

## Bewölkt

Lebensspender am Himmel: Wolken spielen beim Klimawandel und im Wasserkreislauf eine tragende Rolle. **Thema · Seiten 28 und 29**

## Wechselhaft

Her mit dem Bildungsgutschein – und alles wird gut? Das verspricht die Theorie. Zwei BildungsökonomInnen ziehen eine eher ernüchternde Bilanz. **Seite 31**

## Bedeckt

Was leistet Lehrerbildung? Was wissen und können Lehrer? Erstaunlich: Sichere Antworten gibt es bisher kaum. Eine große Studie soll das ändern. **Seite 32**

## Benebelt

Ein Gläschen Sekt, man wird ja nicht alle Tage 14. Es folgen Alkopops in der Disko, dann mehr. Und viele kommen vom Alkohol nicht mehr los. **Zeitung in der Schule · Seite 30**

## Nützlich & hilfreich

Wohin? **Seite 31**  
 Beziehungsweise **Seite 31**  
 Internet-Tipp **Seite 32**  
 Comic **Seite 32**



Himmelsnahe Arbeitsstelle: Europas höchste Forschungsstation Sphinx thron in 3580 Meter Höhe auf dem Jungfraujoch. Dahinter der längste Eisstrom der Alpen, der Aletschgletscher.

BILD: JUNGFRAUJUCH RAILWAYS / SWITZERLAND TOURISM

# Außer Puste

Die Wolkenjäger auf dem Jungfraujoch erforschen in 3580 Meter Höhe den Einfluss von Schwebeteilchen auf das Klima

VON ANDREA NEITZEL (JUNGFRAUJUCH)

Der Aletschgletscher streckt von hier aus seine breite weiße Zunge aus. Mönch und Eiger sind zum Greifen nah, in der Ferne sind schemenhaft sogar noch Vogesen und Schwarzwald sichtbar. Der Blick vom Jungfraujoch ist atemberaubend. Im Wortsinn. In 3580 Meter Höhe über dem Meer ist die grandiose Aussicht über die Schweizer Alpen nur um den Preis von Kurzatmigkeit und verstärkter Herzfrequenz zu haben.

Ernest Weingartner, Atmosphärenphysiker am Paul-Scherrer-Institut (PSI) in Villingen, wirkt allerdings von diesem Panorama nicht sonderlich beeindruckt. „Zum Glück“, sagt er, während er bedächtig und mit weißen Wölkchen vor dem Mund die Treppe zum Dach der Forschungsstation hinaufsteigt, „zum Glück hatten wir im Frühjahr nicht oft so ein Wetter. Meistens war hier alles schön mit Wolken verhangen.“ Dabei ist keine Ironie in der Stimme und kein Grinsen im Gesicht, der Mann meint das völlig ernst. Kein Wunder: Weingartner ist „Wolkenjäger“, er leitet die Aerosolforschung auf dem Jungfraujoch.

Von Anfang Februar bis April war ein internationales Team von insgesamt 14 Wissenschaftlern auf einer der höchsten Forschungsstationen Europas einquartiert, um im Rahmen der Clace3-Kampagne einem Phänomen nachzuspüren, von dem ein Laie erst mal nicht annimmt, dass es noch große Geheimnisse birgt – der Wolkenbildung. „Aerosole und Wolken sind die großen Unbekannten in der Klimaforschung“, betont hingegen Weingartner. Es muss wohl stimmen, denn aus Jux und Dollerei hätten er und seine Kollegen wohl kaum 4,5 Tonnen Material in die Station geschleppt, vor allem, da der Aufzug deutlich unterhalb des Labors endet. Die Geräte sollen helfen, die Bedeutung der Aerosole für das Klima,

Aerosole können wegen ihrer geringen Größe in die unteren Atemwege eindringen.

aber auch für die Gesundheit, besser zu verstehen. Aerosole sind winzige Partikel, die gelöst oder in fester Form in der Luft schweben. Mineralstaub, Ruß, Pollen, aber auch chemische Verbindungen wie Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat gehören dazu. Solche Schwebeteilchen beeinflussen zum einen die Gesundheit. Wegen ihrer geringen Größe können sie in die unteren Atemwege eindringen und von dort auch in den Blutkreislauf gelangen. Handelt es sich um krebsregende Partikel, sind Aerosole deshalb gefährlich. Doch welcher Anteil des Partikels gefährlich ist, die chemische Zusammensetzung, die Oberfläche oder eine Kombination aus beiden, ist noch unbekannt.

Die andere Eigenschaft der Aerosole ist ihre Auswirkung auf das Klima. Man nimmt an, dass die meisten Aerosole das Sonnenlicht reflektieren, deshalb kühlend auf unser Klima wirken und tendenziell ein Gegengewicht zur Erderwärmung durch den Treibhauseffekt bilden, wie Weingartner erläutert. Das gilt aber beispielsweise nicht für Rußpartikel, die das Licht absorbieren und damit doch wieder für Erwärmung der Atmosphäre sorgen.

Gleichzeitig sind Aerosolteilchen auch für die Bildung von Wolken bedeutsam, deren „Dichte“ und letztlich auch deren Lebensdauer. Die Aerosole dienen dabei als Kondensationskeime für Wolkentröpfchen, dem Grundbaustein jeder Wolke. Und es wird vermutet, dass es bestimmte Partikel gibt, die speziell die Eisbildung in Wolken auslösen. Doch über deren physikalische und chemische Zusammensetzung ist kaum etwas bekannt. Vermutungen, Annahmen, Wahrscheinlichkeiten – Weingartners Vokabular klingt mehr nach einem Geisteswissenschaftler als nach einem Physiker. Er lacht. „Ja, der Wissensstand der Aerosolforschung ist im Vergleich zu anderen Klimaeffekten wirklich dürrtig.“

Das zu ändern ist das Ziel der Clace3-Kampagne. Mit verschiedensten Apparaturen haben die Forscher den kleinen großen Unbekannten untersucht. Beispielsweise mit dem „Aethalometer“; der misst, wie gut Aerosole Licht in verschiedenen Wellenlängen aufnehmen können; oder mit dem Massenspektrometer, das die Zusammensetzung der aus den Wolken angesaugten Partikel bestimmt; oder mit dem FSSP, der mit Hilfe von Laserstrahlen die Größenverteilung der Wolkentröpfchen erfasst.

Ganz neu im Einsatz war das Ice-CVI, ein Gerät, das in Leipzig entwickelt wurde und das es erstmals ermöglichte, Eiskristalle aus der Luft zu filtern. Das Instrument trennt Eiskristalle von den Wassertropfchen, indem beide Teilchen mit hoher Geschwindigkeit auf eine gekühlte Platte geschossen werden. Die Wassertropfchen frieren fest, die Eiskristalle prallen daran ab. „Wir erhoffen uns von diesen Messungen ganz neue Erkenntnisse über die Eiskristallbildung“, ist Weingartner begeistert.

Warum man für diese Art der Messung die Strapazen auf sich nehmen muss, in der schwindelerregenden Höhe zu arbeiten – „die ersten zwei Nächte sind immer fürchterlich, ständig wacht man auf und hat das

Gefühl, man kriegt keine Luft“, beschreibt Weingartner – liegt an genau eben jener Höhe: Das Jungfraujoch befindet sich in der mittleren Troposphäre, das heißt die Aerosole können fern ihrer Entstehungsquelle, dafür aber am Ort ihrer Wirkung beobachtet werden. In Zahlen ausgedrückt: In der Stadt misst man typischerweise 100000 Partikel pro Kubikzentimeter Luft, auf dem Land etwa 10000 und in der Troposphäre nur noch 1000.

Im Sommer aber wird das „Joch“ von der planetaren Grenzschicht beeinflusst, der Luftschiicht, in der sich die Schadstoffe, die „quellennahe Aerosole“, ansammeln. Die Begrenzung von planetarer Grenzschicht zur Troposphäre ist durch einen „Knick“ im Temperaturprofil gekennzeichnet, der eine Durchmischung beider Luftmassen verhindert. Da auf dem Jungfraujoch mal die eine, mal die andere Luftschiicht vorhanden ist, können die Forscher an einem Standort also sowohl quellennahe wie auch quellennahe Aerosole unter die Lupe nehmen.

Für diese idealen Bedingungen nehmen die Forscher dann auch in Kauf, in eher studentischen Verhältnissen zu hausen. Höhenangst dürfen sie bei dieser himmelsnahen Arbeitsstelle nicht haben, das ist klar,

aber Platzangst ganz sicher auch nicht. Für die zwölf Schlafzimmer im Forscherhaus ist das Wort spartanisch noch übertrieben und da an Clace3 sogar 14 Leute teilnahmen, musste man noch zwei Feldbetten aufstellen. Ein ehemaliger medizinischer Untersuchungsraum dient als Vorratskammer, in den Regalen besagen angepöppelte Zettelchen, wem welche Konserven gehören.

Dafür wirkt der Aufenthaltsum mit seinen rustikalen Möbeln ausgesprochen gemütlich, und die freundlichen Hauswarte, die sich auch dann noch um die Anlage kümmern, wenn die „Forscherbande“ wieder abgezogen ist, servieren frischen heißen Kaffee mit leckeren Keksen.

Zwei übrig gebliebene Tassen in der Spüle und eine angebrochene Dose Pulverkaffee sind auch im Labor schweigender Beleg für das Lieblingsgetränk der Forscher. Für Bergromantik inklusive Weite und Einsamkeit bleibt kein Platz. Und nur wenig für privaten Rückzug. Kein Wunder, dass es bei solchen Großprojekten denn auch mal zu „zwischenmenschlichen Spannungen“ kommt, wie Weingartner es nennt. Dem Enthusiasmus der 14 Teilnehmer tat das aber keinen Abbruch. Weingartner und seine Kollegen sind davon überzeugt, die Wissenslücken bei den Aerosolen und der Wolkenbildung mit der Kampagne zumindest ein Stück gestopft zu haben.

Unter anderem sei nun verständlicher, wie die Aktivierung von Rußpartikeln zu Wolkentröpfchen in den verschiedenen Jahreszeiten funktioniert. „Erste Grobanalysen der erhobenen Daten sind vielversprechend“, freut sich Weingartner. Die Feinanalyse der Daten und ihre Interpretation wird aber sicher noch Monate dauern.

Ziel der Messreihe ist es, die Auswirkungen der Aerosole auf die Umwelt und insbesondere das Klima besser beurteilen zu können. Für Ernest Weingartner steht aber unabhängig von der Auswertung der Messung schon fest: „Wir müssen die Emissionen der Aerosole verringern.“

## WISSENS-WERT

# Emmerichs Blockbuster

VON JOACHIM WILLE

„The day after tomorrow?“ Nein. Kein Gedanke an die Apokalypse. Captain Henry Ellis sorgte sich nicht ums Weltklima und eine neue Eiszeit wie Hollywood-Regisseur Roland Emmerich in seinem neuen Katastrophenfilm, sondern um seinen Wein und die mörderische Hitze. Und doch verbindet Ellis und Emmerich mehr, als man auf den ersten Blick erkennt.

Die Temperatur auf Henry Ellis' Sklavenschiff, das Mitte des 18. Jahrhunderts in subtropischen Breiten zwischen Afrika und Amerika pendelte, war unerträglich. Und dann zur Entspannung, abends in der Kajüte, lauwarm, ungekühlter Wein? Unmöglich. Abhilfe musste her. 1300 Meter Seil und ein Spezial-Eimer brachten die Lösung. Der Captain und Hobby-Naturforscher

ließ das extra beschwerte Gefäß tief in den an der Oberfläche warmen Atlantik hinabsenken – und voll mit eiskaltem Wasser kam er wieder herauf. Ellis entdeckte mit seinem Tauchexperiment einen wichtigen Antrieb der Klimamaschine der Erde, freilich ohne die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge jemals zu erkennen: die weltumspannenden warmen und kalten „Förderbänder“ in den Ozeanen.

Die Sorge, dass der Golfstrom als Wärmepumpe für den Nordatlantik auf Grund der Klimaerwärmung stehen bleiben könnte, liefert nun die Folie für Emmerichs Film.

Der Golfstrom ist davon hier zu Lande das bekannteste, weil er mit seiner Verlängerung, der Nordatlantik-Drift, quasi Europas Zentralheizung darstellt. Er transportiert eine gigantische Energiemenge – entsprechend der Leistung von einer Million Atomkraftwerken – aus dem Golf von Mexiko quer über den Atlantik und sorgt so dafür, dass es in Nordeuropa fünf bis zehn Grad wärmer ist, als es dem Breitengrad entspricht. Die unter Wissenschaftlern seit den 80er Jahren umgehende, sich inzwischen verdichtende Sorge, dass jene Wärmepumpe für den Nordatlantik paradoxerweise gerade auf Grund der Klimaerwärmung stehen bleiben könnte, liefert nun die Folie für Emmerichs Film.

Ellis, der skrupellose Sklaventransporteur, kommt in dem Hollywood-Epos nicht vor. Dabei hätte er vom Naturell her prima hineingepasst. Denn Emmerichs brandmarkt eine von der Energielobby gesteuerte politische Clique als Verursacher des Klima-GAU's, der New York in Flutwellen untergehen lässt, Los Angeles mit gigantischen Wirbelstürmen überzieht und Tokio in Hagelschauer erstickt.

Der Apokalypse-Filmer trägt dick auf, er strapaziert die Wissenschaft, die solch dramatische Szenarien niemals entworfen hat – und heimst trotzdem die Bewunderung ein. Sogar bei Klimaforschern, die sonst versuchen, ihr Metier vom Ruch des Apokalypse-Fachs zu befreien. Sie scheinen froh, dass ihr zuletzt etwas in den Hintergrund geratenes Thema nun auch Otto Normalverbraucher nachdenklich werden lässt. Und sie vertrauen darauf, dass die Zuschauer schon zwischen Film und Wahrheit unterscheiden können.

Emmerich folgt Hollywoods Gesetzen. Ein Blockbuster, der 120 Millionen Dollar Produktionskosten wieder hereinspielen muss, kann keine Wissenschafts-Doku sein. Wenn das Ganze Folgen in der realen Welt hat, sollte man aber in der Tat Nachsicht walten lassen: Speziell dann, wenn „The Day After Tomorrow“ die US-Öffentlichkeit aufrüttelt und der US-Regierung Druck macht, von ihrem Nach-mir-die-Sintflut-Kurs in der Klimapolitik abzugehen.

George Bush jr. wäre willkommen als geläuteter Hauptdarsteller – etwa auf Klimagipfeln. Zum Beispiel nächste Woche in Bonn, wo es bei der von der Bundesregierung veranstalteten internationalen Konferenz „Renewables 2004“ um die Förderung der Erneuerbaren Energien geht. Die Wahrscheinlichkeit ist gering. Aber vielleicht überlegt er sich's ja noch, wenn er im Kino war. Filmstart ist am 27. Mai.