUNGEN PUBLICATIONS

2020

Akbas, M., Gallouët, T., Gassmann, A., Linke, A., and Merdon, C.: [A gradient-robust well-balanced scheme for the compressible isothermal Stokes problem](#), Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 36, 113069, doi: [10.1016/j.cma.2020.113069](#), 2020.

Amiramjadi, M., Mohebalhojeh, A. R., Mirzaei, M., Züllicke, C., and Plougonven, R.: [The Spatiotemporal Variability of Nonorographic Gravity Wave Energy and Relation to Its Source Functions](#), Monthly Weather Review, 148, 4837-4857, doi: [10.1175/MWR-D-20-0195.1](#), 2020.

Avsarkisov, V.: [On the Buoyancy Subrange in Stratified Turbulence](#), Atmosphere, 11, 659, doi: [10.3390/atmos11060659](#), 2020.

Becker, E. and Vadas, S. L.: [Explicit global simulation of gravity waves in the thermosphere](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2020JA028034, doi: [10.1029/2020JA028034](#), 2020.

Becker, E., Grygalashvyly, M., and Sonnemann, G.R.: [Gravity wave mixing effects on the OH*-layer](#), Advances in Space Research, 65, 175-188, doi: [10.1016/j.asr.2019.09.043](#), 2020.

Bossert, K., Vadas, S. L., Hoffmann, L., Becker, E., Harvey, V. L., and Bramberger, M.: [Observations of stratospheric gravity waves over Europe on 12 January 2016: The role of the polar night jet](#), Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125, e2020JD032893, doi: [10.1029/2020JD032893](#), 2020.

Chau, J. L., Urco, J. M., Avsarkisov, V., Vierinen, J. P., Latteck, R., Hall, C. M., and Tsutsumi, M.: [Four-dimensional quantification of Kelvin-Helmholtz instabilities in the polar summer mesosphere using volumetric radar imaging](#), Geophysical Research Letters, 47, e2019GL086081, doi: [10.1029/2019GL086081](#), 2020.

Daly, S. M., Feng, W., Mangan, T. P., Gerding, M., and Plane, J. M. C.: [The Meteoric Ni Layer in the Upper Atmosphere](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2020JA028083, doi: [10.1029/2020JA028083](#), 2020.

Eixmann, R., Matthias, V., Höffner, J., Baumgarten, G., and Gerding, M.: [Local stratopause temperature variabilities and their embedding in the global context](#), Ann. Geophys., 38, 373 – 383, [10.5194/angeo-38-373-2020](#), 2020.

Ferreira, A. A., Borries, C., Xiong, C., Borges, R. A., Mielich, J., and Kouba, D.: [Identification of potential precursors for the occurrence of Large-Scale Traveling Ionospheric Disturbances in a case study during September 2017](#), J. Space Weather Space Clim., 10, 32, doi: [10.1051/swsc/2020029](#), 2020.

Forbes, J. M., He, M., Maute, A., and Zhang, X.: [Ultrafast Kelvin wave variations in the surface magnetic field](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2020JA028488, doi: [10.1029/2020JA028488](#), 2020.

Grygalashvyly, M. and Sonnemann, G.R.: [Note on consistency between Kalogerakis–Sharma Mechanism \(KSM\) and two-step mechanism of atmospheric band emission \(762 nm\)](#), Earth Planets Space 72, 187, doi: [10.1186/s40623-020-01321-z](#), 2020.

Haghighatnasab, M., Mirzaei, M., Mohebalhojeh, A. R., Züllicke, C., and Plougonven, R.: [Application of the Compressible, Non-hydrostatic, Balanced Omega Equation in Estimating Diabatic Forcing for Parameterization of Inertia–Gravity Waves: Case Study of Moist Baroclinic Waves Using WRF](#), Journal of the Atmospheric Sciences, 77, 113-129, doi: [10.1175/JAS-D-19-0039.1](#), 2020.

He, M., Forbes, J. M., Chau, J. L., Li, G., Wan, W., and Korotyshkin, D. V.: [High-order solar migrating tides quench at SSW onsets](#), Geophysical Research Letters, 47, e2019GL086778, doi: [10.1029/2019GL086778](#), 2020.

He, M., Chau, J. L., Forbes, J. M., Thorsen, D., Li, G., Siddiqui, T. A., Yamazaki, Y. and Hocking, W. K.: [Quasi-10-day wave and semidiurnal tide nonlinear interactions during the Southern Hemispheric SSW 2019 observed in the Northern Hemispheric mesosphere](#), Geophysical Research Letters, 47, e2020GL091453, doi: [10.1029/2020GL091453](#), 2020.

He, M., Yamazaki, Y., Hoffmann, P., Hall, C. M., Tsutsumi, M., Li, G., and Chau, J. L.: [Zonal wave number diagnosis of Rossby wave-like oscillations using paired ground-based radars](#), Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125, e2019JD031599, doi: [10.1029/2019JD031599](#), 2020.

Jonah, O. F., Goncharenko, L., Erickson, P. J., Zhang, S., Coster, A., Chau, J. L., de Paula, E. R., Rideout, W.: [Anomalous behavior of the equatorial ionization anomaly during the 2 July 2019 solar eclipse](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2020JA027909, doi: [10.1029/2020JA027909](#), 2020.

Koushik, N., Kumar, K.K., Ramkumar, G., K. V. Subrahmanyam, G. K. Kumar, Hocking, W. K., He, M., and Latteck, R.: [Planetary waves in the mesosphere lower thermosphere during stratospheric sudden warming: observations using a network of meteor radars from high to equatorial latitudes](#), Climate Dynamics, 54, 4059–4074, doi: [10.1007/s00382-020-05214-5](#), 2020.

Mazur, M., Pokorný, P., Brown, P., Weryk, R. J., Vida, D., Schult, C., Stober, G., and Agrawal, A.: [Precision measurements of radar transverse scattering speeds from meteor phase characteristics](#), Radio Science, 55, e2019RS006987, doi: [10.1029/2019RS006987](#), 2020.

Reyes, P. M., Kudeki, E., Lehmacher, G. A., Chau, J. L., and Milla, M. A.: [VIPIR and 50 MHz radar studies of gravity wave signatures in 150km echoes observed at Jicamarca](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2019JA027535, doi: [10.1029/2019JA027535](#), 2020.

von Savigny, C., Baumgarten, G., and Lübken, F.-J.: [Noctilucent Clouds: General Properties and Remote Sensing](#), In: Kokhanovsky, A., Tomasi, C. (eds) Physics and Chemistry of the Arctic Atmosphere, Springer Polar Sciences, Springer, Cham, doi: [10.1007/978-3-030-33566-3_8](#), 2020.

Schäfer, B., Baumgarten, G., and Fiedler, J.: [Small-scale structures in noctilucent clouds observed by lidar](#), Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 208, 105384, doi: [10.1016/j.jastp.2020.105384](#), 2020.

Schult, C., Stober, G., Brown, P., Pokorný, P., and Campbell-Brown, M.: [Characteristics of very faint \(+16\) meteors detected with the Middle Atmosphere ALOMAR Radar System \(MAARSY\)](#), Icarus, 340, 113444, doi: [10.1016/j.icarus.2019.113444](#), 2020.

Sonnemann, G.R. and Grygalashvyly, M.: [The slow-down effect in the nighttime mesospheric chemistry of hydrogen radicals](#), Advances in Space Research, 65, 2800-2807, doi: [10.1016/j.asr.2020.03.025](#), 2020.

Stephan, C. C., Schmidt, H., Zuelicke, C., and Matthias, V.: [Oblique gravity wave propagation during sudden stratospheric warmings](#), Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125, e2019JD031528, doi: [10.1029/2019JD031528](#), 2020.

Stober, G., Baumgarten, K., McCormack, J. P., Brown, P., and Czarnecki, J.: [Comparative study between ground-based observations and NAVGEMHA analysis data in the mesosphere and lower thermosphere region](#), Atmos. Chem. Phys., 20, 11979–12010, doi: [10.5194/acp-20-11979-2020](#), 2020.

Strelnikova, I., Baumgarten, G., and Lübken, F.-J.: [Advanced hodograph-based analysis technique to derive gravity-wave parameters from lidar observations](#), Atmos. Meas. Tech., 13, 479–499, doi: [10.5194/amt-13-479-2020](#), 2020.

Zalach, J., von Savigny, C., Langenbach, A., Baumgarten, G., Lübken, F.-J., and Bourassa, A. A.: [Method for Retrieving Stratospheric Aerosol Extinction and Particle Size from Ground-Based Rayleigh-Mie-Raman Lidar Observations](#), Atmosphere, 11, 773, doi: [10.3390/atmos11080773](#), 2020.

2021

Borovička, J., Bettonvil, F., Baumgarten, G., Strunk, J., Hankey, M., Spurný, P. and Heinlein, D.: [Trajectory and orbit of the unique carbonaceous meteorite Flensburg](#), Meteorit Planet Sci, 56, 425-439, doi: [10.1111/maps.13628](#), 2021.

Chau, J. L., Urco, J. M., Vierinen, J., Harding, B. J., Clahsen, M., Pfeffer, N., Kuyeng, K. M., Milla, M. A., and Erickson, P. J.: [Multistatic specular meteor radar network in Peru: System description and initial results](#), Earth and Space Science, 8, e2020EA001293, doi: [10.1029/2020EA001293](#), 2021.

Chau, J. L., Marino, R., Feraco, F., Urco, J. M., Baumgarten, G., Lübken, F.-J., Hocking, W. K., Schult, C., Renkwitz, T., and Latteck, R.: [Radar observation of extreme vertical drafts in the polar summer mesosphere](#), Geophysical Research Letters, 48, e2021GL094918, doi: [10.1029/2021GL094918](#), 2021.

Chernigovskaya, M.A., Shpynev, B.G., Yasyukevich, A.S., Khabituiev, D.S., Ratovsky, K.G., Belinskaya, A.Yu., Stepanov, A.E., Bychkov, V.V., Grigorieva, S.A., Panchenko, V.A., Kouba, D., and Mielich, J.: [Longitudinal variations of geomagnetic and ionospheric parameters in the Northern Hemisphere during magnetic storms according to multi-instrument observations](#), Advances in Space Research, 67, 762-776, doi: [10.1016/j.asr.2020.10.028](#), 2021.

Conte, J. F., Chau, J. L., Urco, J. M., Latteck, R., Vierinen, J., and Salvador, J. O.: [First studies of mesosphere and lower thermosphere dynamics using a multistatic specular meteor radar network over southern Patagonia](#), Earth and Space Science, 8, e2020EA001356, doi: [10.1029/2020EA001356](#), 2021.

Fang, K., Yao, Q., Guo, Z., Zheng, B., Du, J., Qi, F., Yan, P., Li, J., Ou, T., Liu, J., He, M., and Trouet, V.: [ENSO modulates wild-fire activity in China](#), Nature Communications, 12, 1764, doi: [10.1038/s41467-021-21988-6](#), 2021.

Feraco, F. M., Marino, R., Primavera, L., Pumir, A., Mininni, P. D., Rosenberg, D., Pouquet, A., Foldes, R., Lévêque, E., Camporeale, E., Cerri, S., Charuvil Asokan, H., Chau, J. L., Bertoglio, J. P., Salizzoni, P., and Marro, M.: [Connecting large-scale velocity and temperature bursts with small-scale intermittency in stratified turbulence](#), Europhysics Letters, doi: [10.1209/0295-5075/135/14001](#), 2021.

Forbes, J. M., Heelis, R., Zhang, X., Englert, C. R., Harding, B. J., He, M., Chau, J. L., Stoneback, R., Harlander, J. M., Marr, K. D., Makela, J. J., and Immel, T. J.: [Q2DW-tide and -ionosphere interactions as observed from ICON and ground-based radars](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2021JA029961, doi: [10.1029/2021JA029961](#), 2021.

Gandía-Barberá, S., Alcántara-Avila, F., Hoyas, S., and Avsarkisov, V.: [Stratification effect on the extreme-scale rolls in the plane Couette flows](#), Physical Review Fluids, 6, 034605, doi: [10.1103/PhysRevFluids.6.034605](#), 2021.

Gassmann, A.: [Inherent dissipation of upwind-biased potential temperature advection and its feedback on model dynamics](#), Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 13, e2020MS002384, doi: [10.1029/2020MS002384](#), 2021.

Geldenhuys, M., Preusse, P., Krisch, I., Züllicke, C., Ungermann, J., Ern, M., Friedl-Vallon, F., and Riese, M.: [Orographically induced spontaneous imbalance within the jet causing a large-scale gravity wave event](#), Atmos. Chem. Phys., 21, 10393–10412, doi: [10.5194/acp-21-10393-2021](#), 2021.

Gerding, M., Baumgarten, G., Zecha, M., Lübken, F.-J., Baumgarten, K., and Latteck, R.: [On the unusually bright and frequent noctilucent clouds in summer 2019 above Northern Germany](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 217, 105577, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105577](#), 2021.

Grygalashvyly, M., Strelnikov, B., Eberhart, M., Hedin, J., Khaplanov, M., Gumbel, J., Rapp, M., Lübken, F.-J., Löhle, S., and Fasoulas, S.: [Nighttime O\(1D\) and corresponding atmospheric band emission \(762 nm\) derived from rocket-borne experiment](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 213, 105522, doi: [10.1016/j.jastp.2020.105522](#), 2021.

Grygalashvyly, M., Pogoreltsev, A. I., Andreyev, A. B., Smyshlyaev, S. P., and Sonnemann, G. R.: [Semi-annual variation of excited hydroxyl emission at mid-latitudes](#), Ann. Geophys., 39, 255–265, doi: [10.5194/angeo-39-255-2021](#), 2021.

Harding, B. J., Chau, J. L., He, M., Englert, C. R., Harlander, J. M., Marr, K. D., Makela, J. J., Clahsen, M., Li, G., Ratnam, M. V., Rao, S. V. B., Wu, Y.-J., England, S. L., and Immel, T. J.: [Validation of ICON-MIGHTI thermospheric wind observations: 2. Green-line comparisons to specular meteor radars](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028947, doi: [10.1029/2020JA028947](#), 2021.

He, M., Forbes, J. M., Li, G., Jacobi, C., and Hoffmann, P.: [Mesospheric Q2DW interactions with four migrating tides at 53°N latitude: Zonal wavenumber identification through dual-station approaches](#), Geophysical Research Letters, 48, e2020GL092237, doi: [10.1029/2020GL092237](#), 2021.

He, M., Chau, J. L., Forbes, J. M., Zhang, X., Englert, C. R., Harding, B. J., Immel, T. J., Lima, L. M., Vijaya Bhaskar Rao, S., Venkat Ratnam, M., Li, G., Harlander, J. M., Marr, K. D., and Makela, J. J.: [Quasi-2-day wave in low-latitude atmospheric winds as viewed from the ground and space during January – March, 2020](#), Geophysical Research Letters, 48, e2021GL093466, doi: [10.1029/2021GL093466](#), 2021.

He, M., Vogt, J., Dubinin, E., Zhang, T., and Rong, Z.: [Spatially Highly Resolved Solar-wind-induced Magnetic Field on Venus](#), The Astrophysical Journal, 923, 73, doi: [10.3847/1538-4357/ac2836](#), 2021.

Höffner, J., Froh, J., Mense, T., Mauer, A., Strotkamp, M., Munk, A., Jungbluth, B., and Hoffmann, H.-D.: [Ground-based general-purpose Doppler lidar: A technology for Doppler aerosol measurements and beyond](#), International Conference on Space Optics, 11852, doi: [10.1117/12.2599364](#), 2021. not reviewed

Huang, J., Kang, S., Tang, W., He, M., Guo, J., Zhang, Q., Yin, X., and Tripathi, L.: [Contrasting changes in long-term wet mercury deposition and socioeconomic development in the largest city of Tibet](#), Science of The Total Environment, 804, 150124, doi: [10.1016/j.scitotenv.2021.150124](#), 2021.

Huyghebaert, D., McWilliams, K., Hussey, G., Galeschuk, D., Chau, J. L., and Vierinen, J.: [Determination of the azimuthal extent of coherent Eregion scatter using the ICE-BEAR linear receiver array](#), Radio Science, 56, e2020RS007191, doi: [10.1029/2020RS007191](#), 2021.

Iimura, H., Fritts, D. C., Lieberman, R. S., Janches, D., Mitchell, N. J., Franke, S. J., Singer, W., Hocking, W. K., Taylor, M. J., and Moffat-Griffin, T.: [Climatology of quasi-2-day wave structure and variability at middle latitudes in the northern and southern hemispheres](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 221, 105690, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105690](#), 2021.

Latteck, R., Renkowitz, T., and Chau, J. L.: [Two decades of long-term observations of polar mesospheric echoes at 69°N](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 216, 105576, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105576](#), 2021.

Li, Q., Liu, L., He, M., Huang, H., Zhong, J., Yang, N., Zhang, M.-L., Jiang, J., Chen, Y., Le, H., and Cui, J.: [A global empirical model of electron density profile in the F region ionosphere basing on COSMIC measurements](#), Space Weather, 19, e2020SW002642, doi: [10.1029/2020SW002642](#), 2021.

Liu, J., Zhang, D., Goncharenko, L. P., Zhang, S.-R., He, M., Hao, Y., and Xiao, Z.: [The latitudinal variation and hemispheric asymmetry of the ionospheric lunitidal signatures in the American sector during major sudden stratospheric warming events](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028859, doi: [10.1029/2020JA028859](#), 2021.

Lübken, F.-J., Baumgarten, G., and Berger, U.: Long term trends of mesospheric ice layers: [A model study](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 105378, doi: [10.1016/j.jastp.2020.105378](#), 2021.

Lübken, F.-J. and Höffner, J.: [VAHCOLI, a new concept for lidars: technical setup, science applications, and first measurements](#), Atmos. Meas. Tech., 14, 3815–3836, doi: [10.5194/amt-14-3815-2021](#), 2021.

Macotela, E. L., Clilverd, M., Renkowitz, T., Chau, J., Manninen, J., and Banyś, D.: [Spring-fall asymmetry in VLF amplitudes recorded in the North Atlantic region: The fall-effect](#), Geophysical Research Letters, 48, e2021GL094581, doi: [10.1029/2021GL094581](#), 2021.

McCullough, E. M., Wing, R., and Drummond, J. R.: [The relationship between clouds containing multiple layers 7.5-30 m thick and surface weather conditions](#), Atmosphere, 12, doi: [10.5683/SP2/ST9YSB](#), 2021.

Mondal, S., Sivakandan, M., Sarkhel, S., Sunil Krishna, M.V., Mlynczak, M. G., Russell III, J. M., and Bharti, G.: [A case study of a thermally ducted undular mesospheric bore accompanied by ripples over the western Himalayan region](#), Adv. Space Res., 68, 1425-1440, doi: [10.1016/j.asr.2021.03.026](#), 2021.

Mošna, Z., Edemskiy, I., Laštovička, J., Kozubek, M., Koucká Knížová, P., Kouba, D., and Siddiqui, T.A.: [Observation of the Ionosphere in Middle Latitudes during 2009, 2018 and 2018/2019 Sudden Stratospheric Warming Events](#), Atmosphere, 12, 602, doi: [10.3390/atmos12050602](#), 2021.

Munk, A., Strotkamp, M., Jungbluth, B., Froh, J., Mense, T., Mauer, A., and Höffner, J.: [Rugged diode-pumped Alexandrite laser as an emitter in a compact mobile lidar system for atmospheric measurements](#), Appl. Optics, 60, 4668-4679, doi: [10.1364/AO.422634](#), 2021.

Pedatella, N. M., Liu, H.-L., Conte, J. F., Chau, J. L., Hall, C., Jacobi, C., Mitchell, N., and Tsutsumi, M.: [Migrating semi-diurnal tide during the September equinox transition in the Northern Hemisphere](#), Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 126, e2020JD033822, doi: [10.1029/2020JD033822](#), 2021.

Plane, J. M. C., Daly, S. M., Feng, W., Gerding, M., and Gomez Martin, J. C.: [Meteor-ablated aluminum in the mesosphere-lower thermosphere](#). Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028792, doi: [10.1029/2020JA028792](#), 2021.

Rapp, M., Kaifler, B., Dörnbrack, A., Gisinger, S., Mixa, T., Reichert, R., Kaifler, N., Knobloch, S., Eckert, R., Wildmann, N., Giez, A., Krasauskas, L., Preusse, P., Geldenhuys, M., Riese, M., WoIWode, W., Friedl-Vallon, F., Sinnhuber, B., Torre, A. d. I., Alexander, P., Hormaechea, J. L., Janches, D., Garhammer, M., Chau, J. L., Conte, J. F., Hoor, P., and Engel, A.: [SOUTHTRAC-GW: An Airborne Field Campaign to Explore Gravity Wave Dynamics at the World's Strongest Hotspot](#), Bulletin of the American Meteorological Society, 102, 871-893, doi: [10.1175/BAMS-D-20-0034.1](#), 2021.

Renkowitz, T., Latteck, R., Strelnikova, I., Johnsen, M. G., and Chau, J. L.: [Characterization of polar mesospheric VHF radar echoes during solar minimum winter 2019/2020. part I: Ionisation](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 105684, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105684](#), 2021.

Schult, C., Kero, J., Stober, G., and Brown, P.: [Dual frequency measurements of meteor head echoes simultaneously detected with the MAARSY and EISCAT radar systems](#), Icarus, 355, 114137, doi: [10.1016/j.icarus.2020.114137](#), 2021.

Siddiqui, T. A., Yamazaki, Y., Stolle, C., Maute, A., Laštovička, J., Edemskiy, I. K., Mošna, Z., and Sivakandan, M.: [Understanding the total electron content variability over Europe during 2009 and 2019 SSWs](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028751, doi: [10.1029/2020JA028751](#), 2021.

Sivakandan, M., Otsuka, Y., Ghosh, P., Shinagawa, H., Shinbori, A., and Miyoshi, Y.: [Comparison of seasonal and longitudinal variation of daytime MSTID activity using GPS observation and GAIA simulations](#), Earth Planets Space 73, 35, doi: [10.1186/s40623-021-01369-5](#), 2021.

Sivakandan, M., Mondal, S., Sarkhel, S., Chakrabarty, D., Sunil Krishna, M. V., Upadhayaya, A. K., Shinbori, A., Sori, T., Kannaujiya, S., and Champati Ray, P. K.: [Evidence for the insitu generation of plasma depletion structures over the transition region of geomagnetic low-mid latitude](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2020JA028837, doi: [10.1029/2020JA028837](#), 2021.

Söder, J., Zülicke, C., Gerding, M., and Lübken, F.-J.: [High-resolution observations of turbulence distributions across tropopause folds](#), Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 126, e2020JD033857, doi: [10.1029/2020JD033857](#), 2021.

Stamm, J., Vierinen, J., Urco, J. M., Gustavsson, B., and Chau, J. L.: [Radar imaging with EISCAT 3D](#), Ann. Geophys., 39, 119–134, doi: [10.5194/angeo-39-119-2021](#), 2021.

Staszak, T., Strelnikov, B., Latteck, R., Renkowitz, T., Friedrich, M., Baumgarten, G., and Lübken, F.-J.: [Turbulence generated small-scale structures as PMWE formation mechanism: Results from rocket campaign](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 217, 105559, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105559](#), 2021.

Strelnikov, B., Staszak, T., Latteck, R., Renkowitz, T., Strelnikova, I., Lübken, F.-J., Baumgarten, G., Fiedler, J., Chau, J. L., Stude, J., Rapp, M., Friedrich, M., Gumbel, Jörg, Hedin, J., Belova, E., Hörschgen-Eggers, M., Giono, G., Hörner, I., Löhle, S., Eberhart, M., and Fasoulas, S.: [Sounding rocket project “PMWE” for investigation of polar mesosphere winter echoes](#), J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 218, 105596, doi: [10.1016/j.jastp.2021.105596](#), 2021.

Strelnikova, I., Almowafy, M., Baumgarten, G., Baumgarten, K., Ern, M., Gerding, M., and Lübken, F.: [Seasonal Cycle of Gravity Wave Potential Energy Densities from Lidar and Satellite Observations at 54° and 69°N](#), Journal of the Atmospheric Sciences, 78, 1359-1386, doi: [10.1175/JAS-D-20-0247.1](#), 2021.

Stude, J., Aufmhoff, H., Schlager, H., Rapp, M., Arnold, F., and Strelnikov, B.: [A novel rocket-borne ion mass spectrometer with large mass range: instrument description and first-flight results](#), Atmos. Meas. Tech., 14, 983–993, doi: [10.5194/amt-14-983-2021](#), 2021.

Tacza, J., Nicoll, K. A., Macotela, E. L., Kubicki, M., Odzimek, A., and Manninen, J.: [Measuring global signals in the potential gradient at high latitude sites](#), Front. Earth Sci., 8, 614639, doi: [10.3389/feart.2020.614639](#), 2021.

Vargas, F., Chau, J. L., Charuvil Asokan, H., and Gerding, M.: [Mesospheric gravity wave activity estimated via airglow imagery, multistatic meteor radar, and SABER data taken during the SIMONE–2018 campaign](#), Atmos. Chem. Phys., 21, 13631–13654, doi: [10.5194/acp-21-13631-2021](#), 2021.

Volz, R., Chau, J. L., Erickson, P. J., Vierinen, J. P., Urco, J. M., and Clahsen, M.: [Four-dimensional mesospheric and lower thermospheric wind fields using Gaussian process regression on multistatic specular meteor radar observations](#), Atmos. Meas. Tech., 14, 7199–7219, doi: [10.5194/amt-14-7199-2021](#), 2021.

Ward, W., Seppälä, A., Yiğit, E., Nakamura, T., Stolle, C., Laštovička, J., Woods, T. N., Tomikawa, Y., Lübken, F.-J., Solomon, S., Marsh, D. R., Funke, B., and Pallamraju, D.: [Role Of the Sun and the Middle atmosphere/thermosphere/ionosphere In Climate \(ROSMIC\): a retrospective and prospective view](#), Prog Earth Planet Sci 8, 47, doi: [10.1186/s40645-021-00433-8](#), 2021.

Wing, R., Godin-Beekmann, S., Steinbrecht, W., McGee, T. J., Sullivan, J. T., Khaykin, S., Sumnicht, G., and Twigg, L.: [Evaluation of the new DWD ozone and temperature lidar during the Hohenpeißenberg Ozone Profiling Study \(HOPS\) and comparison of results with previous NDACC campaigns](#), Atmos. Meas. Tech., 14, 3773–3794, doi: [10.5194/amt-14-3773-2021](#), 2021.

Wing, R., Martić, M., Triplett, C., Hauchecorne, A., Porteneuve, J., Keckhut, P., Courcoux, Y., Yung, L., Retailleau, P., Cocuron, D.: [Gravity Wave Breaking Associated with Mesospheric Inversion Layers as Measured by the Ship-Borne BEM Monge Lidar and ICON-MIGHTI](#), Atmosphere, 12, 1386, doi: [10.3390/atmos12111386](#), 2021.

Winkler, H., Yamada, T., Kasai, Y., Berger, U., and Notholt, J.: [Model simulations of chemical effects of sprites in relation with observed HO2 enhancements over sprite-producing thunderstorms](#), Atmos. Chem. Phys., 21, 7579–7596, doi: [10.5194/acp-21-7579-2021](#), 2021.

Xiong, C., Stolle, C., Michaelis, I., Lühr, H., Zhou, Y., Wang, H., Kervalishvili, G., and Rauberg, J.: [Correlation analysis of field-aligned currents from the magnetic measurements of GRACE follow-on mission](#), Earth Planets Space 73, 206, doi: [10.1186/s40623-021-01540-y](#), 2021.

Yu, T., Wang, W., Ren, Z., Yue, J., Yue, X., and He, M.: [Middle-low latitude neutral composition and temperature responses to the 20 and 21 November 2003 superstorm from GUVI dayside limb measurements](#), Journal of Geo-physical Research: Space Physics, 126, e2020JA028427, doi: [10.1029/2020JA028427](#), 2021.

Yu, T., Wang, W., Ren, Z., Cai, X., Yue, X., and He, M.: [The response of middle thermosphere \(160 km\) composition to the November 20 and 21, 2003 superstorm](#), Journal of Geophysical Research: Space Physics, 126, e2021JA029449, doi: [10.1029/2021JA029449](#), 2021.

DOKTOR- UND MASTERARBEITEN

DOCTORATE AND MASTER THESES

2020

DOKTORARBEITEN

PHD THESES

Soeder, J.: Turbulence Observations on Soundings Balloons: Geophysical Interpretations based on Instrumental Revisions, Universität Rostock

Schmidt, F.: 3-D numerische Modellierung polarer mesosphärischer Eisschichten, Universität Rostock

Langenbach, A.: Untersuchung der stratosphärischen Aerosolschicht über Nordnorwegen mit dem ALOMAR RMR Lidar, Universität Rostock



Arvid Langenbach



Jens Söder



Francie Schmidt



Jan Froh



Miguel Urco

2021

DOKTORARBEITEN

PHD THESES

Staszak, T.: Simultaneous in situ and ground-based common-volume measurements for the investigation of the formation mechanism of Polar Mesosphere Winter Echoes, Universität Rostock

Froh, J.: Entwicklung spektraler Messmethoden für Doppler-Lidar, Universität Rostock

Urco Cordero J. M. E.: Beyond the spatio-temporal limits of atmospheric radars: Inverse problem techniques and MIMO systems, Universität Rostock

MASTERARBEITEN

MASTER THESES

Mary Roy R.: Investigation of Non-Gaussian Characteristics in SIMONe Germany Meteor System, Hochschule Wismar

Vijayalekshmi Harikumar A.: Investigation of particle precipitation events in the ionospheric D region and below, Hochschule Wismar



Tristan Staszak

KOOPERATIONEN COOPERATIONS

Die Universität Rostock ist der Hauptkooperationspartner des IAP. Die Kooperation umfasst: (a) Professuren aller drei IAP-Abteilungsleiter und der Direktorin; (b) Studierendenseminare; (c) deren Betreuung auf allen drei Ausbildungsstufen, d. h. Bachelor of Science, Master of Science und PhD; (d) Teilnahme an multidisziplinärer Forschung und akademischen Aktivitäten usw. Als Leibniz-Institut hat das IAP auch mit anderen Leibniz-Instituten der Sektion D kooperiert (z. B. AIP – Leibniz-Institut für Astrophysik in Potsdam, WIAS – Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik in Berlin) sowie mit denen anderer Sektionen (z. B. IOW – Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde).

Zwischen 2020 und 2021 hat das IAP mit 116 Institutionen kooperiert, einschließlich 26 in Amerika und 71 in Europa. Die letzteren schließen 31 in Deutschland ein. Durch die neuen Initiativen, die bodengebundene Instrumente in verschiedenen Längen und Breiten kombinieren, und die Installationen des IAP in Südamerika hat sich in dieser Periode die Anzahl der kooperierenden Institutionen um ca. 15 % bezüglich der vorigen Jahre erhöht.

Eine der aktivsten Kooperationen während dieser Jahre war die Teilnahme an nationalen und internationalen Forschungs-Netzwerken. Zum Beispiel in DFG-Schwerpunktprogrammen (z. B. Dynamic Earth), BMBF-Forschungsprogrammen (z. B. ROMIC), DFG-Forscherguppe (z. B. MSG-Waves), Multi-Instrument-Kampagnen (SOUTHTRAC-GW), NASA Drive Centers (z. B. WAVE – Wave-induced Atmospheric Variability Enterprise) usw.

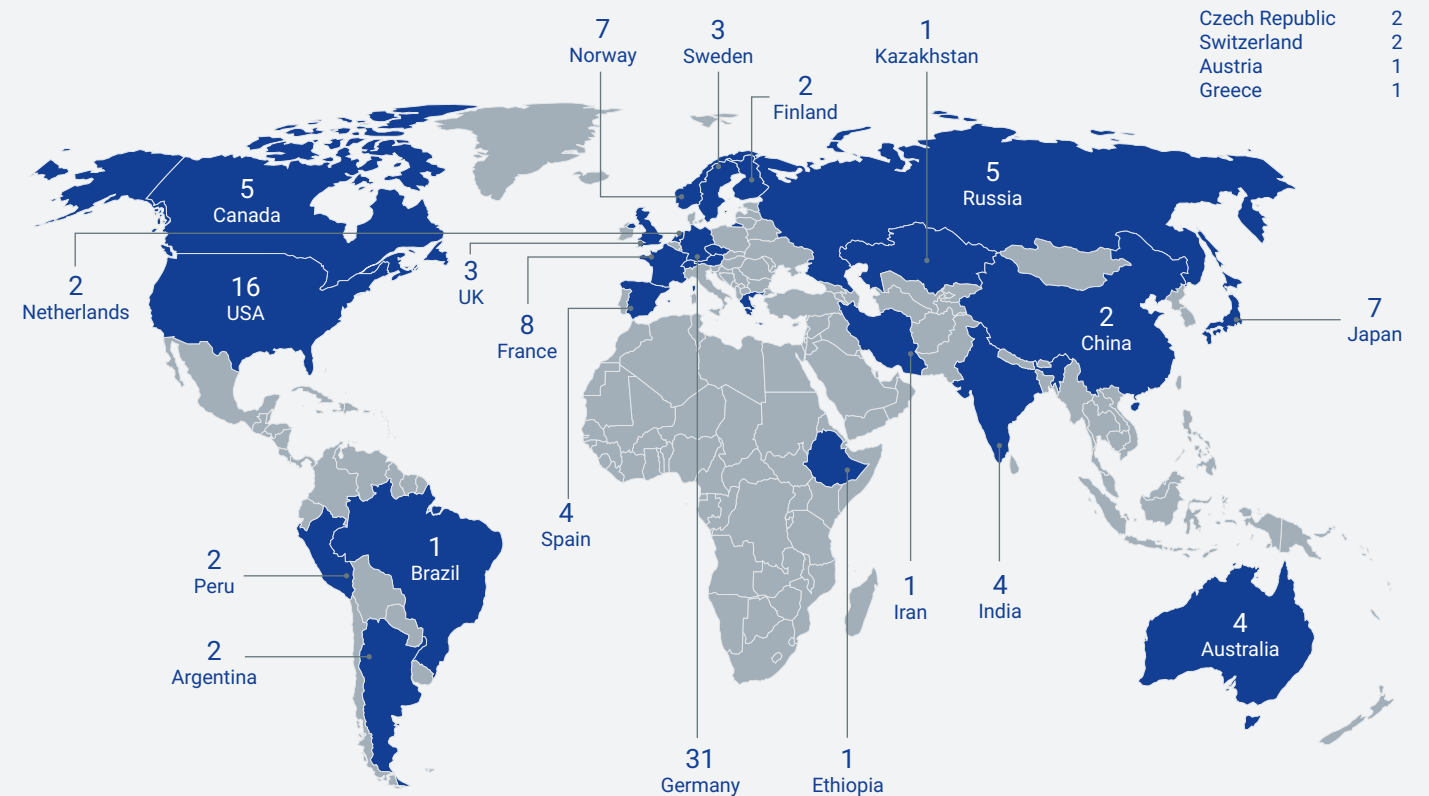
The University of Rostock is the main cooperation partner of IAP. The cooperation includes: (a) professorship positions to all three IAP department heads and the director; (b) lecturing of students; (c) supervision of theses at all three education levels; i.e., Bachelor of Science, Master of Science and PhD; (d) participation in multi-disciplinary research and academic activities, etc. Being a Leibniz Institute, IAP has cooperated with other Leibniz Institutes from section D (e.g., AIP in Potsdam, WIAS in Berlin) as well as of other sections (e.g., IOW in Warnemünde).



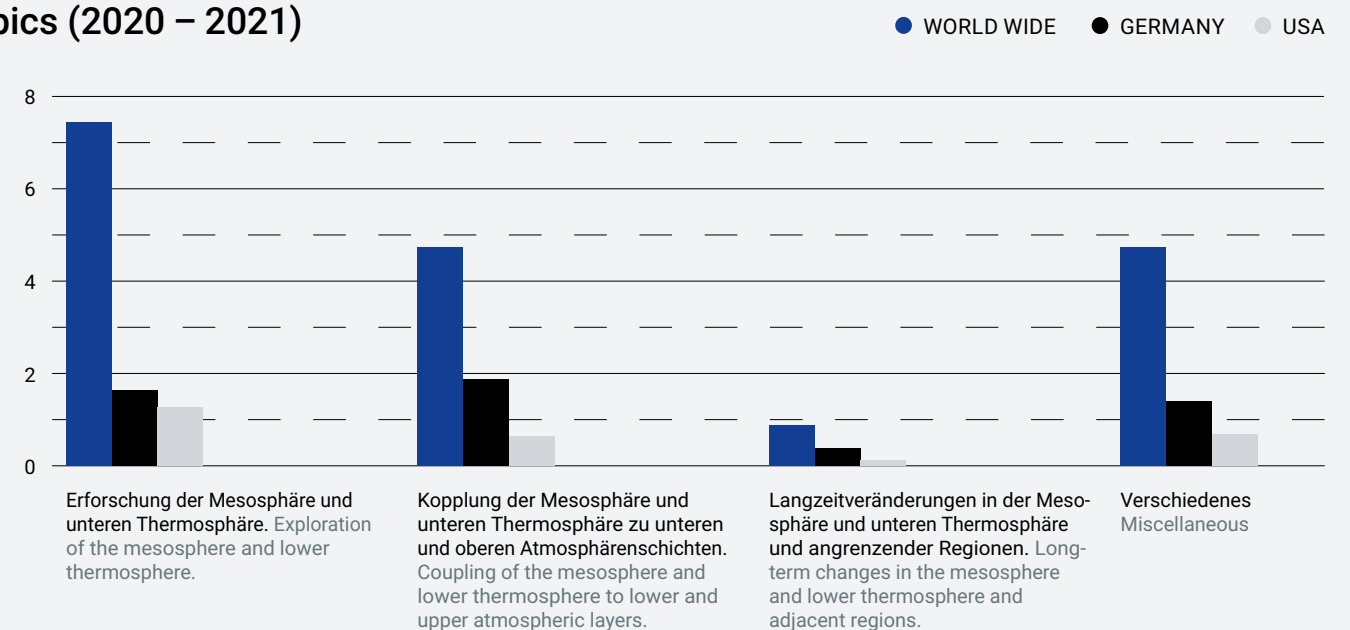
Between 2020 and 2021, IAP has collaborated with 116 institutions worldwide, including 26 institutions in America and 71 in Europe. The latter includes 31 in Germany. Given the new initiatives of combining ground-based instruments at different longitudes and latitudes, and IAP's installations in South America, during this period, the number of cooperating institutions has increased by approximately 15 % with respect to previous years.

One of the most active cooperation during these years has been the participation in national and international research networks. For example, in DFG priority programs (e.g., Dynamic Earth), BMBF research programs (e.g., ROMIC), DFG research units (e.g., MSG-Waves), multi-instrument campaigns (SouthTRAC-GW), NASA Drive centers (e.g., WAVE), etc.

Anzahl der kooperierenden Institutionen (2020 – 2021) Number of cooperating institutions (2020 – 2021)



Themen (2020 – 2021) Topics (2020 – 2021)



ABKÜRZUNGEN

ABBREVIATIONS

AIP	Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam
ALOMAR	Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
CONE	COmbined sensor for Neutrals and Electrons
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFMG	Deutsche Funkturm GmbH
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
ECMWF	European Center for Medium range Weather Forecast
GCM	General Circulation Model
HIAMCM	High Altitude Mechanistic General Circulation Model
IAP	Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik
ICAO	International Civil Aviation Organization ;Internationale Zivilluftfahrt-Organisation
IOW	Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde
KMCM	Kühlungsborn Mechanistic general Circulation Model
LIDAR	Light Detection And Ranging
LITOS	Leibniz-Institute Turbulence Observations in the Stratosphere
MAARSY	Middle Atmosphere ALOMAR Radar SYstem
MLT	Mesosphere/Lower Thermosphere
MMARIA	Multi-static Multi-frequency Agile Radar for Investigation of the Atmosphere
MS-GWaves	Multiscale Dynamics of Gravity Waves
PMSE	Polar Mesospheric Summer Echoes
PMWE	Polar Mesospheric Winter Echoes
RMR	Rayleigh/Mie/Raman
ROMIC	Role Of the Middle atmosphere In Climate
SABER	Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry
SAW	Leibniz Gemeinschaft Senatsausschuss Wettbewerb
SCOSTEP	Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics
SIMONe	Spread-spectrum Interferometric multistatic Meteor radar Observing Network
SouthTRAC-GW	Southern Hemisphere Transport, Dynamics, and Chemistry–Gravity Waves
SSW	Sudden Stratospheric Warming
ST	Stratified Turbulence
UA-ICON	Upper Atmosphere ICOSahedral Non-hydrostatic model
UTLS	Upper Troposphere and Lower Stratosphere
VAHCOLI	Vertical And Horizontal COverage by LIdar
WACCM-X	Whole Atmosphere Community Climate Model with thermosphere and ionosphere extension
WAVE	Wave-induced Atmospheric Variability Enterprise
WIAS	Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik

BILDNACHWEISE

CREDITS

S. U1 IAP, E. Franco-Diaz; S. 2 IAP, T. Bodendorf; S. 4 IAP, G. Baumgarten; S. 5 IAP, G. Baumgarten; S. 6 IAP, G. Baumgarten; S. 7 **Oben:** IAP, G. Baumgarten **Mitte:** IAP, B. Strelnikov **Unten:** IAP, R. Latteck; S. 8 Andoya Space Center, Trond Abrahamsen; S. 9 IAP, E. Franco-Diaz; S. 10 **Oben:** IAP, G. Baumgarten **Unten:** IAP, E. Franco-Diaz; S. 11 **Oben:** IAP, Th. Mense **Unten:** IAP, I. Strelnikova; S. 12 **Links:** IAP, I. Strelnikova; S. 13 IAP, T. Köpnick; S. 14 IAP, B. Strelnikov; S. 15 **Beide:** IAP, G. Baumgarten; S. 16 IAP, R. Latteck; S. 17 IAP, F. Conte; S. 18 IAP, R. Latteck; S. 19 IAP, R. Latteck + J. Jaen; S. 20 IAP, F. Conte; S. 21 IAP, R. Latteck; S. 22 IAP, N. Pedatella; S. 24 IAP, M. Amiramjadi; S. 26 IAP, E. Becker; S. 27 IAP, E. Becker; S. 28 **Oben:** IAP, M. Mai **Unten:** V. Avsarkisov; S. 29 IAP, M. Grygalashvyly; S. 30 IAP, M. Grygalashvyly; S. 31 IAP, G. Baumgarten; S. 32 O. Squarra; S. 34 EOS + Grafik K&K; S. 35 **Oben:** IAP, E. Franco-Diaz **Mitte:** OZ, Cora Meyer **Unten:** IAP, A. Shahid + IAP, P. Ghosh + Logo: humboldt-foundation.de; S. 36 **Oben:** scostep.org **Links:** grandchallenge.no/project-mesosphere-lower-thermosphere **Rechts:** landau.geo.cornell.edu/workshop.pdf; S. 37 **Beide:** IAP, J. Höffner; S. 38 **Oben:** TIOF/R11, A. Schütz **Unten:** IAP, T. Köpnick; S. 39 **Oben:** IAP, LeNO + Layout K&K **Mitte:** IAP, P. Schubert **Unten:** IAP, P. Schubert + Layout K&K; S. 40 IAP, G. Baumgarten; S. 42 **Oben:** IAP **Unten:** IAP, M. Priester + E. Franco-Diaz; S. 43 IAP, R. Latteck; S. 44 M. L. Kim; S. 48 Zahlen IAP + Grafik K&K; S. 49 Zahlen IAP + Grafik K&K; S. 50 Zahlen IAP + Grafik K&K; S. 54 **Oben:** IAP, G. Baumgarten **Links:** IAP, T. Stazcak **Unten:** IAP, G. Baumgarten; S. 55 **Links:** IAP, Th. Mense **Rechts:** IAP, K. Garcia **Unten:** IAP, Th. Mense; S. 56 Universität Rostock; S. 57 Zahlen IAP + Grafik K&K; S. 60 K&K

ANREISE

HOW TO GET TO IAP

MIT DEM AUTO BY CAR

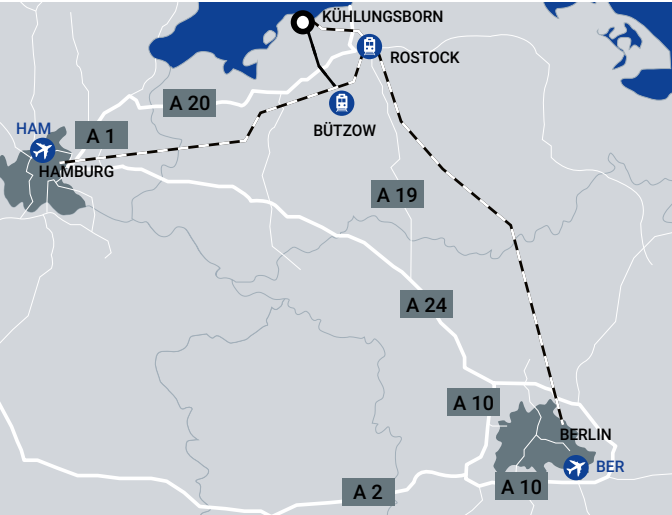
VIA A20: bis Abfahrt Kröpelin in Richtung Kühlungsborn abbiegen – weiter auf der L11 nach Kühlungsborn
VIA A20: leave at exit Kröpelin – follow the road L11 to Kühlungsborn

MIT DEM ZUG/BUS BY TRAIN/BUS

Buslinie 104, Haltestelle Kühlungsborn, Hotel Kühlung
VIA KÜHLUNGSBORN, MITTE: Von Rostock-Hbf mit der Buslinie 121 oder mit dem Zug über Bad Doberan weiter mit der Kleinbahn „Molli“
VIA BAHNHOF KRÖPELIN: mit der Buslinie 104
Alternativ von Hamburg bis Bahnhof Bützow, von dort können Sie ein Taxi nehmen oder kontaktieren Sie uns gerne, um ein Shuttle zu bestellen.

Bus line 104, station Kühlungsborn, Hotel Kühlung
VIA KÜHLUNGSBORN, MITTE: From central station Rostock with bus line 121, or train via Bad Doberan and from there with the traditional train “Molli”
VIA BAHNHOF KRÖPELIN: Bus line 104
Otherwise from Hamburg to Bützow train station, from there you can take a cab or feel free to contact us for a shuttle.

FAHRPLAN ONLINE UNTER:
TIME TABLE ONLINE AT:
• bahn.de
• molli-bahn.de
• rebus.de



Verkehrsverbindung zum IAP mit dem Zug und Bus von Berlin und Hamburg.
Connections to IAP from Berlin and Hamburg with car and train.



Verkehrsverbindung mit der traditionellen Schmalspurbahn „Molli“ von Bad Doberan und mit dem Bus vom Bahnhof Kröpelin. Connections to IAP from Bad Doberan and Kröpelin with bus and traditional train called “Molli”.



Gebäudeplan des IAP. Map of the IAP site.

IMPRESSUM

Herausgegeben durch das
Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e. V.
an der Universität Rostock, Schloßstraße 6
18225 Kühlungsborn

Redaktion:
Dr. Gerd Baumgarten, Tanja Bodendorf, Prof. Dr. Jorge L. Chau,
Dr. Michael Gerding, Dr. Guram Kervalishvili, Dr. Toralf Renkwitz,
Caren Schmidt, Dr. Afsheen Shahid, Prof. Dr. Claudia Stolle,
Dr. Christoph Zülicke

Gestaltung:
KRAUT & KONFETTI, Berlin

Auflage:
300 Exemplare

Druck:
trigger.medien.gmbh, Berlin

Kühlungsborn, 2022

