

Campus Alpin AN DER SPITZE

Atmosphären- und Klimaforschung in Garmisch-Partenkirchen

VON TATJANA RAUCH // FOTOS: GABI ZACHMANN, MARKUS BREIG

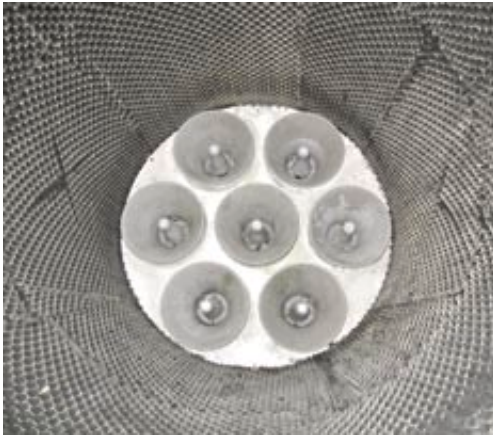
Ein leises Sirren der Seile. Aus Nebelschwaden taucht die Gondel auf, die acht Personen aufnimmt für eine kurze Fahrt vom Zugspitzplatt zu dem elfstöckigen, metallverkleideten Gebäudekomplex – halb Trutzburg, halb Raumstation, eingegraben in den Berg. Die Verankerung im Felsmassiv: Halt und Herausforderung zugleich – weiter oben

am Berg stehen Lawinenschutzgitter. Das auf 2650 Metern am steilen Südhang der Zugspitze liegende Schneefernerhaus, einst Skihotel, zusammen mit dem älteren Zugspitze-Gipfelobservatorium seit 1998 Deutschlands höchstgelegener Forschungsstandort, bietet zehn renommierten Institutionen und rund 20 Mitarbeitern Raum für Forschungen – darunter auch das Team des Instituts für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) des KIT.

Mit seiner angewandten Atmosphären- und Klimaforschung und einer Grundfinanzierung von 5,1 Millionen Euro, von denen 90 Prozent vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und zehn Prozent vom Freistaat Bayern stammen, ist das IMK-IFU auch ein Partner in Umweltfragen: „Wir wollen unsere Forschungsergebnisse der Öffentlichkeit und Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft vermitteln. Denn wir wollen zum Natur- und Umweltschutz als einer der größten soziopolitischen Herausforderungen unserer Zeit beitragen. Und das gelingt uns immer öfter“, so

Wie ein riesiger Subwoofer: Das System für bodengestützte Fernerkundung schickt akustische Signale ins All.

Like a huge subwoofer: The ground-based remote sensing system sends acoustic signals into the universe.



„Wir wollen zum Natur- und Umweltschutz als einer der größten soziopolitischen Herausforderungen unserer Zeit beitragen.“

Hans-Peter Schmid



Institutsleiter Hans-Peter Schmid. Im Profil des KIT-Zentrums Klima und Umwelt spielt die Außenstelle Garmisch – auch Campus Alpin genannt – eine wichtige Rolle.

Station eins: Spitzenforschung

In einem Labyrinth von verwinkelten Laboren, Büros und böigen Terrassen messen die Forscher im Schneefernerhaus kontinuierlich physikalische und chemische Eigenschaften der Atmosphäre. Wenn es sein muss, auch rund um die Uhr, denn Raum für den Wissenschaftler-Kurzschlaf bietet das Hotelgebäude von 1931 noch immer. Durch sich ergänzende Messungen mit hoch entwickelten Fernsondierungsverfahren auf dem Zugspitzgipfel mit 2962 Metern, dem benachbarten Wank auf 1780 Meter Höhe und der bei 745 Metern liegenden Garmischer Talstation des IMK-IFU erhalten die KIT-Forscher Aufschluss über die Auswirkungen von Klimaänderungen auf die besonders empfindliche Alpenregion – ohne bodennahe Störungen, unter emissionsfreien Bedingungen, am Rande der feuchten, bodennahen

Luftschichten. Und mit dem Klimawandel vor der Haustür: Denn die UFS liegt in direkter Nachbarschaft zum abschmelzenden Schneeferner Gletscher, hat durch die topographischen Veränderungen der Bergwelt einen Gesichtswandel erlebt. Viele der gewonnenen Daten speist der Observatorien-Verbund Garmisch, Zugspitze-Gipfel und Schneefernerhaus – laut Dr. Ralf Sussmann, Leiter der IMK-IFU-Arbeitsgruppe für Atmosphärensondierung, „einer der am besten ausgestatteten Atmosphärenmessstandorte der Welt“ – in internationale Messnetze wie das „Network for the Detection of Atmospheric Composition Change“ (NDACC) oder das „Total Carbon Column Observing Network“ (TCCON) ein. „Wir bestimmen das Programm der Messnetze an federführenden Positionen mit“, sagt Sussmann. Gemessen werden „zwei Dutzend verschiedene Spurengase, Klimagase, ozonrelevante Gase, Luftschadstoffe, Aerosole, Partikel, Pollen, Wassertröpfchen, Eipartikel in Zirren und auch Vulkanstaub, so dass wir mit als Erste die Signatur des Eyjafjallajökull-Ausbruches erkennen konnten“.

Eine weitere Aufgabe: die Überwachung internationaler Abkommen zur Emissionsminderung wie die Kyoto- und Montreal-Protokolle. „Leider ist es hier wie mit der Polizei im Tatort“, so Ralf Sussmann, „wir leisten da eher Nach- als Vorsorge. Uns geht es aber nicht nur um die Identifikation des Verursachers, wir klären auch, wo die Emissionen hingelangen.“ Der außergewöhnliche Standort der UFS bringt wissenschaftliche Gewissheiten ins Wanken: In Deutschland wurde der Einbau von Katalysatoren in Neufahrzeugen ab 1989 zur Auflage gemacht. Während Messungen auf dem Wank deutlich sinkende Bodenozonewerte zeigten, ging der Trend auf der Zugspitze weiter nach oben. Die Intrusion von Luftmassen könnte hierbei eine entscheidende Rolle spielen.

Besonderes Augenmerk schenken die KIT-Forscher am Schneefernerhaus dem Wasserdampf als wichtigstem Treibhausgas in der Atmosphäre. Ein wichtiges Forschungsthema: der Rückkopplungsmechanismus zwischen der Klimaerwärmung,



Das kleinste bemannte Forschungsflugzeug der Welt und der Pilot: die Micro-light research aircraft D-MIFU und der Forscher Wolfgang Junkermann.

The smallest manned research aircraft in the world and the pilot: The Micro-light research aircraft D-MIFU and the scientist Wolfgang Junkermann.

zum Beispiel durch den CO₂-Anstieg, und einem möglicherweise daraus resultierenden globalen Anstieg des Wasserdampf-Säulengehalts, der das Klima erwärmen würde. Das IMK-IFU hat kürzlich eine Studie publiziert, die zeigt, dass dies allenfalls über Ozeanen zutrifft. „Über Land kann es durch die Klimaerwärmung trockener werden – wie unsere Langzeitmessungen mit Infrarotspektrometrie auf dem Zugspitzgipfel seit 1995 zeigen“, so Sussmann. Ein weiterer Aspekt: Vor allem in der oberen Troposphäre können sich geringe Änderungen der Wasserdampfkonzentration empfindlich auf den Strahlungstransport und damit auf das globale Klima auswirken. Um räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Wasserdampf-Vertikal-Profile im Höhenbereich der freien Troposphäre, je nach Wetterlage hier am Rande der Alpen von drei bis zwölf Kilometer, zu messen, wurde am Schneefernerhaus ein differentielles Absorptions-Lidar (DIAL) entwickelt.

An diesem arbeitet Hannes Vogelmann, einer der ersten IMK-Mitarbeiter am Schneefernerhaus, seit 2003 im Turm, der obenauf sitzt und der UFS eine futuristische Optik verleiht. Das Lidar schickt Laserimpulse senkrecht in den Himmel. Die zurückgestreuten Lichtimpulse fängt ein großes Empfangsteleskop ein.

Für Routinemessungen von Wasserdampf auch in der unteren Stratosphäre bis etwa 20 Kilometer wird derzeit ein großes Raman-Lidarsystem mit Rekordleistung aufgebaut. Eine leere Metallkuppel wartet

auf dem Turmdach deshalb auf eine Fracht, die einen Hubschraubereinsatz erfordert: Das mit einem 350 Watt starken Xenon-Chlorid-Lasersystem ausgerüstete Lidar, das den Turm mit einem pulsierenden Summton erfüllt, wird um ein Empfangsteleskop mit 1,5 Meter Spiegeldurchmesser und fünf Meter Brennweite auf dem Dach ergänzt.

Station zwei: Drunten im Tal

Zurück zur „Talstation“ des IMK-IFU: eine Kombination aus einer weiteren Fahrt mit der von den Forschern gesteuerten UFS-Bahn und einer rund 70minütigen, steilen Fahrt mit der Zahnradbahn durchs Felsmassiv, nach unten vom Zugspitzplatt bis zur Endstation nach Garmisch.

Ein Highlight ist das im Oktober 2009 fertig gestellte, zwei Millionen Euro teure, wissenschaftliche Gewächshaus. In diesem untersuchen die Forscher die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Umwelt. Luftfeuchtigkeit, CO₂-Konzentration, Temperatur, Wasserzufuhr und Lichtintensität können sie dabei auch über eine Internetschnittstelle regulieren. In röhrenartigen Gebilden manipulieren die Wissenschaftler hier Pappeln, die Labormäuse unter den Bäumen: Transgene Exemplare, die kein Isopren mehr emittieren, vergleichen sie mit unveränderten Exemplaren.

Das IMK-IFU modelliert dank einer leistungsstarken Recherausstattung das Klima auch numerisch mit

ÜBER DAS INSTITUT

Die Experimentierplattform Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) ist der spektakulärste Standort des Instituts für Atmosphärische Klimaforschung (IMK-IFU) am KIT, eines der ältesten Institute in Deutschland auf dem Gebiet der Atmosphären- und Klimaforschung. Nach dem Zweiten Weltkrieg als physikalisch-bioklimatische Forschungsstelle unter dem Physiker Reinhold Reiter an der Münchner Ludwig-Maximilians-Universität gegründet, wurde es 1954 zur Auswertung von Zugspitze-Messdaten zunächst in einem Farchanter Schafstall eingerichtet. 1973 wanderte es nach Garmisch-Partenkirchen und kam nach einer rund 40jährigen Phase unter Fraunhofer-Ägide und der Leitung von Professor Wolfgang Seiler 2002 zur Helmholtz-Gemeinschaft. Als IMK-IFU wurde es in das bereits bestehende Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Forschungszentrums Karlsruhe integriert. Im KIT-Zeitalter erhielt die „Außenstelle Garmisch“ – in Anlehnung an die KIT-Bezeichnungen Campus Süd und Nord – den informellen Titel „Campus Alpin“. Im September war er Ziel einer Reise der Alumni des KIT.

Umweltpolitische Themen in Deutschland bestimmten Entwicklung und Erfolg des IFU stets mit: die Folgen der globalen Atombombentests während des Kalten Krieges, die Luftverschmutzung in den 1970ern, das Waldsterben oder die FCKW-Problematik in den 1980ern. Aktuell beschäftigen die rund 90 Physiker, Geowissenschaftler und Biologen des Instituts – seit 2007 unter der Leitung von Professor Hans Peter Schmid – vor allem die globale Klimaänderung und ihre regionalen Auswirkungen. Am IMK-IFU werden regionale Klima- und Erdsysteme modelliert und erforscht. Ebenfalls im Fokus: anthropogene und biogene Emissionen von Klimagasen.

Zwei Mal täglich sagt das IMK-IFU das Wetter voraus (www.imk-ifu.kit.edu/wetter/wettermenue_e.php).

Fokus auf die regionale Klimasimulation. Schwerpunkte sind Untersuchungen des Wasserhaushalts und der Luftqualität. Ausgangspunkt für die Rechnungen sind die von globalen Analyse- und Klimamodellen berechneten Daten, die nur in grober räumlicher Auflösung vorliegen. Ein Nebenprodukt dieser Arbeiten sind regionale Wetterprognosen, die das IMK-IFU zwei Mal täglich erstellt. Grundlage für die Berechnungen sind die Prognosedaten des US-amerikanischen globalen Vorhersagemodells GFS, die in mehreren Stufen für Europa, das südliche Mitteleuropa, den bayerischen Alpenraum und das Alpenvorland regionalisiert werden. Weitere Anwendungsgebiete: Mexiko, Westafrika, der Nahe Osten und Ostasien.

Die Forscher in der Abteilung „Bio-Chemische Prozesse“ um Klaus Butterbach-Bahl, die sich mit dem Austausch von Spurengasen zwischen Bio- und Atmosphäre beschäftigen, publizierten auf der Basis von Messungen im Grasland in der inneren Mongolei in der April-Ausgabe von „Nature“ ein Aufsehen erregendes Forschungsergebnis: Regelmäßige Weidewirtschaft kann sich – zumindest in bestimmten klimatischen Regionen – positiv auf die Lachgasbilanz eines Areals auswirken. In den semi-ariden Steppen, in denen im Winter der Boden gefroren ist, wechseln sich im Frühjahr Tau- und Frostperioden ab. Gerade in dieser Zeit gibt der Boden große Auftauemissionen in Form von Distickstoffmonoxid ab: Die oberen Bodenregionen bis 20 Zentimeter Tiefe sind mit Schmelzwasser gesättigt. Die darin befindlichen Bakterien setzen den Stickstoff im Boden frei, aus dem das Lachgas entsteht. Auf der abgeweideten Fläche hingegen bleibt weniger Schnee liegen, so dass weniger Schmelzwasser und mikrobielle Aktivität und damit weniger Lachgas entsteht.

Wie ein großes Ohr in die Atmosphäre wartet ein Fahrzeug mit einem großen Schalltrichter in einer Halle auf seinen Einsatz: Für die bodengestützte Fernerkundung hat das IMK-IFU mehrere mit akustischen Signalen arbeitende, mobile Geräte zur Erfassung umweltrelevanter Spurenstoffe und atmosphärischer Parameter entwickelt. Für den Bereich zwischen Berg und Tal, bis in Höhen von 4500 Metern, steht dem IMK-IFU ein mobiles Labor zur Verfügung. Der Wissenschaftler Wolfgang Junkermann fliegt das Microlight research aircraft D-MIFU – das „kleinste bemannte Forschungsflugzeug der Welt“. Das IMK-IFU setzt es ein für regi-

„Wir konnten mit als Erste die Signatur des Eyjafjallajökull-Ausbruchs erkennen.“

Ralf Sussmann



Seit Oktober 2009 ein Aushängeschild für das IMK-IFU: das Gewächshaus auf dem Gelände der Talstation in Garmisch.
Built in October 2009, the greenhouse on the area of the valley station in Garmisch is another highlight of IMK-IFU.



Feinste Messtechnik auf der grünen Wiese: Die drei Tonnen schweren Lysimeterzylinder am Standort Fendt liefern Bodenmessungen.

Finest technology in the meadow: At the Fendt site, lysimeter cylinders of three tons in weight each perform ground-based measurements.



Instrumente am Hang: die Metallkuppel für das Empfangsteleskop.

Instruments at the slope: the metal cupola for the reception telescope.

„Boden ist der zentrale Speicher für Kohlenstoff.“

Klaus Butterbach-Bahl



onale Untersuchungen der Mikrometeorologie, der Wechselwirkung zwischen Boden und Atmosphäre sowie des Einflusses von feinsten Staubpartikeln auf Strahlungsbilanz, Wolken und Niederschlag. Das „Flugzeug in der Box“ lässt sich per Luftfracht versenden, es war schon in Mexiko und China im Einsatz.

Station drei: Auf der Grünen Wiese

Kuhglockengeläut, saftig grüne Wiesen und Maisfelder säumen den Weg zum Forschungsobservatorium preAlpine Standort Fendt, Teil des mit zwölf Millionen ausgestatteten Helmholtz-Großvorhabens TERENO (Terrestrial Environmental Observatories). Es ist der Aufbauphase mit Strom- und DSL-Datenanbindung in einem Scheunengebäude entronnen, aber vor allem „open air“. TERENO untersucht die langfristigen Folgen des Klimawandels auf die regionalen Ökosysteme. Sechs Helmholtz-Zentren betreiben ein über Deutschland verteiltes Netzwerk von vier Observatorien und zwölf Messdaten liefernden Standorten. Im Fokus stehen bei den langfristig angelegten Freilandmessungen die Interaktionen und Reaktionen im Komplex Boden-Wasserressourcen-Vegetation-Klima-Atmosphäre. Eine wichtige Aufgabe des Observatoriums, das Professor Hans Papen koordiniert: die Erforschung der durch Land- und Forstwirtschaft sowie Tourismus geprägte Alpen- und Alpenvorlandregion. „Die in einem Zeitraum von über zehn Jahren gesammelten Beobachtungen verschiedenster Prozesse im Boden, an der Oberfläche und dem unteren Teil der Atmosphäre zeigen uns aus dem Blickwinkel verschiedener Disziplinen nicht nur Kleckse, sondern ‚Landkarten‘ der Umweltforschung“, sagt Hans-Peter Schmid.

Am Observatorium im Einzugsgebiet des Ammerflusses beobachten die Forscher die Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt. Der größte Unsicherheitsfaktor bei der Analyse laut dem zuständigen Abteilungsleiter Harald Kunstmann: räumlich stark variierende Niederschläge. In Ergänzung zu Erhebungen mit Niederschlagstöp-

fen und Radarmessungen gehen die IMK-IFU-Forscher neue Wege, indem sie sich ein Phänomen zu nutze machen, das für die Betreiber kommerzieller Mobilfunknetze lange ein „Problemfall“ war: Mikrowellensignale des Richtfunkmasten-Netzes werden bei Regen abgeschwächt. Und gerade diese Dämpfungsinformation liefert Rückschlüsse auf die Intensität und Menge der Niederschläge.

Fast unsichtbar und von den Kühen konsequent ignoriert: die drei Tonnen schweren Lysimeter am Standort Fendt. Diese nach oben offenen, mit einem Bodenkern samt Grasbewuchs gefüllten Zylinder sind ins Erdreich abgesenkt. 18 Lysimeter sollen in Verbindung mit Messstationen zukünftig Bodenmessungen von Energie-, Wasser- und Nährstoffbilanzen, Treibhausgasemissionen, Stoffaustrag ins Grundwasser und Biodiversität ermöglichen. Eine entscheidende Rolle spielen dabei bis auf ein Gramm genau messende Wiegelemente und eingebrachte Sonden. Analysiert werden können so die Kohlenstoffvorräte im Boden. „Boden ist der zentrale Speicher für Kohlenstoff“, betont Butterbach-Bahl, der die Lysimeteranlage mit aufbaut. „Wird durch Klimaveränderungen nur ein kleiner Prozentteil des im Boden global gespeicherten Kohlenstoffs frei, stehen wir vor einem massiven Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration“.

Mit den Lysimetern errichtet das IMK-IFU in der Helmholtz-Initiative TERENO-SoilCan ein Netzwerk von Helmholtz-Klima-Feedback-Stationen. Bodenkern von höher liegenden Grünlandstandorten wie Grasswang werden an niedriger gelegene Standorte wie Fendt versetzt, um den natürlichen Temperatur- und Niederschlagsgradienten zur Simulation der zu erwartenden Klimaänderung zu nutzen. Kapitulieren muss die Lysimeteranlage bei ihren Messungen derzeit noch bei dicken Schneedecken. An der Lösung des Problems arbeiten die IMK-IFU-Forscher und Mitarbeiter der Partnerfirma UMS aber fieberhaft.

Campus Alpine: Atmosphere and Climate RESEARCH HIGH ABOVE

Perched 2650 meters high on the steep southern slope of the Zugspitze, the Schneefernhaus, a former Garmisch-Partenkirchen ski hotel, is Germany's highest research site, along with the older Zugspitze summit observatory. Since 1998, it has hosted ten renowned institutions and a staff of approximately twenty researchers, among them members of the Atmospheric Environmental Research Division of the KIT Institute of Meteorology and Climate Research (IMK-IFU). The experimental platform is the Institute's most spectacular station: In a labyrinth of small laboratories, angled offices, and windy terraces, the researchers take continuous measurements of the physical and chemical properties of the atmosphere. The measurements serve to monitor international agreements on the reduction of emissions such as the Kyoto and Montreal protocols and to scrutinize fundamentally the variability and movements of micromaterials in the atmosphere with regard to a changing climate. Additional stations operated by IMK-IFU are found in the valley and the meadows at the foot of the mountain: Interactions between plants and the environment are investigated in a scientific greenhouse, and the long-term effects of climate change on the ecosystems in the region are studied at the TERENO pre-alpine observatory that is located at Fendt.

IMK-IFU is a valuable partner in environmental issues whose know-how is based on applied atmospheric and climate research. "We want to make our research results available to the public and the political and economic decision-makers to contribute to two of the central socio-political challenges of our time: Nature conservation and environmental protection," says Head of the Institute Hans-Peter Schmid. In the profile of the KIT Climate and Environment Center, the Garmisch research outpost – also called Campus Alpine – plays an important role.