

Umweltforschungsstation Schneefernerhaus | Zugspitze

Zentrum für Höhen- und Klimaforschung in Bayern



Umwelt
Forschungsstation
Schneefernerhaus

Inhalt

Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) | Zugspitze

Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS)	4
Konsortialpartner.	6
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	6
Deutscher Wetterdienst (DWD)	8
Helmholtz Zentrum München (HMGU)	10
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	12
Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU).	14
Max-Planck-Gesellschaft (MPG)	16
Technische Universität München (TUM)	18
Universität Augsburg (UAU)	20
Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU).	22
Umweltbundesamt (UBA)	24
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)	26
Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS)	28
Das Virtuelle Alpenobservatorium (VAO).	28
Geschichte & Meilensteine Schneefernerhaus	30
Impressum	34





Die Konsortialpartner im Überblick



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



Deutscher Wetterdienst (DWD)



Helmholtz Zentrum München (HMGU)



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



Ludwig-Maximilians-Universität (LMU)



Max-Planck-Gesellschaft München (MPG)



Technische Universität München (TUM)



Universität Augsburg (UAU)



Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU)



Umweltbundesamt (UBA)



Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS)

International vernetztes Kompetenzzentrum für Höhen- und Klimaforschung



Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) liegt auf 2 650 Metern Höhe auf der Südseite der Zugspitze, knapp unterhalb des Gipfels. Sie ist somit die höchstgelegene Umweltforschungsstation Deutschlands. Geographisch befindet sich das Schneefernerhaus im Wettersteingebirge auf dem Zugspitzmassiv in unmittelbarer Nähe des Nördlichen Schneefeners. Die Auswirkungen der globalen Erwärmung sind von der Station mit Blick auf den Gletscher direkt sichtbar.

Derzeit betreiben in der UFS zehn renommierte Forschungseinrichtungen permanente Messungen sowie Studien. Gemeinsam mit dem Freistaat Bayern bilden sie die elf Konsortialpartner der Station. Diese nutzen das zwölfstöckige Gebäude und die Terrassenflächen zur Messung verschiedenster Parameter, die zur Beantwortung hochaktueller Forschungsfragen aus den Be-

reichen Atmosphäre, Biosphäre, Hydro- und Kryosphäre sowie Gesundheit beitragen.

Neben den festen Konsortialpartnern ist es auch anderen wissenschaftlichen Einrichtungen und Instituten möglich, das Schneefernerhaus für eigene Projekte zu nutzen.

Für die Wissenschaftler ist das Schneefernerhaus wegen seiner besonders exponierten Lage im Hochgebirge und seiner hochmodernen Labor- und Gebäudetechnik eine optimale Forschungseinrichtung. Das Team der Betriebsgesellschaft (BG UFS GmbH) aus den Bereichen Forschung, Verwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, Technik und Handwerk ist täglich vor Ort, um einen reibungslosen Ablauf zu ermöglichen. Eine besondere Herausforderung für die teils sensiblen



Messinstrumente sind, durch den hochalpinen Standort, immer wieder auftretende Wetterextreme, niedriger Luftdruck, niedrige Luftfeuchtigkeit, hohe UV-Strahlung sowie starke Schneefälle.

So werden bei den regelmäßigen Rundgängen alle Geräte auf ihre Funktionalität geprüft. Bei Ausfällen oder Störungen wird das zuständige Institut bzw. das Forscherteam informiert. In den Wintermonaten wird beispielsweise darauf geachtet, dass die Instrumente auf den Terrassen frei von Schnee und somit zugänglich sind.

Durch die sehr gute Erreichbarkeit der Station profitieren die an der UFS tätigen Forscher. Mindestens einmal pro Monat fährt auf der noch aus Hotelzeiten existierenden Zahnradbahnstrecke ein Versorgungszug aus dem Tal direkt in die Forschungsstation. Auf diesem Transportweg können beispielsweise schwere Versorgungsgüter und Messapparaturen auf die UFS gebracht werden.

Die direkte Anbindung an das Wissenschaftsnetz über eine 200 Mbit-Glasfaserleitung ermöglicht den Wissenschaftlern reibungsloses Arbeiten.

Betriebsgesellschaft

Die Geschäftsstelle der BG UFS GmbH ist beim Geschäftsbesorger bifa Umweltinstitut GmbH, Augsburg, eingerichtet, in der alle zentralen Organisations-, Finanz- und Verwaltungsthemen der Betriebsgesellschaft gebündelt werden. Die Geschäftsstelle steht bei allen Fragen des laufenden Betriebs mit großer Expertise zur Verfügung.

Gesellschafter der BG UFS GmbH sind der Freistaat Bayern (vertreten durch das Bayerische Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat und dem Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz), die Marktgemeinde Garmisch-Partenkirchen, der Landkreis Garmisch-Partenkirchen und die Gemeinde Grainau.



Die Vertreter der Konsortialpartner



Feldmessung am Zugspitzplatt



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



Die Aktivitäten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Schneefernerhaus umfassen Messungen mit bodengebundenen Instrumenten zur Beobachtung der Atmosphäre, die Koordination des internationalen Netzwerkes zur Beobachtung von Veränderungen im Höhenbereich von etwa 80 bis 100 Kilometern Höhe (NDMC) und die Weiterentwicklung des bioklimatischen Informationssystems BioCliS.

Messungen in der Atmosphäre werden in verschiedenen Höhenbereichen der Atmosphäre durchgeführt. Mit Atmosphärenspektrometern (GRIPS) und bildgebenden Infrarotkameras (BAIER, FAIM) wird die Strahlung des sogenannten Hydroxyl-(OH)-Luftleuchtens („Airglow“) gemessen, die aus etwa 83 bis 90 Kilometern Höhe stammt. Ein weiteres Instrument beobach-

tet den Sauerstoff-(OI)-Airglow, dessen Strahlung aus dem Höhenbereich von etwa 200 bis 250 km stammt.

Verfolgt werden einerseits grundlagenwissenschaftliche Fragestellungen: Wie und warum ändern sich Temperatur und Strömungseigenschaften in der Atmosphäre? Welche Rolle spielen dabei natürliche Einflüsse (z.B. Sonnenaktivität) und wie groß ist der Anteil durch menschgemachte Aktivitäten? Wie erfolgt die Kopplung verschiedener Höhenbereiche in der Atmosphäre durch sogenannte planetare Wellen, Schwerewellen, Infraschall und durch Turbulenz? Wie verhalten sich großräumige „Traveling Ionospheric Disturbances“ (LSTDIs)? LSTDIs sind wellenartige Plasmadichte-Störungen, die sich in der Ionosphäre ausbreiten. Sie entstehen oft in hohen Breitengraden, breiten sich bis in mittlere und niedrige Breitengrade aus und beeinflussen das Weltraumwetter.

Andererseits geht es auch um die Anwendung dieser Technologien: Wie können extreme Wettersituationen (z.B. Vb-Zyklone), vulkanische Aktivität und Tsunamis

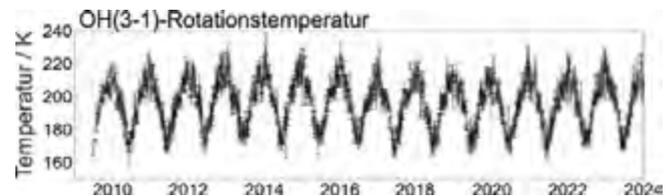
möglichst frühzeitig erkannt werden? Ein internationales und weltweites Netzwerk derartiger Messungen (NDMC; ndmc.dlr.de) wird durch das DLR vom Schneefernerhaus aus koordiniert. Die Messungen werden in enger Kooperation zweier DLR-Institute (Earth Observation Center und Institut für Solar-Terrestrische Physik) und der Professur für Atmosphärenfernerkundung am Institut für Physik der Universität Augsburg durchgeführt. Sie tragen zum Weltklimaforschungsprogramm der Weltmeteorologischen Organisation bei.

Ein weiterer Schwerpunkt der Messaktivitäten des DLR ist die Untersuchung von Wolken in den unteren Stockwerken der Atmosphäre. Diese schatten die Erdoberfläche von der Sonneneinstrahlung ab und spielen damit eine zentrale Rolle im Klimageschehen. Die Frage, wie sich Wolken zusammensetzen und sich insbesondere unter dem Einfluss von Aerosolen bilden, ist noch nicht vollständig geklärt. Mit der Beobachtung von Wolken geht auch die Beobachtung von Niederschlag einher. Das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre setzt hierzu in der Umweltforschungsstation ein spezielles meteorologisches Radar ein. Dessen Beobachtungen erlauben Rückschlüsse auf das Strömungsverhalten, die Strahlungswirksamkeit sowie den Flüssigkeits- und Eisgehalt von Wolken. Die Messungen dienen im Verbund mit ergänzenden Messungen insbesondere der Evaluierung numerischer Wettermodelle und der Validation satellitenbasierter Messungen.

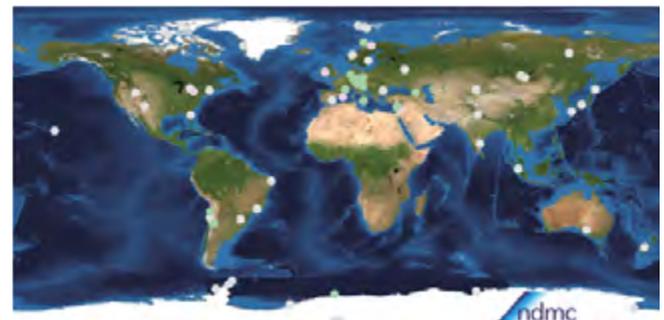
Umwelteinflüsse beeinträchtigen die menschliche Gesundheit. In enger Kooperation arbeiten zwei DLR-Institute (Earth Observation Center und Institut für Raumflugmedizin) sowie die Universität Augsburg (Professur für Atmosphärenfernerkundung) an einem bioklimatischen Informationssystem (BioClis). Dieses System soll das menschliche Gesundheitsrisiko aufgrund verschiedener „Umweltstressoren“ (Luftqualität, Strahlung, meteorologische Einflüsse, Lärm) in Bayern und im Alpenraum erfassen können. Eingesetzt werden hier das gekoppelte numerische Wetter-Chemie-Transport-Modell WRF/POLYPHEMUS, satellitenbasierte und bodengebundene Messungen (insbesondere das DLR-AirTrack-System) sowie Informationen aus Emissionskatalogen.



Regulär zum Monitoring atmosphärischer Wellen eingesetzt, registrierte der BAIER-Imager zum ersten Mal in über 10 Betriebsjahren im Mai 2024 ein Nordlicht direkt über dem Gipfel der Zugspitze.



Mitte 2024 – zeitgleich mit dem 25-jährigen Bestehen der UFS – feiert auch die Zeitreihe der Mesopausentemperaturen ihren 15. Geburtstag. Neben dem Jahresgang spiegelt sich deutlich der 11-jährige Zyklus der Sonnenaktivität in den Daten wieder.



Globale Verteilung der NDMC-Stationen: Viele Stationen liefern ihre Daten in naher Echtzeit an das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (grün), andere haben den Fokus auf Kampagnenmessungen (rosa). Das Schneefernerhaus liegt mit seinen Messungen im Zentrum des dichtesten Teils des Netzwerkes.



Deutscher Wetterdienst (DWD)



Wie verändern menschliche Aktivitäten die Zusammensetzung der Atmosphäre? Wichtige Indikatoren sind die Konzentration von Partikeln, z.B. Ruß oder Staub, und von Spurengasen. Schwefeldioxid (SO_2) etwa entsteht hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler, schwefelhaltiger Energieträger wie Schweröl und Braunkohle, während Ozon (O_3) im Zusammenspiel mit Sonnenlicht aus Abgasen gebildet wird. Die Konzentration und das Größenspektrum von Partikeln in der Atmosphäre ändern sich durch die Emissionen in den Sektoren Verkehr, Energiegewinnung, Industrieproduktion und privater Bereich – aber auch durch Vulkanausbrüche, Waldbrände und den „Ferntransport“ von Wüstenstaub.

Gemeinsam mit dem Umweltbundesamt betreibt der Deutsche Wetterdienst (DWD) am Schneefernerhaus

eine Station im Netz des Global-Atmosphere-Watch-Programms (GAW). Schwerpunkt der DWD-Aktivitäten sind Messungen der Partikelzahl, der Partikelgrößenverteilung sowie der Schwefeldioxidkonzentrationen. Dazu kommt die Erfassung von Radionukliden und der Vertikalverteilung von weiteren Spurenstoffen.

Außerdem beobachtet der DWD auf dem Zugspitzgipfel und dem Schneefernerhaus ganz klassisch das Wettergeschehen und liefert Messdaten zu Wind, Luftdruck, Temperatur, Niederschlag und Bewölkung. Die kontinuierlichen Messungen des DWD tragen dazu bei, die Zusammensetzung der Atmosphäre zu beobachten und Klimaänderungen frühzeitig zu erkennen.

Seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 2001 konnten die Wissenschaftler keinen klaren Trend in der Partikelzahl feststellen. Allenfalls ist eine Tendenz zu niedrigeren Partikelzahlen zu beobachten, die auf erste Erfolge der auf EU-Ebene eingeleiteten Luftreinhaltungsmaßnahmen hinweisen. In der Regel findet man im Sommer höhere Werte als im Winter, da dann warme, partikelreiche Luftmas-

sen aus den Tälern bis zur Höhe der UFS aufsteigen. Besonders viele Partikel spürten die Wissenschaftler im Frühjahr 2010 auf, nachdem der isländische Vulkan Eyjafjallajökull ausgebrochen war, und häufig im Zusammenspiel mit Saharastaubausbrüchen und großflächigen Vegetationsfeuern. Kurzzeitig hohe Partikelzahlen traten in Europa massiv in den Jahren 2013, 2017, 2021 und auch 2023 auf. Sie ließen sich auf Brände in Nordamerika und Kanada zurückführen.

Die seit dem Jahr 2002 gemessenen Schwefeldioxidkonzentrationen sind auf niedrigem Niveau stabil. Ausreißer nach oben stehen typischerweise im Zusammenhang mit Vulkanausbrüchen, die nichts mit dem Klimawandel zu tun haben: So sorgte im Frühjahr 2010 der isländische Vulkan Eyjafjallajökull für erhöhte SO₂-Konzentrationen und im September 2014 war es die Aktivität des ebenfalls auf Island befindlichen Vulkans Bárðarbunga. Aber auch der Ausbruch des Ätna auf Sizilien in den Jahren 2015 und 2019 sowie, in jüngerer Zeit, der Ausbruch des Tajogaite auf La Palma hinterließen ihre Spuren in den Datenreihen in Form erhöhter Schwefeldioxidkonzentrationen.

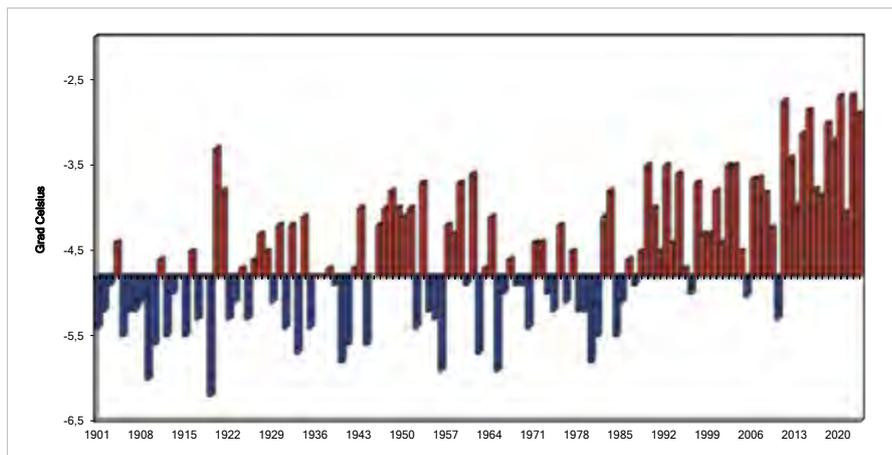
Diese Beispiele zeigen, wie wichtig kontinuierliche Beobachtungen sind: Nur so lassen sich kurzzeitige Schwankungen von echten, langfristigen Klimatrends unterscheiden.



Strahlungsmessgeräte



Probenahme des C-14 Isotop im Labor des Deutschen Wetterdienste



Jahresmitteltemperaturen der Wetterwarte Zugspitze. Die Grafik zeigt die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert (1961 bis 1990).
Quelle: DWD



Helmholtz Zentrum München (HMGU)

HELMHOLTZ MUNICH

Allergien sind auf dem Vormarsch. Bis 2050, so die Prognosen, werden bis zu 50 Prozent der Menschen an einer oder mehreren Allergien leiden. Nicht zuletzt verstärkt der Klimawandel diese Entwicklung: Die Blütezeit windbestäubter Pflanzen verlängert sich auf das Jahr hin gesehen. Neue, allergieauslösende Pflanzen werden bei uns heimisch. Schadstoff- oder Dürrebelastung sorgt dafür, dass sich die Beschaffenheit der Pollen verändert: Die produzierten Pollen sind allergener und lösen in der Regel mehr Symptome aus. Zudem konnten Wissenschaftler des Instituts für Umweltmedizin bei Helmholtz Munich zeigen, dass Pollen in der Luft Menschen vulnerabler gegenüber Viren machen. Die Pollen in der Luft setzen die Immunabwehr der Schleimhäute herab, auch bei Nicht-Allergikern. Dies konnte in einer Korrelationsstudie auch für Sars-CoV2-Viren nachgewiesen werden – die Fallzahlen von COVID19 stiegen bei starkem Pollenflug.

Das Institut für Umweltmedizin von Helmholtz Munich forscht in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Umweltmedizin der Universität Augsburg intensiv im Bereich der Allergie, des Pollenflugs und seiner immunologischen und klinischen Auswirkungen. Die klimabedingten Veränderungen des Pollenflugs werden vor allem auch in den Alpenregionen sichtbar. Die Wissenschaftler nutzen den Standort am Schneefernerhaus daher für die Erforschung des Pollenferntransports und dessen Auswirkungen auf allergische Personen ebenso wie für die klinische Erforschung von Allergien im Vergleich zwischen alpiner und urbaner Umgebung. Innerhalb eines Untersuchungszeitraums von vier Tagen wurden auf dem Schneefernerhaus insgesamt mehr als 1 000 Pollen pro Kubikmeter Luft gemessen, die nicht aus der Umgebung, sondern vermutlich aus der Schweiz, Nordfrankreich und sogar aus dem Osten der USA stammten. Die für Allergien sensitivierten Probanden zeigten zu 87 Prozent allergische Symptome.

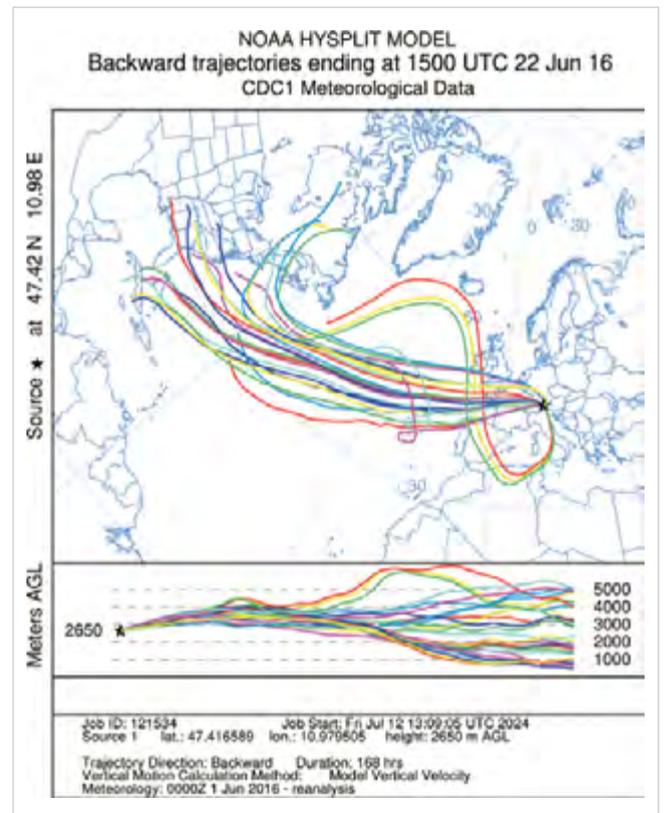
Laborräume, mobile Aerosolmessgeräte, eigene Daten und die umfassenden Daten der Konsortialpartner werden genutzt, um die komplexen Zusammenhänge

der Umwelterkrankung Allergie und der auf sie wirkenden Einflussfaktoren zu erforschen.

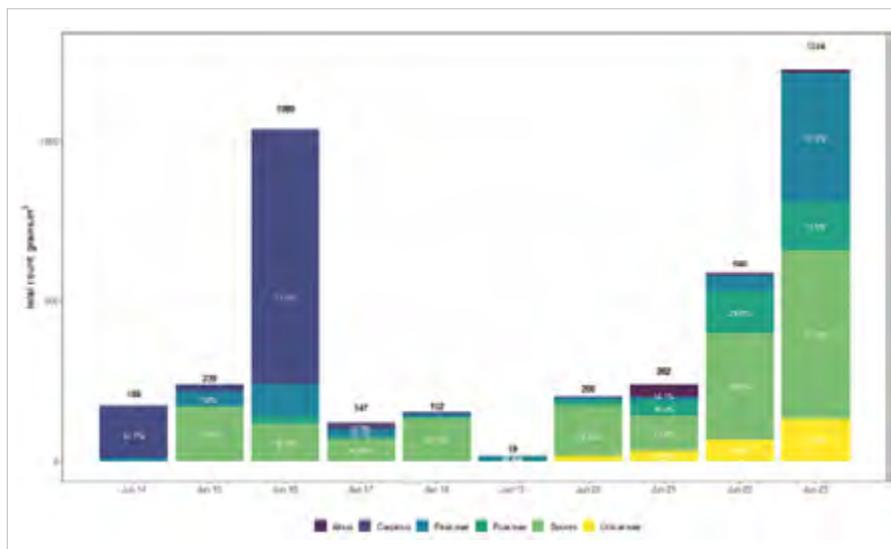
Ziel der Forschungsprojekte ist, effektive Therapie- und Präventionsstrategien zu entwickeln. Die Forscher arbeiten beispielsweise an Apps, interaktiven Karten und Frühwarnsystemen, die – dem Ansatz einer personalisierten Medizin folgend – ein besseres Disease Management für die Patienten möglich machen sollen.

Die Forscherinnen und Forscher begleiten ferner die Ausbildung von Medizinerinnen und Medizinern des Modellstudiengangs Medizin der Universität Augsburg, der unter anderem auf der Forschungsstation stattfindet. Im Rahmen des Wahlfaches „Umweltmedizin“ informieren sie umfassend über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit und führen Pollenmessungen im Innen- und Außenraum, Allergietests etc. durch.

Darüber hinaus bietet das Schneefernerhaus den Wissenschaftlern des IEM gute Möglichkeiten, Wissenskommunikation zu fördern und umweltbedingte Gesundheitsgefahren einer breiten Öffentlichkeit im Rahmen von Medienterminen näherzubringen.



Um die mögliche Herkunft der Pollenkörner während des Untersuchungszeitraums zu ermitteln, wurde eine Untersuchung der Rückwärtstrajektorien der Luft über mehrere Tage durchgeführt (HYSPLYT Analyse). Sie zeigt, dass der Ursprung der Pollen in 85 % der Fälle die Schweiz, Frankreich oder noch weiter entfernte Gebiete gewesen sein könnten (22 Juni 2016). Dies bestätigt, dass Pollen sehr weit reisen und dennoch Symptome verursachen können.



Tägliche Pollenkonzentrationen der häufigsten Pollenarten während des Untersuchungszeitraums (13. Juni bis 23. Juni 2016) an der UFS auf der Zugspitze (Bayern, Deutschland), in 2.650 m Höhe über NN. Hohe Konzentrationen einiger Pollenarten, die in der Nähe der Pollenfalle nicht vorkommen und an Tagen mit unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen.



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



Wasserdampf ist der wichtigste Bestandteil der Atmosphäre für das Wettergeschehen und das Klima. Er ist für zwei Drittel des gesamten Treibhauseffekts verantwortlich. Transport und Verteilung von Wasserdampf in der Atmosphäre sind entscheidend für den Wasserkreislauf – von der Dürreperiode bis zum Extremniederschlag. Die globale Erwärmung führt insgesamt zu mehr Wasserdampf in der Atmosphäre, was den Treibhauseffekt zusätzlich verstärkt. Ebenso spielen Aerosole eine wichtige Rolle im Klimasystem. Sie sind wesentlich an der Entstehung von Wolken und Niederschlag beteiligt, haben aber auch einen direkten Einfluss auf den Strahlungstransport in der Atmosphäre. Sie stammen aus unterschiedlichsten Quellen, von Sandstürmen über Vulkanausbrüche und Waldbrände bis hin zu Emissionen aus Industrieanlagen oder dem Verkehr.

Wasserdampf ist nach Einschätzung des Weltklimarats (IPCC–Intergovernmental Panel on Climate Change) einer der wichtigsten Unsicherheitsfaktoren bei der Vorhersage des zukünftigen Klimas. Grund: Die künftige Stärke des durch Wasserdampf bewirkten Treibhauseffekts kann noch nicht ausreichend präzise beschrieben und damit nicht genau genug in die Vorhersagemodelle eingegeben werden.

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) untersucht daher die Langzeitveränderungen der Wasserdampfkonzentration in verschiedenen Atmosphärenschichten und die zugrundeliegende großräumige Zirkulation, die sich selbst in Folge des Klimawandels verändert. Bislang am wenigsten erforscht ist die klimasensitivste Schicht, die Tropopausenregion (8 bis 14 km) mit der unteren Stratosphäre (bis 25 km Höhe), weil es für diesen Höhenbereich bisher weltweit praktisch keine geeigneten Messinstrumente gab. Das mit Förderung durch das Bayerische Umweltministerium am Schneefernerhaus entwickelte Wasserdampf-Raman-LIDAR schließt mit einer Reichwei-

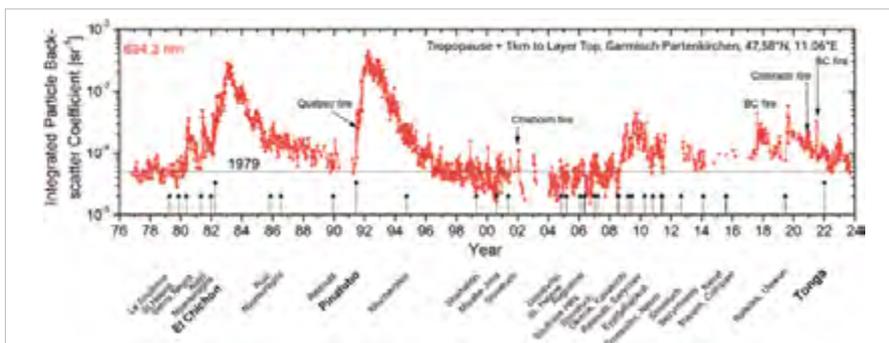
te von 24 km diese Lücke. Als wichtiger Strahlungsparameter wird mit diesem Instrument auch die Temperatur der Atmosphäre bis in etwa 90 km Höhe bestimmt.

Die damit nunmehr möglichen Untersuchungen werden ergänzt durch die solare Infrarot-Spektrometrie, die am Zugspitz-Gipfel, im Rahmen des NDACC- und TCCON-Netzwerkes, betrieben wird. Dieses Verfahren erlaubt es, neben zahlreichen weiteren Klimagasen, die Vertikalverteilung der Isotopenzusammensetzung von Wasserdampf zu quantifizieren und damit atmosphärische Transportprozesse zu erforschen. Zusätzlich wird am Gipfel im Rahmen des ACTRIS-Netzwerkes die Aerosol-Optische-Dicke (AOD) der Atmosphäre mit einem Sonnenphotometer gemessen.

Aerosole (Schwebeteilchen) und Wolken haben ebenfalls große Bedeutung für das Klima: Speziell die Aerosole werden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung sowie Größe und Anzahl auch durch die anthropogenen Aktivitäten beeinflusst. Ihre Klimawirkung kann je nach Beschaffenheit der Partikel kühlend oder wärmend ausfallen. Insbesondere versuchen die Wissenschaftler herauszufinden, wie Eiskristalle in Wolken wachsen und welche Rolle dabei die Temperatur und die Wasserdampfsättigung spielen – Schlüsselprozesse für das Entstehen von Niederschlag in unseren Breitengraden. Am Schneefernerhaus wird derzeit eine der weltweit längsten Lidar-Messreihen von atmosphärischem Aerosol fortgeführt, die bereits 1976 in Garmisch-Partenkirchen begonnen wurden. Auffällig ist eine starke Zunahme der stratosphärischen Belastung mit Aerosolen aus Waldbränden seit 2015. Auch zukünftig sollen diese Messungen am Schneefernerhaus fortgeführt werden, als Teil des europäischen Messnetzes ACTRIS.



Das Aerosol-Lidar mit seinem grünen Laserstrahl misst bis in 45 km Höhe.



Langzeitserie der stratosphärischen Aerosolbelastung über dem Alpenraum, gemessen in Garmisch-Partenkirchen und am Schneefernerhaus. Die großen Ausschläge werden durch Vulkanausbrüche verursacht. In den letzten Jahren wird eine zunehmende Belastung mit Aerosolen aus Waldbränden beobachtet.



Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)



Das Hochgebirgsklima stellt für den menschlichen Körper eine besondere Herausforderung dar. Neben der höhenbedingten Sauerstoffarmut wirken sich der erniedrigte Luftdruck, Temperaturextreme, Veränderungen der Luftfeuchtigkeit und die Strahlungsexposition direkt und indirekt auf den menschlichen Organismus aus. Dieser kann sich mithilfe unterschiedlicher Mechanismen an die Bedingungen anpassen.

Die Höhenmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Auswirkungen der Höhenexposition auf den gesunden und den erkrankten Organismus zu untersuchen, um dessen Reaktion darauf besser zu verstehen. Der Schwerpunkt der Forschung liegt auf der Untersuchung praktisch relevanter Fragestellungen: Wie reagieren Patienten mit Erkrankungen (z. B. Asthma, COPD, Lun-

genhochdruck) auf die Hochgebirgseinflüsse? Welche möglichen negativen Auswirkungen können verhindert oder gemindert werden? Gibt es positive Effekte, die gezielt zur Verbesserung der Gesundheit genutzt werden können?

Auch die Untersuchung gesunder Probanden liefert wichtige Erkenntnisse bezüglich der Auswirkungen einer Höhenexposition und erweitert so das Verständnis der Anpassungsmechanismen des menschlichen Körpers. Wenn es in der Höhe zu einer körperlichen Belastung kommt, z. B. im Rahmen einer Bergtour, kann der Organismus deutlich weniger Sauerstoff aus der Umgebungsluft aufnehmen als im Flachland.

In der Vergangenheit haben Wissenschaftler beispielsweise erforscht, ob ein Hochgebirgsaufenthalt für Patienten mit Asthma ein erhöhtes Risiko für einen Asthmaanfall mit sich bringt oder ob sich der wiederkehrende Aufenthalt auf der Zugspitze, wie es für die Mannschaft der Umweltforschungsstation der Fall ist, negativ auf den Lungenkreislauf auswirkt.

Eine Besonderheit der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus ist, dass durch die Höhenlage ähnliche Luftdruck- und Sauerstoffverhältnisse wie an Bord eines Langstreckenfluges herrschen. Somit können Untersuchungen als Modell für die Reaktionen bei einer Flugreise dienen, was die Bedeutung der gewonnenen Erkenntnisse erweitert. Spezielle Fragestellungen können in einem gut erreichbaren und gut ausgestatteten Labor untersucht werden.

Neben der Höhenmedizin ist das Department für Umwelt- und Geowissenschaften mit dem Erdbebendienst Bayern auf dem Schneefernerhaus vertreten. Dieses überwacht mit 24 Stationen die Seismizität in Bayern und informiert die Öffentlichkeit über das Auftreten von Erdbeben. Der Erdbebendienst ist eng verknüpft mit europäischen Initiativen zur Modernisierung der seismologischen Infrastruktur. Die seismische Station im Schneefernerhaus ist ein Beispiel für das Zusammenspiel von seismischer Überwachung und Forschung.

Das Meteorologische Institut der LMU befasst sich mit atmosphärischen Messungen und der UV-Strahlung. Aufgrund der Höhe werden auf der Zugspitze die höchsten UV-Werte in Deutschland gemessen. Die solare UV-Strahlung ist wichtig im Hinblick auf die menschliche Gesundheit, für photochemische Prozesse in der Atmosphäre und für die Verwitterung von Materialien.



Blutgasanalyse im Rahmen einer Belastungsuntersuchung im Medizinlabor der UFS



Meteorologische Messinstrumente auf dem Schneefernerhaus



Max-Planck-Gesellschaft (MPG)

MAX PLANCK
GESELLSCHAFT



Es wird vermutet, dass Turbulenzen in den Wolken die Kollisionsrate von Wolkentropfen signifikant erhöhen und somit den Prozess des Tröpfchenwachstums wesentlich beschleunigt, was schließlich zu Regen führt. Die Möglichkeit, den Zeitpunkt des Regens vorherzusagen, wird in unserer klimatisch unsicheren Zukunft von zunehmender Bedeutung sein. Die Max-Planck-Gesellschaft führt am Schneefernerhaus Langzeit-In-situ-Experimente durch, um das komplexe Zusammenspiel zwischen Wolkenpartikeln und dem turbulenten Luftstrom zu untersuchen und die Rate des Tropfenwachstums in Abhängigkeit von den turbulenten Eigenschaften besser zu quantifizieren. So können die Vorhersagen für Regen verbessert werden.

Regen tritt auf, wenn Wolkentropfen so groß werden, dass ihre Absetzgeschwindigkeit größer wird als die Geschwindigkeit des Aufwindes innerhalb der Wolke.

Um aus den winzigen Mikrotropfen, die auf suspendierten Aerosolpartikeln kondensieren, auf diese Größe zu wachsen, müssen die Tropfen den „Flaschenhals“ durchqueren. Innerhalb des Flaschenhalses sind die Tropfen zu groß, um durch Kondensation effektiv zu wachsen und ihre Größenverteilung ist zu eng, um ein kollisionales Wachstum aufgrund unterschiedlicher Gravitationssetzungen zu ermöglichen. Die starken Verwirbelungen der Turbulenz führen zu Tröpfchenkollisionen innerhalb des Flaschenhalses, indem sie einerseits Tröpfchen zu Clustern bündeln und andererseits ihre Relativgeschwindigkeiten erhöhen, was wiederum Kollisionen bewirkt.

Um die Dynamik von Tröpfchen in Wolken zu untersuchen, hat das Institut für Dynamik und Selbstorganisation der MPG ein Lagrange-Partikelverfolgungssystem namens „die Wippe“ gebaut. Sie besteht aus einem kippbaren Satz von Schienen, auf denen ein beweglicher Tisch mit kontrollierter Geschwindigkeit gleiten kann. Auf dem Tisch ist eine Box mit drei Hochgeschwindigkeitskameras montiert. Sie besitzt einen Faserausgang für einen leistungsstarken Laser, der zur

Beleuchtung der Tropfen verwendet wird. Aus den Aufnahmen der drei Kameras können die dreidimensionalen Tropfenbahnen mit mikrometrischer Genauigkeit rekonstruiert werden. Mit der Wippe können die Kameras mit einer Geschwindigkeit von bis zu 30 km/h mit dem mittleren Durchfluss mitfahren und so einzelne Tropfen auch bei Wind über einen längeren Zeitraum verfolgen.

Das Schneefernerhaus bietet aus drei Gründen einzigartige Bedingungen für die Durchführung dieses Experiments. Erstens ist es aufgrund seiner Lage oft in Wolken getaucht, was eine notwendige Voraussetzung ist. Zweitens lässt die lokale Topographie des Tals den Wind hauptsächlich in West-Ost-Richtung wehen, was die technischen Herausforderungen für die Lagrange-sche Partikelverfolgung vereinfacht. Schließlich bietet die Station genügend Platz für ein so großes Experiment mit dem entsprechenden Computercluster. Dieses wird benötigt, um die Daten in den vom schnell wechselnden Bergwetter geforderten Raten zu speichern. Mit dem Experiment kann die Statistik der räumlichen Verteilung der Tröpfchen und der relativen Geschwindigkeiten gemessen werden, die beiden Hauptkomponenten, die zur Berechnung der Kollisionsraten benötigt werden. Gleichzeitig werden mit einer Phase-Doppler-Interferometrie-Sonde die Tröpfchengrößenverteilung und mit Ultraschallanemometern die relevanten Turbulenz-Eigenschaften gemessen. Obwohl dieses Thema in jüngster Zeit mit direkten numerischen Simulationen und Laborexperimenten aktiv untersucht wurde, kann man dieses Phänomen derzeit nur durch In-situ-Experimente an der entsprechenden Reynoldszahl untersuchen, einschließlich potenziell wichtiger Effekte von Tröpfchenladung und hydrodynamischen Wechselwirkungen. Das Schneefernerhaus ist dazu ideal geeignet.



Mast mit Anemometer: Es misst die Windgeschwindigkeit und die virtuelle Temperatur mit 10 Hz.



PDI-Probe während einer Messung: Dabei können Tröpfchen bis zu $0,5 \mu\text{m}$ aufgenommen werden.



Montage von Hochgeschwindigkeitskameras des Max-Planck Instituts für Dynamik und Selbstorganisation. Das System kann einzelne Tröpfchen in Wolken filmen, um ihre Bewegung und Dynamik zu ergründen.



Technische Universität München (TUM)



Das übergreifende Forschungsthema am Schneefernerhaus ist die Klima- und Atmosphärenforschung. Die Technische Universität München (TUM) befasst sich u. a. mit Langzeitmessungen verschiedener Treibhausgase, den Auswirkungen des Klimawandels auf die Biosphäre und die menschliche Gesundheit sowie mit dem Rückgang des Permafrosts als Risikofaktor im Alpenbereich.

Um die Quellen und die Verteilung von Treibhausgasen zu ermitteln, messen Wissenschaftler der Professur Öklimatologie der TUM stabile Isotope im Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O) auf der UFS. Anhand dieser und Messungen anderer Forschergruppen lassen sich die Herkunftsgebiete der jeweiligen Luftmassen ermitteln und natürliche bzw. anthropogene Quellen von Luftschadstoffen identifizieren. In Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt (UBA) werden

die Zeitreihen der Messdaten hinsichtlich ihrer Variationen und Trends analysiert sowie statistische Methoden für die Datenselektion zur Bestimmung der Hintergrundkonzentrationen entwickelt.

Wissenschaftler der TUM (Professur Öklimatologie, Zentrum Allergie und Umwelt / ZAUM, Lehrstuhl für Umweltmedizin / UNIKA-T) untersuchen auf der UFS interdisziplinär die Einflüsse des Hochgebirgsklimas auf Allergien und Umweltkrankheiten.

Denn mit dem Klimawandel nehmen allergische Krankheiten zu, da Pflanzen länger und intensiver blühen und weil neue, allergieauslösende Pflanzen einwandern. Sie betreiben Pollenfallen auf der UFS, im tiefer gelegenen Garmisch und an verschiedenen Stellen im Alpenvorland, um Verteilungsmuster und Transport von Pollen in verschiedenen Höhenlagen zu untersuchen.

Hochgebirgsregionen sind in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen, da die Temperatur hier in den letzten 150 Jahren rund doppelt so stark (+2 °C) wie im Vergleich zum globalen Mittel (+ 1 °C) stieg.

Während der massive Gletscherrückgang in den Alpen bereits mit dem bloßen Auge ersichtlich ist, wird die Erwärmung der Felstemperatur im Inneren des Berges erst durch bestimmte Messverfahren sichtbar. Die sehr steilen, nach Norden ausgerichteten Felsflanken der Zugspitze, zählen zu den wenigen Orten in Deutschland, wo ganzjährig Minustemperaturen im Untergrund herrschen (sogenannter Permafrost).

Seit 2007 überwacht der Lehrstuhl für Hangbewegungen der Technischen Universität München dessen Ausdehnung und zeitliche Veränderung im Kammstollen unterhalb des Zugspitzgrates. Die monatlich durchgeführten geoelektrischen Messungen über eine Länge von 300 m ermöglichen anhand des elektrischen Widerstandes die räumlich-zeitliche Dynamik der gefrorenen und ungefrorenen Felsbereiche innerhalb eines Jahres sichtbar zu machen und die Entwicklung des Permafrosts über Jahrzehnte hinweg genau zu dokumentieren.

Zudem wird das Monitoring durch geophysikalische Messungen am Zugspitzgrat sowie Felstemperatur- und Felsbewegungsmessungen ergänzt. Diese langjährigen Messreihen im steilen Hochgebirge sind von größter Bedeutung für die Beurteilung der Permafrostentwicklung im Zuge des Klimawandels ebenso wie für Gefahreinschätzungen und Stabilitätsanalysen.



Auf dem Weg für geoelektrische Messungen im Permafrostbereich



Permafrost im der Inneren der Zugspitze



Die Pollenfalle des ZAUM (Zentrum Allergie und Umwelt)



Universität Augsburg (UAU)



Die Universität Augsburg vertritt im Konsortium des Schneefernerhauses die thematische Säule Hydrologie. Hochgebirgsregionen spielen weltweit eine bedeutende Rolle für die Wasserversorgung der Vorländer, nicht nur in den Trockenräumen der Erde. Darüber hinaus sind sie besonders stark vom Klimawandel betroffen, wie auch das Beispiel der europäischen Alpen mit einer massiven Abnahme der Vergletscherung zeigt. Die Hochgebirgshydrologie ist bis heute ein Fachgebiet mit noch etlichen Kenntnislücken. Die Ursachen dafür sind vielfältig und vor allem in der Unzugänglichkeit des komplexen Raumes, den z.T. harschen Witterungsbedingungen und nicht zuletzt der ausgeprägten Dreidimensionalität des Reliefs begründet.

Die steuernde Eingangsgröße des Wasserhaushalts ist der Niederschlag. Dieser kann im hochalpinen Raum bislang nur schwer erfasst werden und wird mit gän-

gigen Messmethoden v. a. bei Schneefall stark unterschätzt. Der Wassergehalt der im Winter aufgebauten Schneedecke steuert maßgeblich die Abflussprozesse im alpinen Raum. Er kann aber bislang nur geschätzt werden und stellt eine Unsicherheit in der hydrologischen Bilanzierung sowie der Abflussprognose dar. Gleiches gilt für den gasförmigen Austausch von Wasser zwischen der Erdoberfläche und der Atmosphäre, welcher jedoch im hochalpinen Raum quantitativ eine geringere Bedeutung hat.

Das Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) betreibt auf dem Zugspitzgipfel ein Supraleitgravimeter als Teil einer langfristigen Forschungsinfrastruktur. Es registriert die Veränderungen des Schwerfeldes kontinuierlich mit hoher Präzision und zeitlicher Auflösung – weltweit erstmalig auf einem Hochgebirgsgipfel. Das komplexe gravimetrische Signal setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Beiträge liefern z.B. die Gezeiten der festen Erde und der Ozeane, Luftdruckänderungen, Massenverlagerungen im Gebiet und weitere externe Einflüsse. Nach Reduktion bekannter Einflüsse verbleiben Residuen, die vor allem von den Massenän-

derungen im Wasserhaushalt in einem Radius von ca. 3 km um das Gerät bestimmt werden. Den größten Beitrag zu den saisonalen Signalschwankungen liefert der Auf- und Abbau der Schneedecke. Zudem werden in den Sommer- und Herbstmonaten Karstgrundwasseränderungen ebenso erfasst wie längerfristige Massenänderungen durch Gletscher- und Permafrostschwund.

Die hydrogravimetrischen Signale des Supraleitgravimeters werden in dem gemeinsam mit den Partnern GFZ Potsdam und Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) durchgeführten Forschungsprojekt G-MON-ARCH verwendet, um das hydrologische Prozessverständnis zu verbessern. Dies hilft insbesondere, den Wassergehalt der Schneedecke besser zu bestimmen. Zudem wird in Zusammenarbeit mit Forschern vom SLF aus der Schweiz untersucht, inwieweit die Verdunstung der Schneedecke (Sublimation) und Schneedrift erfasst werden können.

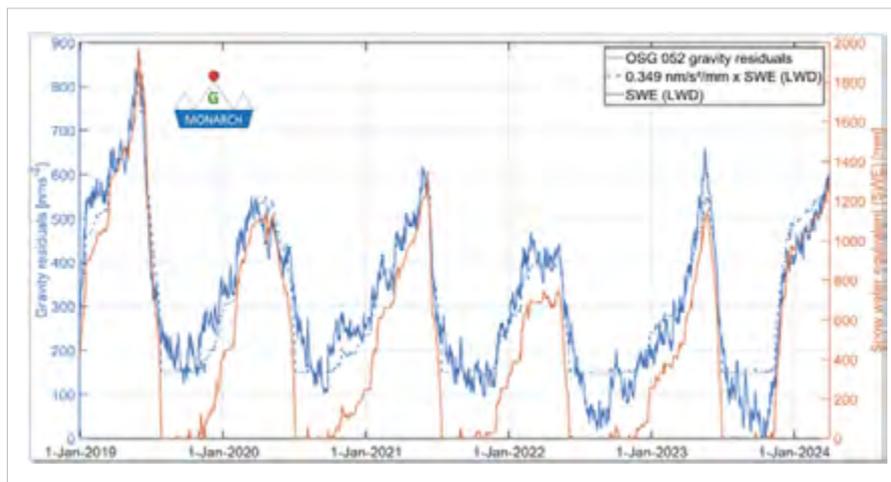
Längerfristig sollen mit der Integration der gravimetrischen Signale hydrologische Modelle optimiert und Unsicherheiten verringert werden, um somit auch verbesserte Modellsysteme für andere Regionen zur Verfügung zu haben. Darüber hinaus kann das Gebiet als Ankerstation für zukünftige satellitengestützte Vermessungen des Schwerefeldes genutzt werden.



Laserscanning zur Erfassung von Schneeoberflächen mit einem LiDAR während der Messkampagne im April 2024



Pegelmessstelle an der Partnach kurz unterhalb des Partnachsprungs



Der Zusammenhang von gravimetrischen Residuen des Supraleitgravimeters und des Schneewasseräquivalents (SWE) nach Daten des Bayerischen Lawinenwarndienstes



Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU)



Die Universität Würzburg ist der neueste Konsortialpartner des Schneefernerhauses und forscht seit Beginn des Jahres 2024 auf Deutschlands höchstem Gipfel. In den verschiedenen Forschungsvorhaben spielen Inter- und Transdisziplinarität eine entscheidende Rolle, denn das Zusammenspiel und die Verknüpfung unterschiedlichster Ideen, Expertisen und Methoden ist der Schlüssel zu exzellenter Forschung und zur Entfaltung des größtmöglichen Potentials. Eine wichtige Basis für viele weitere Vorhaben und Projekte liefert unter anderem die drohnen- und satellitenbasierte Erdbeobachtung sowie die Erforschung von alpinen Ökosystemen.

Die 1402 gegründete älteste Universität Bayerns vereint Tradition und Innovation und strebt getreu ihrem Leitprinzip „Wissenschaft für die Gesellschaft“ zusammen mit den renommierten Partnern des Schneefer-

nerhauses nach neuen Erkenntnissen und Lösungsansätzen für die drängenden Fragen von morgen. In Kooperationen mit weiteren ausgewiesenen Experten begeben sich die Forschenden der JMU auf die Suche nach Antworten zu globalen Herausforderungen und zukunftsrelevanten Themen wie Digitalität oder Folgen des Klimawandels.

Als Volluniversität mit einem breiten Fächerspektrum bietet die JMU vielfältige Möglichkeiten zur Anknüpfung der wissenschaftlichen Arbeiten am Schneefernerhaus und integriert die Forschungsvorhaben in die universitäre Lehre. Insbesondere Datenerhebung und -auswertung sind zukünftig fester Bestandteil der anwendungsnahen und lösungsorientierten Studienangebote in (internationalen) Bachelor- und Masterstudiengängen und eröffnen eine starke studentische Partizipation.

Die Untersuchung ökologischer Systeme entlang von Höhengradienten verfolgt einen multiperspektivischen Forschungsansatz und kombiniert Kompetenzen aus den Disziplinen der Informatik, Fernerkundung,

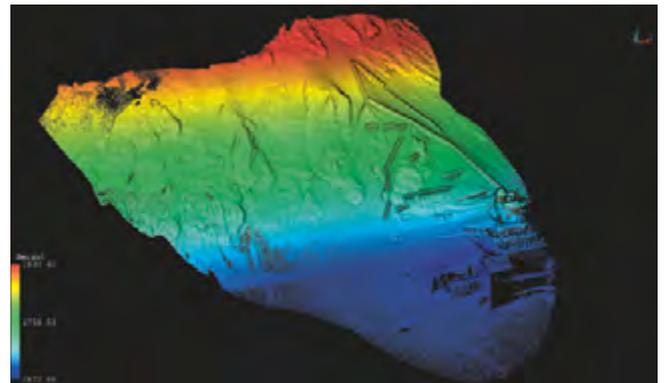
Geographie sowie aus der Tier- und Pflanzenökologie. Ziel ist es, ein Monitoring von Versuchsflächen entlang mehrerer Höhengradienten in der Zugspitzregion in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern und unter Nutzung der Infrastruktur des Schneefernerhauses zu etablieren und neuartige Messverfahren zur Anwendung zu bringen. Dieses langfristig angelegte Vorhaben wird belastbare Aussagen zu den Auswirkungen des klimatischen Wandels im alpinen Raum liefern.

Im Zentrum stehen dabei verschiedene Fragestellungen zu den Themenkomplexen Biodiversität, Ökosystemfunktionen, Auswirkungen des Klimawandels auf Insekten sowie Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischen abiotischen und biotischen Faktoren und deren systematische und langzeitliche Untersuchung. Die Datenerfassung erfolgt mittels moderner intelligenter Sensorik zur Umweltbeobachtung, drohnen- und satellitengestützter Erdbeobachtung sowie klassischer In-situ-Aufnahmen.

Weitere Vorhaben umfassen Forschungsarbeiten aus den Sportwissenschaften zu den Themen Sport und Gesundheit im Klimawandel, aus der Medizin, um den Einfluss großer Höhe auf das Immunsystem zu erforschen sowie aus der Astronomie, die den möglichst störungsfreien Blick ins All oberhalb der atmosphärischen Grenzschicht nutzen möchte.



Die Aufnahme von räumlichen Daten mittels Drohnen (UAS/UAV) ist besonders im Hochgebirge komplex und erfordert für Start und Landung sowie die Flugmission diverse Vorarbeiten.



Laserscan-Aufnahme der Umweltforschungsstation mittels Drohne (UAS)



Feldarbeit mit schwerem Gepäck



Umweltbundesamt (UBA)



Die Erdatmosphäre ist ein wichtiger Indikator für den Klimawandel. Mit Global Atmosphere Watch (GAW) hat die UNO 1989 ein Programm ins Leben gerufen, um die chemischen und physikalischen Veränderungen in der Atmosphäre zu beobachten. Weltweit sammelt GAW Daten von 30 globalen Messstationen. Fast alle Globalobservatorien befinden sich im Hochgebirge oder in Küstenregionen. Der Grund: Die Messergebnisse sollen möglichst nicht durch lokale, vom Menschen verursachte Einflüsse wie z.B. Verkehrs-, Heizungs- oder Industrieemissionen verfälscht werden.

Die GAW-Stationen erfassen die Konzentrationen langlebiger Treibhausgase, auch „Klimagase“ genannt, wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) oder Lachgas (N₂O), und halogenierter Spurengase wie z.B. Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Darüber hinaus werden che-

misch reaktive Gase wie Ozon (O₃), Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxide (NO_x) sowie Aerosole und die atmosphärische Radioaktivität gemessen. Aus den vorliegenden Zeitreihen der gemessenen Gaskonzentrationen ermittelt das Weltdatenzentrum für Treibhausgase in Tokio globale Trends für deren Anstieg in der Atmosphäre. Damit bildet das GAW-Netzwerk das zentrale Messsystem für das globale Klimaüberwachungssystem GCOS (Global Climate Observing System).

Die einzige GAW-Globalstation in Deutschland befindet sich an den beiden bayerischen Standorten Hohenpeißenberg und Schneefernerhaus, die vom Umweltbundesamt und dem Deutschen Wetterdienst betrieben werden. Hier wird rund um die Uhr gemessen. Insgesamt erfassen die Instrumente der Observatorien 60 Messgrößen in unterschiedlichen Zeitabständen: Kohlendioxid, Methan, Kohlenmonoxid und Lachgas werden beispielsweise alle fünf Sekunden gemessen, Stickoxide und Ozon alle zehn Sekunden, einige Radionuklide alle zwei Stunden. Tag für Tag liefern die Messgeräte mehr als 50 000 Messwerte.

Inzwischen hat sich das GAW-Programm zu einem integrierten Beobachtungssystem entwickelt: Neben den 30 globalen Stationen sind weltweit mehr als 500 regionale Stationen im Einsatz. Nutzer sind beispielsweise Wissenschaftler in aller Welt: Sie arbeiten daran, die Vorhersagemodelle für die mittel- und langfristige Klimaentwicklung zu optimieren und die chemischen und physikalischen Veränderungen in der Erdatmosphäre, die zu einem Klimawandel führen, besser zu verstehen. Die GAW-Daten dienen aber nicht nur der Erforschung des Klimasystems. Sie werden auch benötigt, um die Wirksamkeit internationaler Klimaschutzabkommen zu überprüfen. So konnte anhand der GAW-Daten gezeigt werden, dass seit Inkrafttreten des Montrealer Protokolls im Januar 1989 die halogenierten Treibhausgase (hier die FCKW) in der Atmosphäre deutlich abgenommen haben.

Die am Schneefernerhaus erhobenen Daten für CO₂, CH₄ und N₂O stimmen mit den globalen Trends überein und zeigen einen kontinuierlichen Anstieg dieser Treibhausgase in der Atmosphäre. Kohlendioxid, das hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe und Landnutzungsänderungen freigesetzt wird, erreicht seit Jahrhunderten Rekordwerte. Methan, das hauptsächlich aus der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft stammt, und Distickstoffoxid, das aus der Landwirtschaft und der Industrie stammt, haben ebenfalls stark zugenommen. Diese Zunahmen verstärken den Treibhauseffekt und tragen somit zur globalen Erwärmung und zu Umweltstörungen bei.

Als Globalstation des GAW-Netzes umfasst das Schneefernerhaus außerdem ein vom Umweltbundesamt finanziertes Training and Education Centre (GAWTEC), welches Stationspersonal aus der ganzen Welt fortbildet. Im Rahmen der regelmäßig stattfindenden Kurse vermitteln Experten des GAW-Programms den Teilnehmenden Fachwissen im Bereich der Messtechnik, zu praktischen Anwendungen und zur statistischen Auswertung der gemessenen Umwelt- und Klimadaten.

Aufgrund der Lehre und Unterstützung von Partnerstationen wird dem GAWTEC eine wichtige Rolle im Qualitätsmanagement des GAW-Programms zuteil.



Blick auf die Messgeräte und Probeneinlässe auf den Terrassen des 4., 5. und 6. Obergeschosses



Probeneinlass zur Bestimmung der Partikelmasse



Messreihe der Kohlenstoffdioxidkonzentration



Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)



Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) – Bayerns zentrale Fachbehörde für Umwelt- und Naturschutz, Geologie und Wasserwirtschaft – nutzt die besondere Lage des Schneefernerhauses für unterschiedliche Überwachungs- und Forschungsprojekte.

Bereits seit 2005 wird an der Zugspitze – stellvertretend für den bayerischen Alpenraum – der Eintrag von langlebigen Schadstoffen überwacht. Die untersuchten Chemikalien sind oft sehr mobil und nach ihrer Freisetzung kaum abbaubar. Sie können sich global verteilen und sind deshalb auch in abgelegenen Gebieten wie dem Alpenraum zu finden. Die gemessenen Konzentrationen dieser Schadstoffe in der Luft sind sehr gering, dennoch gelangen relevante Mengen in die alpinen Ökosysteme, da durch die höheren Niederschläge und geringeren Temperaturen in alpinen Regionen mehr Schadstoffe aus der Atmosphäre deponieren.

Man bezeichnet alpine und arktische Regionen deshalb auch als „Falle“ für Schadstoffe. Beim Schneefernerhaus handelt es sich um eine der wenigen Stationen deutschlandweit, an denen die Konzentrationen und Einträge dieser persistenten organischen Schadstoffe (POP) langfristig untersucht werden. Die Messungen dienen damit vor allem als Frühwarnsystem für steigende Schadstoffmengen oder das Auftreten neuer Schadstoffe.

Das bayerische Immissionsmessnetz für Radioaktivität (IfR) ist ein automatisches Messnetz, das an derzeit 36 Orten in ganz Bayern rund um die Uhr die Radioaktivität der Umwelt überwacht. Das IfR löst einen Alarm im LfU aus, wenn Messwerte bestimmte Schwellen überschreiten. Es hat somit eine Früherkennungsfunktion für den Fall, dass radioaktive Stoffe in die Umwelt gelangen und ermöglicht eine zeitnahe Reaktion. Um eventuelle, in höheren Luftschichten stattfindende Einträge aus dem Ausland erfassen zu können, ist am Schneefernerhaus eine IfR-Messstation eingerichtet. Sie ist umfassend ausgestattet: Mit einem Messgerät für die Gamma-Ortsdosisleistung zur Erkennung ver-

schiedener, auch gasförmiger radioaktiver Stoffe, mit einem Aerosolmonitor zur Erfassung radioaktiver Stoffe, die an Schwebstoffe gebunden sind, und mit einem Monitor für radioaktives Jod.

Die einzige Permafrost-Messstation in Deutschland wurde 2007 an der Zugspitze durch das LfU mit zwei Bohrungen eingerichtet. Permafrost bedeutet, dass die Temperaturen im Felsen dauerhaft unter 0 °C liegen. In den Alpen ist dies üblicherweise ab einer Höhe von 2 200 m der Fall. Infolge der Klimaerwärmung ist ein Auftauen von Permafrost zu erwarten. Dadurch können Steinschläge, Felsstürze und Setzungen häufiger auftreten. In den Bohrungen erfassen Sensoren im Stundenrhythmus die Temperaturen im Felsen. In den Jahren 2011 bis 2020 stieg die Temperatur im Felsen um etwa 0,4 °C an. Modellierungen, welche die Umgebungstemperatur einschließen, ergeben unter Berücksichtigung der aktuellen Klimamodelle das Ende des Permafrosts in diesem Bereich etwa um das Jahr 2040.

Der Erdbebendienst Bayern überwacht mit rund 30 Stationen die Erdbebenaktivität (Seismizität) in Bayern und informiert die Öffentlichkeit über das Auftreten von Erdbeben. Jährlich treten in Bayern Hunderte von Erdbeben auf. Einige dieser Erdstöße sind stark genug, um von der Bevölkerung verspürt zu werden. Um die Öffentlichkeit über alle fühlbaren Erdbeben schnell und umfassend zu informieren, wird in einer Kooperation zwischen dem Department für Geo- und Umweltwissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München und dem LfU der Erdbebendienst Bayern betrieben. Die seismische Station im Schneefernerhaus ist eine wichtige Station zur Überwachung der Erdbebenregion Inntal-Estergebirge und dient zugleich der Untersuchung von Topografieeffekten der seismischen Wellenausbreitung, welche zu verstärkten Schäden führen kann.

Ein wichtiges Forschungsthema ist auch die Biodiversität. Dafür erfasst das LfU die Artenvielfalt an der Zugspitze. Es kommen dort viele seltene Arten vor, die speziell an kaltes Klima angepasst sind. Dazu gehören Alpenschneehühner und Schneesperlinge, die das ganze Jahr über auf der Zugspitze anzutreffen sind. Neben ornithologischen Erfassungen werden vom LfU Pflanzen und Insekten aufgenommen. So wurden mit Hilfe



Messgerät zur Bestimmung der Gamma-Ortsdosisleistung.



Für die Kartierung von Alpenschneehühnern werden Klangattrappen eingesetzt. Die Hähne reagieren darauf häufig mit Gesang.

von Malaisefallen in einem Jahr 168 Schmetterlingsarten auf dem Zugspitzplatt nachgewiesen. Über Säugetiere ist in Lagen über 2 000 Meter besonders wenig bekannt. An der UFS sind deshalb Batcorder installiert, die die Ultraschalltöne von Fledermäusen aufzeichnen. Wie sich die Artzusammensetzung in Zukunft entwickelt, ist wegen des Klimawandels eine besonders spannende Frage.

Das Virtuelle Alpenobservatorium (VAO)



Das Virtuelle Alpenobservatorium (VAO) ist ein Netzwerk von 12 europäischen Observatorien und Forschungseinrichtungen in alpinen Gebieten und im Hochgebirge. Ziel des Netzwerks ist es, die interdisziplinäre Zusammenarbeit in den Bereichen Atmosphäre, Kryosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre, Erdoberfläche, Lithosphäre und Mensch-Umwelt-Interaktion zu fördern. Es bildet die Grundlage eines ganzheitlichen Prozessverständnis in den Alpen und Hochgebirgsregionen in einem sich stetig wandelnden Klima sowie einer sich verändernden Umwelt. Es zeichnet sich durch landesübergreifend koordinierte Forschung aus.

Die Alpenregionen sind wie eine Zeitmaschine für den Klimawandel, da sie sich doppelt so schnell erwärmen wie das europäische Flachland. Die gemeinsame Forschung dient der Entwicklung von Modellen und Vorhersagen, um die alpine Umwelt auch in Zukunft verstehen zu können. Das gemeinsame Handeln liefert die Grundlage für wissenschaftsbasierte Entscheidungen für kommunale, nationale und internationale Entscheidungsträger. Die vertikale Integration aller alpinen Sphären steht dabei im Mittelpunkt und bietet einen einzigartigen Ansatz, um kombiniertes transdisziplinäres Wissen zu nutzen.





Armenien



Norwegen



Bulgarien



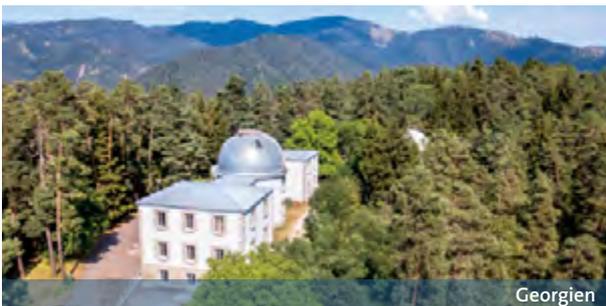
Österreich



Frankreich



Schweiz



Georgien



Slowenien



Italien



Tschechien

Geschichte & Meilensteine Schneefernerhaus



1931 Gipfelseilbahn Schneefernerhaus

1931

Eröffnung
Hotel Schneefernerhaus



Geselliges Beisammensein in den 1930ern



1932 mit alter Hangbahn

1952

Freigabe des Hotels
Schneefernerhaus

1930

Eröffnung der Zahnradstrecke
Eibsee-Schneefernerhaus



1930 Eröffnung Strecke Eibsee bis Schneefernerhaus

1945

Beschlagnahmung durch
amerikanische Truppen



1965

Schweres Lawinen-
unglück am 15. Mai



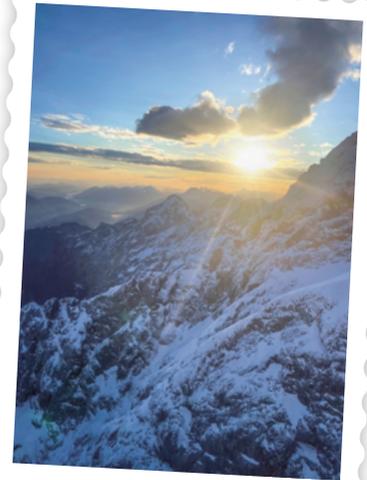
1965 Lawinen-Verbauung



1989 Sonnalpin-Terrasse



ab 1989 Sonnalpin Innenräume



1995

Beginn der
Umbaumaß-
nahmen UFS

2012

Gründung des Virtuellen
Alpenobservatorium (VAO)

1989

Eröffnung Restaurant
Sonnalpin am Zugspitzplatt

1990

Schließung Hotel
Schneefernerhaus

1999

Eröffnung Umwelt-
forschungsstation
Schneefernerhaus

2009

Inbetriebnahme
„Forscherbahn“
zur Station



Liegeterrasse Hotel Schneefernerhaus







Bildnachweise

Titelbild UFS GmbH | **S. 2/3** UFS GmbH | **S. 4/5** UFS GmbH | **S. 6/7** UFS GmbH | **S. 8/9** UFS GmbH | **S. 10/11** Maria Plaza, IEM | **S. 12/13** UFS GmbH | **S. 14/15** UFS GmbH; LMU; Max Maahn | **S. 16/17** MPG | **S. 18/19** UFS GmbH | **S. 20** UFS GmbH | **S. 21** UAU | **S. 22/23** Dr. Wegmann/EORC/JMU; Dr. Wegmann/EORC/JMU; EORC/JMU; Dr. Wegmann/EORC/JMU | **S. 24/25** UFS GmbH; Susanne Kambor (UBA); Susanne Kambor (UBA); Cedric Couret (UBA) | **S. 26/27** Patricia Darmstadt (LfU); Wolfgang Hackl (LfU); Mathias Putze (LfU) | **S. 28** UFS GmbH | **S. 29** Aragats Research Station; S. Jaax; C. Angelov BEO Moussala; L. Rasser ZAMG; Franck Delbart/UMS3370; N. Trauffer; G. Didebulidze; S. Stanic; EURAC; J. Simunek | **S. 30/31** Bayerische Zugspitzbahn | **S. 32/33** UFS GmbH | **S. 35** UFS GmbH

Impressum

Herausgeber

Betriebsgesellschaft Umweltforschungsstation
Schneefernerhaus GmbH
Zugspitze 5
82475 Zugspitze

Internet

www.schneefernerhaus.de

E-Mail

presse@schneefernerhaus.de

Titelfoto

Betriebsgesellschaft Umweltforschungsstation
Schneefernerhaus GmbH

Redaktion

Laura Schmidt
Betriebsgesellschaft Umweltforschungsstation
Schneefernerhaus GmbH

Gestaltung

CMS – Cross Media Solutions Würzburg
www.crossmediasolutions.de

Druck

Schwarzbach Graphic Relations GmbH

Stand

November 2024



finanziert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



© Betriebsgesellschaft Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH, alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf Papier aus 100% Altpapier

Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Publikation wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.



