



STRAHLENFÄNGER. So sieht es aus, wenn Solarforscher Sonnenlicht einfangen. In den kuppelförmigen Messgeräten sammelt sich der Infrarot-Anteil des Spektrums.

RAY CATCHER. This is what it looks like when solar researchers catch the sunlight. The infrared share of the spectrum collects in these dome-shaped measuring devices.



UNBEKANNTE GRÖSSE. SEIT 1907 IST MAN AM PHYSIKALISCH-METEOROLOGISCHEN OBSERVATORIUM DAVOS (PMOD) DEN GEHEIMNISSEN DER SONNE AUF DER SPUR. MIT BLENDENDEN ERFOLG.

Sie sind neugierig und ehrgeizig. Sie wollen alles über die Sonne wissen. Doch die gibt ihre Geheimnisse nicht so leicht preis. Sie sind Schweizer und gehören zu den Besten der Welt – was sich allerdings auch erst auf den zweiten Blick offenbart.

Das beginnt schon damit, dass die Solarforscher des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos (PMOD) ziemlich abseits von allem normalen Wissenschaftsbetrieb im Gebirge Graubündens arbeiten. Und das tun sie auch noch in einem ehemaligen Dorfschulhaus mit Sprossenfenstern, einem Rundturm über der Eingangshalle, einem hohen Schieferdach und dem mächtigen Anbau der Turnhalle. Doch vor dem alten Schulgebäude und auf seinem Dach sind Dutzende von Messge-

räten installiert. Klobige Kästen auf stabilen Dreibeinen neben Dutzenden weißer Plastikkuppeln, die wie eine in Reih und Glied wuchernde, mutierte Champignon-Kultur aussehen. Außerdem Röhren, die Batterien von Kanonen gleich Richtung Sonne zielen, allerdings nicht um irgendetwas abzufeuern, sondern um etwas einzufangen. Denn alle diese Geräte sind Radiometer, die Sonnenstrahlen

HIGHTECH-IDYLLE. Kaum zu glauben, dass in diesem alten Schulhaus Forschung auf Weltniveau betrieben wird.

HIGH-TECH-IDYLL. Hard to believe that high-level research is carried out in this old school-house.

messen, entweder die absolute Menge des Spektrums oder aber die Infrarot- und Ultraviolett-Anteile.

Sie wollen die Sonne enträtseln, die Wissenschaftler des PMOD, und zwar mit allen Mitteln, die die moderne Forschungstechnologie bereitstellt. Und der wichtigste Ort an diesem verregneten Nachmittag, als dicke graue Wolken hartnäckig verhindern, dass auch nur ein verirrter Sonnenstrahl auf Davos fällt, ist der Reinraum des Instituts. Dort wird gerade PREMOS zerlegt. PREMOS steht für »Precision Monitoring of Solar Variability« und ist ein Forschungs-Experiment, das die Sonnenstrahlung im Weltall messen soll – sobald man es auf dem französischen Satelliten PICARD montiert und Ende 2009 oder Anfang 2010 in seine Umlaufbahn um die Erde geschossen hat.

Um herauszufinden, ob der Kasten aus vergoldeter Aluminiumlegierung mit seinem sensiblen Innenleben aus Elektronik, Mechanik und fünf Radiometern überhaupt die enormen Belastungen des Raketenstarts übersteht, haben ihn seine Konstrukteure an der Universität Bern realitätsnah getestet. Sie haben ihn auf einen »Shaker«, ein Schüttelgerät, montiert, das alle Vibrationen wäh-



UNKNOWN OBJECT. SINCE 1907 EVERYONE AT THE PHYSICAL AND METEOROLOGICAL OBSERVATORY AT DAVOS (PMOD) HAS BEEN TRYING TO UNRAVEL THE SECRETS OF THE SUN. WITH DAZZLING SUCCESS.

They are curious and ambitious. They want to know everything about the sun. The sun, however, does not reveal its secrets so easily. They are Swiss and they are among the best of their kind in the world – but this is not something that you can see at a glance.

The solar researchers of the Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos (PMOD) work in the mountains of the Grisons far removed from all the normal scientific business. And they do this in a former village schoolhouse with sash windows, a round tower over the entrance, a high, steep slated roof and a sizeable attached building, the gym. In front of the old school-building, however, and on its roof, dozens of measurement instruments are installed. Chunky crates on stable tripods alongside dozens of white plastic domes that look like a mutated mushroom culture and pipes which aim batteries of cannons in the direction of the sun – not however to fire something but to receive something. For all these devices are radiometers that measure solar radiation, either the absolute amount of the spectrum or the infrared and ultraviolet shares. They want to unravel the mystery of the sun, the PMOD scientists, with

all the means that modern research technology has to offer. And the most important place on this rainy afternoon, on which grey clouds persistently prevent even one single beam of sunlight falling on Davos, is the clean-room of the institute. Here PREMOS is just being disassembled. PREMOS stands for “Precision Monitoring of Solar Variability” and is a research experiment for the purpose of meas-

SATELLIT IM BLICK. Seit 1999 leitet Professor Werner Schmutz das PMOD und die Weltraumexperimente des Instituts.

SATELLITE IN VIEW. Since 1999 Professor Werner Schmutz has been in charge of PMOD and the space experiments of the institute.

uring solar radiation in space – which it will do as soon as it has been attached to the French satellite PICARD and launched into orbit at the end of 2009 or the start of 2010.

In order to find out if the little box made of gold-plated aluminium alloy with its hyper-sensitive inner life made up of electronic components, mechanical components and five radiometers can withstand the enormous strains involved in a rocket start, its constructors at the University of Bern have tested it under realistic conditions. They have attached it to a shaker that simulates the kind of vibration encountered during a rocket take-off. PREMOS appeared to have passed this test on the face of it but when its constructors checked all its functions they discovered some damage: the heat



rend eines Raketen-Take-offs simuliert. Diesen Test hat PREMOS äußerlich ungerührt überstanden, aber als seine Erbauer alle Funktionen überprüften, zeigte sich ein Schaden: Der Wärmesensor an einem der Messgeräte in seinem Inneren war ausgefallen.

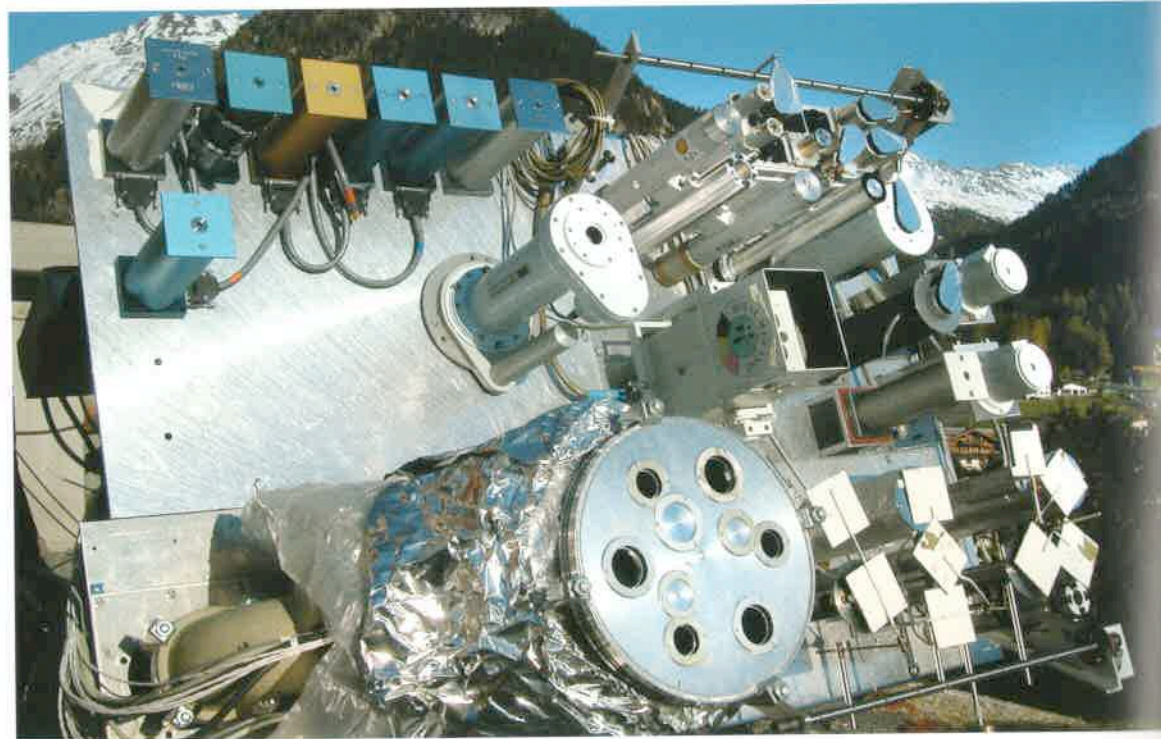
Ein Techniker aus dem PREMOS-Team legt die bleiche Hygiene-Montur aus Kittel, Schuhen, Kappe und Handschuhen bereit. »Wir haben hier einen Reinraum der Klasse 10000«, erklärt er. »Das heißt, wir haben weniger als 10000 Partikel in einem Kubikmeter Luft. Staub ist nicht so schlimm, den kann man mit Stickstoff von den Messgeräten spülen, aber Kohlenwasserstoff-Moleküle sind für optische Geräte kritisch, weil sie sich auf den Oberflächen festsetzen und chemisch reagieren.«

Obwohl der Reinraum sehr rein wirkt, ordentlich sieht er nicht aus. Es herrscht ein kreatives Durcheinander aus Werkzeugen, Plastikboxen mit Kabeln und Schrauben, Lötkolben, Bauteilen, einer Feinwaage, einer Lupe, Plastikflaschen. Auf dem Boden ringelt sich ein Staubsaugerschlauch um sein Gerät. Fröhliche Unordnung statt klinisch-aseptischen Aufgeräumtheits. Dennoch spricht der hier gebaute PREMOS für die Ausnahme-Qualität der Forschung am PMOD. Denn auf Satelliten sind Platz und Gewicht extrem beschränkt. Wissenschaftler aus ganz Europa konkurrieren um die Starterlaubnis, aber nur wenige Experimente schaffen es, zugelassen zu werden. PREMOS und die von ihm zu erwartenden Messergebnisse sind wichtig genug, um ihm einen Platz auf PICARD zu sichern.

Auf der Suche nach dem Defekt baut der Techniker einen provisorischen Schutzschild ab – dahinter liegt die funkelnde, mit Dutzenden reiner Spiegelfacetten beklebte Frontseite von PREMOS. Diese verspiegelte Seite wird im Weltraum unmittelbar auf das gleißende, ungemilderte Strahlenfeuerwerk der Sonne gerichtet sein. 350 Kilometer über der Erde. Durch kleine Löcher in den Spiegeln wird das Sonnenlicht in die dahinter gebauten Strahlenmessgeräte dringen.

PREMOS ist übrigens nicht das erste Experiment, das es aus Davos in den Weltraum geschafft hat. 1992 wurde der Typ SOVA2 gestartet, 1995 der

Typ VIRGO. Und der Typ LYRA wartet auf seinen Start 2009. Vor dem Reinraum des PMOD stehend mag man das kaum glauben. Denn die rundum verglaste Kabine hat man in den Speicher der Schule eingebaut – und über der Eingangsschleuse eine Plastikplane gespannt, die verhindert, dass der aus dem hohen Balkenwerk des Dachstuhls in großen Mengen herabfallende Kot von Fledermäusen allzu viel Schmutz macht. Dicht an dicht stehend füllen Holzschränke den übrigen Speicherraum und bergen ein anarchisches Archiv verbrauchter Gegenstände: optische Geräte aus



schwarzem Eisen mit kupfernen Linsenhalterungen oder mit Kristallglaskugeln und Drehmechanismen versehen. Außerdem Sonnen- und Erdmodelle, Speziallampen, Druckausgleichsgeräte, alte Voltmeter, Schaltkästen mit Emailleschildern, Messingboxen mit Metallkurbeln und Zahnrädern, Pappschachteln angefüllt mit Schläuchen und Metallklammern. Hinterlassenschaften aus über 100 Jahren Ge-

ALLE ROHRE FREI. So sehen die Radiometer der Weltstandardgruppe des PMOD aus. Was hier an jedem Sonnentag gemessen wird, gilt als international verbindlich.

FOLLOWING THE SUN. This is what the radiometers of the World Standard Group at PMOD look like. What is measured here when the sun shines is internationally valid.

schichte des Instituts. Und die liest sich wie ein Roman.

Im Jahr 1904 kam ein wohlhabender Chemiker namens Dr. Carl Dorno aus Königsberg nach Davos. Der Grund dafür war ein tragischer: Seine einzige Tochter war an Lungentuberkulose erkrankt. Und nur ein Aufenthalt in der als heilkräftig gepriesenen Hochgebirgsluft von Davos versprach, die damals zumeist tödlich verlaufende Krankheit zumindest aufzuhalten. So zog Dr. Dorno mit seiner Familie nach Davos. Was genau freilich das Davoser Klima so heilsam macht, war zu jener Zeit völlig unbe-

kannt. Aber der Wissenschaftler Dorno fragte sich sofort: Wie verhalten sich die Helligkeiten in der Höhe und im Flachland, deren Unterschiede jedem Laien auffallen? Und: Ist die ultraviolette Strahlung, von der Heilwirkung erwartet wird, in der Höhe qualitativ und quantitativ anders als im Flachland?

Um das herauszufinden, gründete Dr. Dorno in den Räumen seiner Davoser Mietwohnung das Physikalisch-Meteorologische Observatorium, baute auf dem Flachdach des Hauses die ersten selbst entwickelten Messinstrumente auf und begann, akribisch die Wechselwirkungen von Sonnenstrahlung und Atmosphäre zu untersuchen. 1907 veröff-



sensor on one of the measuring devices inside had failed. A problem that had to be resolved.

A technician in the PREMOS team lays out the hygiene outfit consisting of gown, shoes, cap and gloves. "We have here a clean-room of the 10,000 class," he explains. "That means that we have less than 10,000 particles in a cubic meter of air. Dust is not so bad because it can be washed off the measuring equipment by means of nitrogen but hydrocarbon molecules are critical when it comes to optical devices because they settle on surfaces and react chemically." Although the clean-room is very clean, it does not look very tidy. It can be described as a creative chaos, consisting of tools, plastic boxes full of cables and screws, soldering irons, component parts, precision scales, a magnifying glass, and plastic bottles. On the floor there is a vacuum cleaner with its flexible tube wrapped around it. A state of cheerful disorder instead of clinically aseptic order. And yet the fact that PREMOS is being built here speaks for the exceptional quality of the standard of research at PMOD. For both space and weight on satellites are extremely restricted. Scientists from all over Europe compete for permission to have their projects considered for a start but only very few experiments manage to get accepted. PREMOS and the measurement results it is expected to produce have proved important enough to secure it a place on PICARD.

In his search for the defect the technician removes a provisional shield – and behind it lies the sparkling front side of PREMOS to which dozens of brilliant faceted mirrors are fixed. This reflective side will, when the satellite is moving through space, be directed straight at the blazing, unmitigated radiation fireworks of the sun. 350 kilometres over the earth. And through small holes in the mirrors the sunlight will reach the built-in radiation measuring devices behind.

PREMOS is by the way not the first experiment that has made it into space from Davos. In 1992 SOVA2 was started and in 1995 VIRGO. And LYRA is also waiting on its start in 2009. When you stand in front of the PMOD clean-room you may well find that hard to believe, for the cabin, which is enclosed by glass, is built into the loft of the former school and over the entrance lock there hangs a plastic cover intended to prevent large amounts of droppings of bats that live in the high timberwork of the roof structure from creating too much dirt. The rest of the loft is filled to the brim with wooden cupboards containing an anarchic archive of used objects: optical equipment made of black iron and

DIENSTLEISTUNG. Am PMOD forscht man nicht nur, sondern baut und eicht auch Radiometer für andere Institute. Die Honorare sind wichtiger Teil des Budgets.

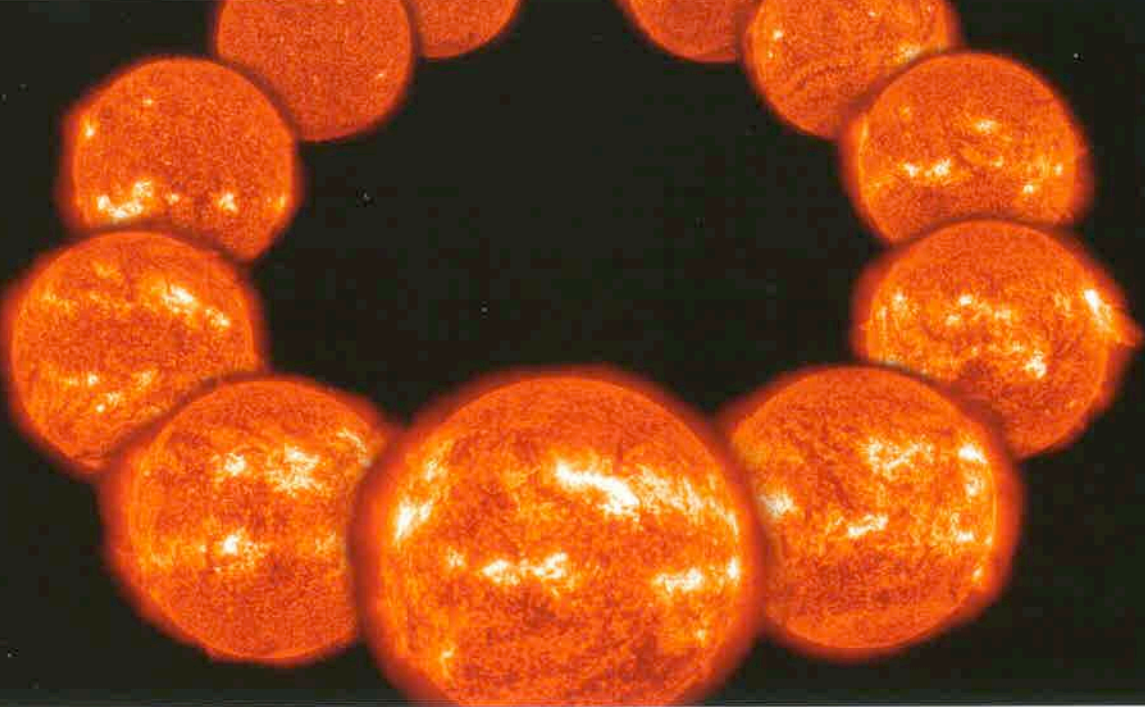
SERVICES RENDERED. In addition to doing research, the people at PMOD build and calibrate radiometers for other institutes. The fees charged are a key part of the budget.

fitted with copper lens mounts or with crystal glass spheres and swivel mechanisms. Also models of the sun and the earth, special lamps, pressure equalisation devices, old voltmeters, switch boxes with enamel identification plates, brass boxes full of metal cranks and cogwheels, cardboard boxes filled with tubes and metal cramps. The legacy of the over 100-year history of the institute. And this reads like a novel.

In the year 1904 a well-to-do chemist by the name of Dr. Carl Dorno moved to Davos from Königsberg. The reason for this was of a rather tragic nature. His only daughter was suffering from tuberculosis and only a stay in the health resort of Davos with its curative mountain air held out hope of at least delaying the course of the at the time usually fatal illness. What exactly it was that made the Davos climate so beneficial from the health point of view was, however, a complete mystery back in those days. The scientist Dorno immediately wondered what was the nature of the intensity of the light at high-altitude and at lower levels, the differences in which were obvious even to the layman. And was the ultraviolet radiation, which was believed to be responsible for the medicinal benefit, qualitatively and quantitatively different at high altitudes than it was in the lowlands?

To find this out, Dr. Dorno founded the Physikalisch-Meteorologische Observatorium in his rented flat in Davos, installed the first measuring instruments, which he had developed himself, on the flat roof, and began to investigate meticulously the interaction between solar radiation and the atmosphere. In 1907 he published the first results of his investigations. And thus he became the founder of solar radiation climatology. In his honour, ultraviolet rays were for a long time known as "Dorno rays". And yet Dr. Carl Dorno met a tragic end. The researcher of sunlight went blind and departed this life in the year 1942.

The scientific assignment of the PMOD today is still the same as it was in the past, namely "to investigate the influence of the variations in the characteristic of the sun on the earth's climate". With the help of PREMOS, solar radiation in space is to be measured outside the earth's atmosphere



fentlichte er die ersten Untersuchungsergebnisse. So wurde er zum Begründer der Strahlenklimatologie. Ihm zu Ehren nannte man die ultravioletten Strahlen lange Zeit »Dorno-Strahlen«. Und doch endete Dr. Carl Dorno unglücklich: Er, der Erforscher des Sonnenlichts, erblindete und schied 1942 aus dem Leben.

Der wissenschaftliche Auftrag des PMOD lautet heute wie damals unter anderem, »den Einfluss der Variationen der Sonneneigenschaften auf das Erdklima« zu erforschen. Dazu sollen mit PREMOS die Sonnenstrahlen im Weltraum oberhalb der Atmosphäre gemessen werden, um sie mit dem vergleichen zu können, was die Radiometer rings um das Schulhaus und auf dessen Dach erfassen. Diese simpel anmutende Aufgabe gebiert allerdings ein fundamentales technisches Problem, für das der Physiker Dr. Wolfgang Finsterle zuständig ist. Ein junger Mann mit blonden Haaren und offenem Blick, den man sich auch gut als Bergführer vorstellen kann.

»Sonnenlicht«, so erklärt er, »wird in der Einheit ›Watt pro Quadratmeter‹ (W/m^2) gemessen. Aber was das ist, kann man gar nicht genau sagen. Bei einer Sekunde ist das anders, denn die wird anhand einer Naturkonstanten definiert, nämlich als das 9 192 631 770-Fache einer bestimmten Schwingung im Cäsium-Atom. Dieser Wert gilt als Primärstandard weltweit. Und ein Meter wird definiert als die Strecke, die Licht im Vakuum im 299 792 458sten Teil einer Sekunde zurücklegt.

Beide Einheiten sind in jedem Labor bis auf endlose Stellen hinter dem Komma reproduzierbar. Doch bei Watt pro Quadratmeter verfügen wir über keinen solchen Primärstandard.«

Wenn es also keine Laboranordnung gibt, anhand derer Wissenschaftler ihre Messgeräte eichen können, bedarf es einer Autorität, deren Vorgabe für alle verbindlich ist. Und diese Autorität betreut Dr. Finsterle – es ist die »Weltstandardgruppe«. Für diese Batterie aus sechs computerüberwachten Absolut-Radiometern wurde extra ein blauvioletter Laborkubus an das Schulgebäude angebaut, dessen Dach und Wände man für den Messbetrieb an Sonnentagen zurückfahren kann. Denn die Radiometer müssen direkt in die Sonne zielen.

»Seit den 1960er Jahren besteht der Bedarf, dass man Sonnenstrahlung präzise messen kann«, fährt Dr. Finsterle mit seinem freundlichen schweizerischen Akzent fort. »Es wurden die ersten Absolut-Radiometer gebaut, aber die erbrachten sehr unterschiedliche Ergebnisse für W/m^2 . Also hat man 1977 alle verfügbaren Radiometer der Welt hierher nach Davos geschafft, hat sie parallel betrieben, hat den Mittelwert genommen und gesagt: Das gilt jetzt! Und um dauerhaft zu sichern, was ab jetzt gelten sollte, wurde bei uns die Weltstan-

UNBEKANNTE TRIEBKRAFT. Alle elf Jahre wird die Sonne aktiv, und es bilden sich besonders viele Sonnenflecken. Doch bis heute weiß niemand, warum das so ist.

UNKNOWN DRIVING FORCE. Every eleven years the sun is particularly active and a large number of sunspots are formed. Up until now no one knows why this is the case.

dardgruppe installiert.« Das spricht für den hervorragenden Ruf, den sich das Institut durch die Arbeit der vorangegangenen Jahrzehnte erworben hat. Als Zeichen für diesen Sonderstatus trägt das PMOD ein weiteres Kürzel in seinem Namen: WRC – World Radiation Center.

Institutsleiter Professor Werner Schmutz residiert im großen Raum über der Eingangshalle, der vermutlich auch früher das Rektorat war. Er benutzt ein dramatisches Weltraumfoto als Bildschirm-schoner für seinen Computer. Auf einem Regal steht eine alte Uhr, die nur durch Luftdruckunterschiede angetrieben wird und nie richtig geht. Die Klinke der Tür zum Korridor ist abgebaut worden, damit man ein Stromkabel hindurchführen kann. Professor Schmutz residiert sehr sympathisch.

Er bestätigt: »Das Ungewöhnliche am PMOD/WRC ist, dass wir diesen Dienstleistungsauftrag haben. Anders als bei einer universitären Forschungseinrichtung sind unsere Haupteinnahmen Honorare aus Dienstleistungen. Wir betreiben die Weltstandardgruppe, auf die sich alle meteorologischen Institute weltweit beziehen. Wir bieten die Kalibrierung von Messgeräten an, die man uns zuschickt, und wir bauen und verkaufen neue Messgeräte. Das erfordert aber auch, dass wir in Radiometrie außergewöhnlich gut sein müssen – und zwar in zweifacher Hinsicht: Wir forschen für eine immer bessere Technik der Strahlenmessung, aber wir forschen auch mit den Ergebnissen dieser Strahlenmessung. Daraus ergibt sich ganz natürlich, dass wir unsere Weltraumexperimente selbst bauen können. Hier ist die grundsätzliche Thematik klar: Die Erde, wie wir sie kennen, funktioniert nur durch den Energieeintrag der Sonne. Aber was auf unserem Zentralgestirn genau passiert und wie die Strahlenintensität mit welchen Folgen für die Erde variiert, ist noch weitgehend ungeklärt.« So beobachten Astronomen seit über 400 Jahren einen immer elf Jahre währenden Wechsel zwischen Phasen, bei denen sich auf der Sonnenoberfläche Hunderte von Sonnenflecken bilden und die Strahlenaktivität zunimmt, und solchen mit gar keinen Sonnenflecken und wenig Aktivität. Was diesen Zyklus antreibt und warum er elf Jahre dauert, weiß man bis heute nicht.

and then compared to the figures that the radiometers round the Swiss schoolhouse and on its roof register. This simple-sounding task, however, involves a fundamental technical problem – one which has to be solved and for which the physicist Dr. Wolfgang Finsterle is responsible – a forthright young man with blond hair, whom one could easily imagine as a mountain guide.

“Sunlight,” so he explains, “is measured in watts per square metre (W/m^2). But just what that is no one can say exactly. Where a second is concerned, then things are different, for this is defined on the basis of a natural constant, namely the interval of time taken to complete 9,192,631,770 oscillations of the caesium 133 atom. This figure is looked upon as the primary standard world-wide. And a metre is defined as the distance which light in a vacuum covers in the 299,792,458th part of a second. Both units of measurement are reproducible in every laboratory up to endless places after the decimal point. However, where watts per square metre is concerned, we do not have any such primary standard.”



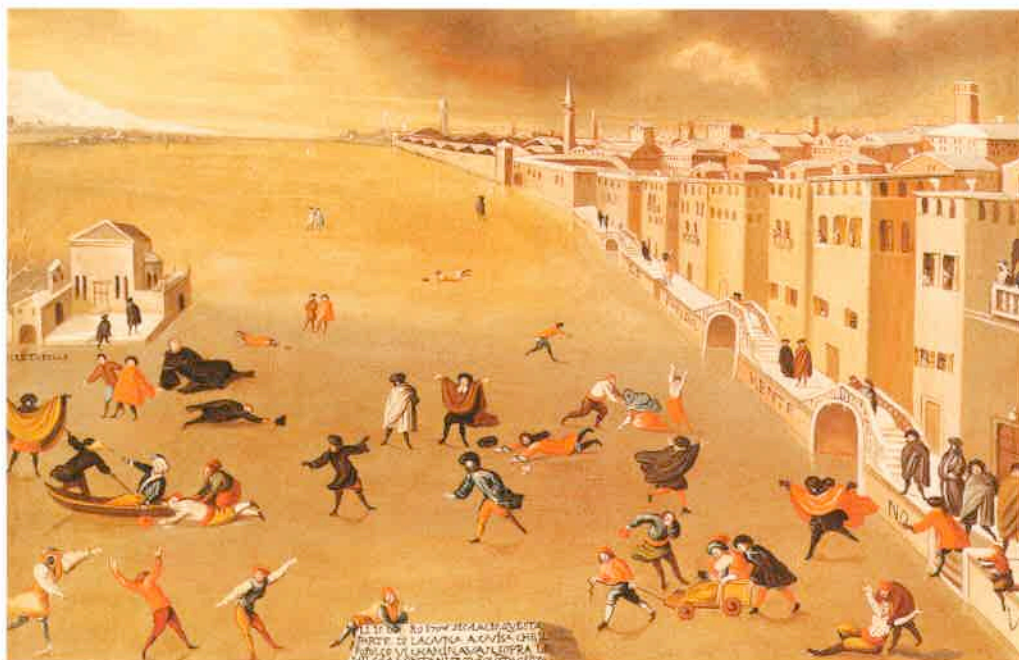
OFFENES WASSER. Um 1000 n. Chr. herrschte eine Wärmeperiode, die es etwa den Wikingern unter Erik dem Roten erlaubte, Grönland (= Grünland) zu entdecken.

OPEN WATER. Around 1000 A.D. there was a sustained warm period which made it possible for the Vikings under Erik the Red to discover Greenland.

Dr. Finsterle is in charge of this authority – the World Standard Group. For this battery of six computer-monitored absolute radiometers a blue-violet laboratory cube has been attached to the schoolhouse, the roof and walls of which can be opened for measuring operations on sunny days. For the radiometers must point directly at the sun.

“Since the 1960s the need has existed to measure solar radiation precisely,” Dr. Finsterle continues in his friendly Swiss accent. “The first absolute radiometers were then built, but they produced very different results for W/m^2 . And so, in 1977, all the available radiometers in the world were brought here to Davos and operated on a parallel basis and then the mean value was worked out and considered as valid. And in order to permanently ensure what was now to apply, the World Standard Group was installed here.” This speaks for the outstanding reputation that the institute has acquired through its work in the past decades. And as a sign of this special status the PMOD now bears another special abbreviation in its name: WRC – World Radiation Center.

Institute director Professor Werner Schmutz resides in a large room over the entrance hall, which was most likely formerly the headmaster’s office. He uses a dramatic outer space photo as a screensaver for his computer. On a shelf stands an old clock which is driven only by differences in air pressure and which never goes right. The handle of the door to the corridor has been removed so that an electricity cable can be laid through the door. Prof.

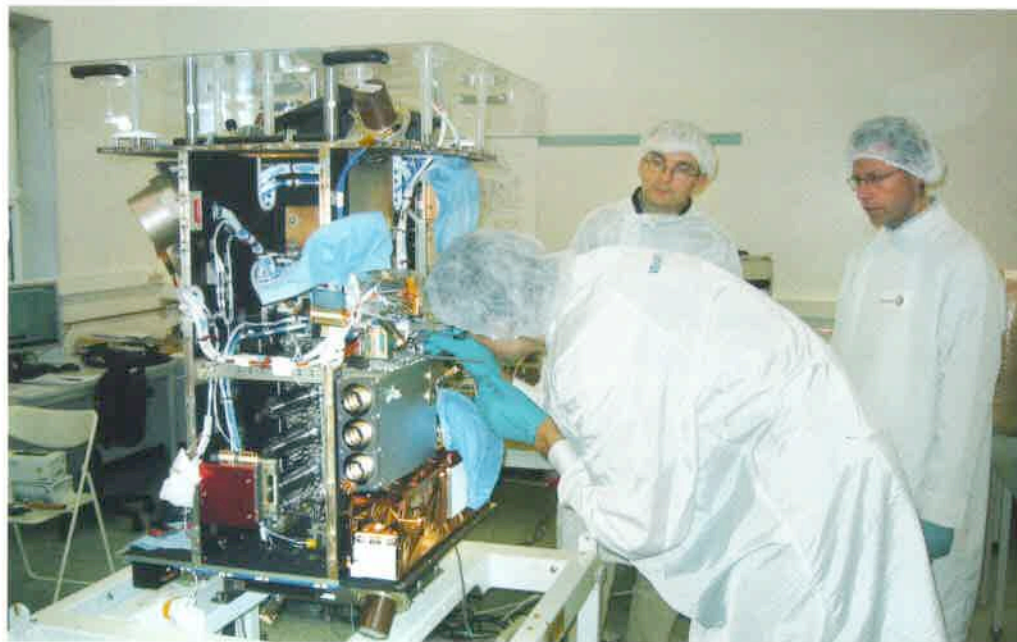


And if there is no laboratory standard on the basis of which scientists can calibrate their measurement equipment, then an authority is required whose specifications are binding for everyone. And

KLIMAKATASTROPHE. Als zwischen 1650 und 1710 die Sonnenflecken ausblieben, kam es in Europa zu einer Kälteperiode. Die Lagune von Venedig fror im Winter komplett zu.

CLIMATIC CATASTROPHE. When, between 1650 and 1710, the sunspots failed to appear, there was a long cold period in Europe. The Lagoon in Venice was completely frozen over.

Zu den einigermaßen gut erforschten Ereignissen auf der Sonne zählen hingegen die sogenannten »Solar Proton Events«, die SPEs. Bei Sonnenausbrüchen werden hochenergetische Protonen mit enormer Geschwindigkeit in den Weltraum geschleudert. Wenn diese auf die Erde treffen und deren Magnetfeld durchdringen, verändern sie auch Temperatur und Dynamik der Atmosphäre. Und weil kein SPE so gut dokumentiert ist wie jenes aus dem Oktober 2003, benutzen Tatjana Egorova und Eugene Rozanow, die Klimaspezialisten des Instituts, diese Daten, um das von ihnen



entwickelte Klimamodell SOCOL immer weiter zu präzisieren. Dabei analysieren sie den Einfluss von 43 neutralen chemischen Elementen und Elektronen sowie von 48 Ionen-Typen auf die Ozonschicht und vergleichen die gemessenen Werte mit ihren Berechnungen. Diese Grundlagenforschung hilft, die Veränderungen im Erdklima, die aktuell alle Menschen betreffen, auch in seiner astrophysikalischen Dynamik zu verstehen.

So dachte man bisher zum Beispiel, Unterschiede in der Sonnenaktivität hätten zur globalen Erderwärmung im 20. Jahrhundert mit höchstens 0,1° Celsius beigetragen. Denn innerhalb der Elf-Jahres-Zyklen zwischen größter und geringster Sonnenaktivität betragen die Unterschiede nur 0,1 Prozent

der Sonnenenergie, was 1,4 Watt/m² entspricht. So pauschal betrachtet mag das stimmen. Die Solarforscher vom PMOD aber begannen, auf der Basis verfeinerter Messungen, Sonnenstrahlung in den einzelnen Wellenbereichen zu überprüfen sowie Klimaveränderungen im Rahmen der SOCOL-Simulation viel feiner zu analysieren. Und stellten fest: Das sichtbare Licht trägt zwar 43 Prozent der gesamten Sonnenenergie zur Erde, schwankt aber nur um 0,14 Prozent. Die ultravioletten Strahlen transpor-

HAUSARBEIT. Die Werkstatt ist so gut ausgerüstet, dass selbst komplexe Messapparaturen im Haus gefertigt werden können. Das PMOD agiert praktisch autark.

HOME-MADE. The workshop is so well equipped that even complex measuring apparatus can be built there. The PMOD is practically self-sufficient in this respect.

IM REINRAUM. Weil schon ein Staubkorn die Messergebnisse beeinflussen kann, bauen die Techniker des PMOD wie sterile Chirurgen die Weltraumexperimente zusammen.

IN THE CLEAN-ROOM. Because one single particle of dust can influence measurements, the PMOD technicians construct their space experiments under sterile conditions.

tieren hingegen nur 8 Prozent der Sonnenenergie, verändern sich aber bis zu 100 Prozent. Und während wir das sichtbare Sonnenlicht deswegen sehen können, weil es die Atmosphäre ohne viel Wechselwirkung durchdringt, verhält sich die UV-Strahlung hochaktiv – und setzt in der Erdatmosphäre erstaunliche Prozesse in Gang.

»Starke UV-Strahlung bei großer Sonnenaktivität bewirkt zum Beispiel, dass die sogenannten »Polarnacht-Jets«, also Winde, die im Winter in etwa 11 Kilometern Höhe mit bis zu 200 km/h im Kreis um die Pole jagen, um weitere 20 km/h beschleunigt werden«, erklärt Eugene Rozanov. »Diese beschleunigten Winde aber bremsen ein anderes Windsystem ab, die sogenannte »Brewer-Dobson-Zirkulation«. Das sind Luftströme, die über dem Äquator aufsteigen, spiralförmig Richtung Pole treiben und als einzige Quelle die mittlere Atmosphäre mit »tropischer Frischluft« speisen. Eine schwache Brewer-Dobson-Zirkulation wiederum durchlüftet die Ozonschicht weniger, und durch Wechselwirkungen mit den unteren Atmosphärenschichten ist der Einfluss auf die Temperaturen in

Schmutz resides in a very congenial fashion. He confirms: "The unusual thing about the PMOD/WRC is that we have a service agreement to fulfil. Other than is the case where university research facilities are concerned, our main income results from fees for services rendered. We operate the World Standard Group to which all the meteorological institutes world-wide refer. We offer to calibrate measuring devices that are sent to us and we construct and sell new equipment. This means that we must be exceptionally good when it comes to radiometry – and, indeed, in a two-fold respect: we do research in order to continually improve the technology of radiation measurement but at the same time we also use the results of our measurements for research purposes. And the outcome of this is, of course, that we are able to construct our own space experiments. Here the basic subject matter is clear: the Earth as we know it can only function thanks to the energy influx of the sun. But precisely what happens on our central star and how its radiation intensity varies and what consequences this has for the Earth is still to a large extent unexplained." For over 400 years now astronomers have observed an eleven-year cycle on the sun between phases in which hundreds of sunspots form and the radiation activity increases and those in which there are no sunspots and little activity. And up until now no one knows what powers this cycle and why it lasts eleven years.

So-called Solar Proton Events (SPEs), on the other hand, belong to the reasonably well-researched events on the sun. In the event of solar eruptions, high-energy protons are ejected into space at an enormous speed. And when these hit the Earth and penetrate its magnetic field they also change the temperature of the atmosphere and the dynamics of atmospheric processes. And because no SPE is as well-documented as that of October 2003, Tatjana Egorova and Eugene Rozanov, the climate specialists of the Institute, use these data

ZIELPUNKT ORBIT. Kein Platz der Welt gilt als so teuer, wie der auf der Internationalen Raumstation ISS. Wer hier seine Experimente installieren darf, ist top.

ORBIT GOAL. No other space in the world is as expensive as that on board the ISS international space station. Those who are permitted to install their experiments here are tops.

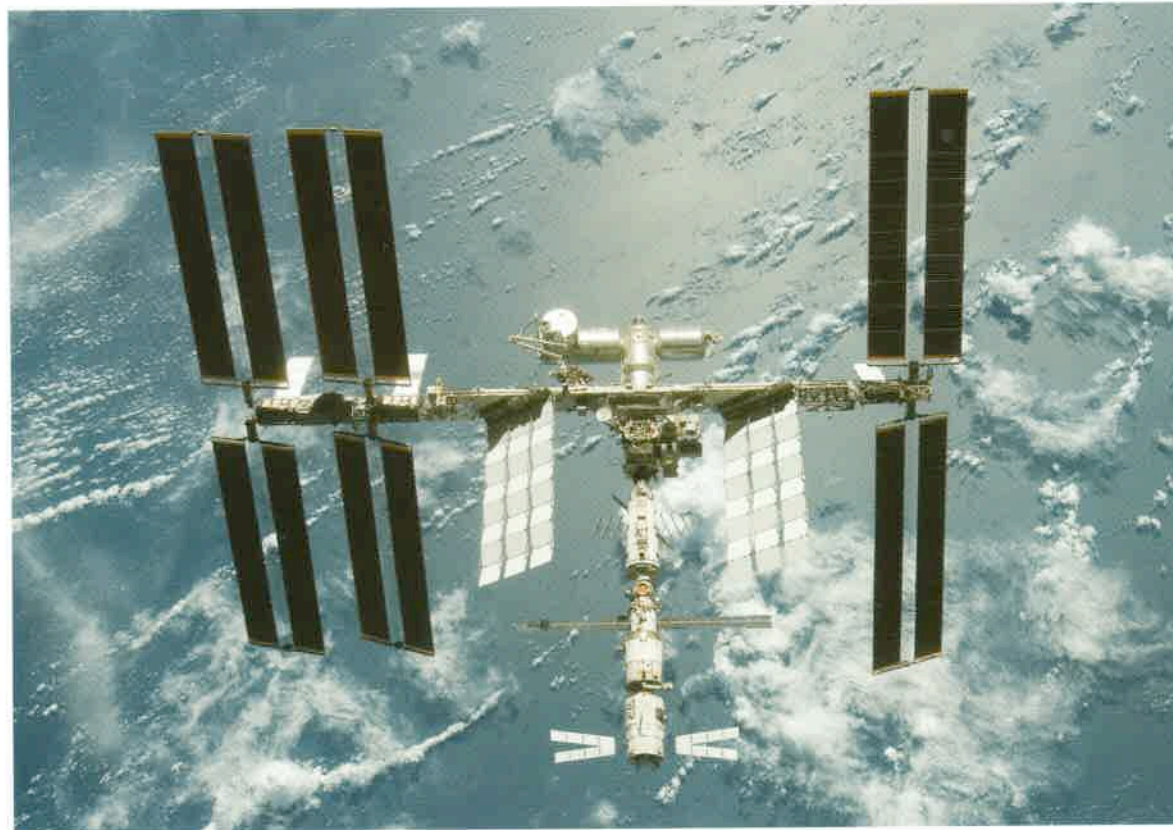
to further specify the chemistry-climate model SOCOL which they have developed. In the process they analyze the influence of 43 neutral chemical elements and electrons and of 48 types of ions on the ozone layer and compare the measured values with their calculations. This kind of basic research helps us to understand changes in the Earth's climate in terms of their astro-physical dynamics, changes which affect everyone on the planet.

ULTRAVIOLET IRRADIATION IS THE TRIGGER

Up to now, for example, people had thought that differences in solar activity had contributed to global warming in the 20th century to the tune of 0.1 degree centigrade at the most. For within the eleven-year cycle between the highest and the lower degrees of activity the differences only amount to 0.1% of solar energy or the equivalent of 1.4 Watt/m². Considered across the board this may be true, but the solar research scientists from PMOD began to investigate solar irradiance in the different wave ranges using more sophisticated measurements and to analyze climate change within the framework of the SOCOL simulation much more exactly. And they found out that the visible light transmits 43% of the total solar energy to Earth and varies only by a factor of around

0.14% while the solar ultraviolet irradiance transports only 8% of solar energy but varies by up to 100%. And while we can see the visible sunlight because it penetrates the atmosphere without a great deal of interaction, ultraviolet irradiance is highly active and sets off surprising processes in the Earth's atmosphere.

"Strong UV irradiation at times of intense solar activity leads for example to an acceleration of the so-called polar night jets, winds which in winter blow around the poles at a speed of up to 200 km/h," explains Eugene Rozanov. "These accelerated winds, however, for their part, suppress another wind system, the so-called Brewer-Dobson Circulation. These are currents of air which rise up over the Equator and then move spirally in the direction of the poles where they are the only source of 'tropical fresh air' for the middle atmosphere. A weak Brewer-Dobson Circulation has, at the same time, however, the effect that the ozone layer is aired less and through interaction with the lower layers of the atmosphere the influence on temperatures at ground level is much greater than one might expect in view of the but very slight energy fluctuations of sunlight. These stratospheric changes alter the tropospheric circulation and have very different regional effects. The temperature of the surface air over North Russia, Scandinavia and





SURREALES SZENARIO. Seit Solarzellen Sonnenlicht in elektrischen Strom umwandeln, kann man selbst in den weiten Steppen der Mongolei Satelliten-TV empfangen.

SURREAL SCENARIO. Since solar cells have been able to transform sunlight into electricity, one can use TV satellite dishes even in the wide expanse of the Mongolian steppe.



Bodenhöhe viel größer als man angesichts der eigentlich sehr geringen Energieschwankungen des Sonnenlichts erwarten würde. Über Nordrussland, Skandinavien und den nördlichen USA wird die Lufttemperatur über der Erdoberfläche durchschnittlich um bis zu 3° Celsius wärmer als normal, wohingegen sie im Nordatlantik, Kanada, Grönland und Zentralasien abkühlt. « Eines der Ziele der Klimaforschung beim PMOD ist es, mit SOCOL den chemischen Zustand der mittleren Atmosphäre in Beinahe-Echtzeit zu berechnen und die Werte zur weiteren wissenschaftlichen Auswertung sofort abrufbar ins Internet zu stellen.

Ungeschriebenes Gesetz am Institut ist die gemeinsame Kaffeepause um 10 Uhr vormittags. Alle Aktivitäten ruhen. Man trinkt entspannt, unterhält sich, liest Zeitung. Und es ist beeindruckend zu sehen, wie jung, sportlich und relaxed diese weltbesten Solarforscher sind. Doch dann kommt Professor Schmutz dazu und berichtet in reinstem Schwizerdütsch, dass sich das Institut um eine weitere Weltraummission beworben hat, die aber erst im Jahr 2018 starten soll.

Die besten Weltraumexperimente taugen freilich nur so viel wie die Qualität der Vergleichsdaten, die man auf der Erde gewinnt. So besteht das ehrgeizigste Projekt am PMOD darin, zusammen mit einem Institut in London ein Radiometer zu konstruieren, das die gesamte Weltstandardgruppe ersetzen und gleichzeitig den ersten auf einer Naturkonstanten beruhenden Primärstandard für die Einheit W/m^2 schaffen soll. Der Mann, der das vollbringen soll, heißt André Fehlmann und ist ein Doktorand der Universität Zürich, der hier seine Forschung betreibt. Das Funktionsprinzip der traditionellen Absolut-Radiometer ist einfach und hat sich im Grunde seit über 100 Jahren kaum verändert. Es sind offene Röhren, die ins Freie gestellt



und stets genau der dahinziehenden Sonne nachgeführt werden, sodass deren Strahlen gerade in die Röhren fallen. Die Röhren sind innen schwarz gestrichen, absorbieren alles Licht restlos und wandeln es in Wärme um. Am Boden jeder Röhre gibt es einen silbernen Messfühler, Cavität genannt, der die einfallende Wärmemenge misst. Aber offene Geräte und ihre freiliegenden Messfühler sind den wechselnden und nur schwer berechenbaren Wettereinflüssen ihrer Umgebung ausgesetzt.

UMWELTFREUNDLICH. Diese Photovoltaik-Corsage kann das Handy laden und Beutel mit Softdrinks kühlen, sodass man keine Dosen oder Plastikflaschen mehr braucht.

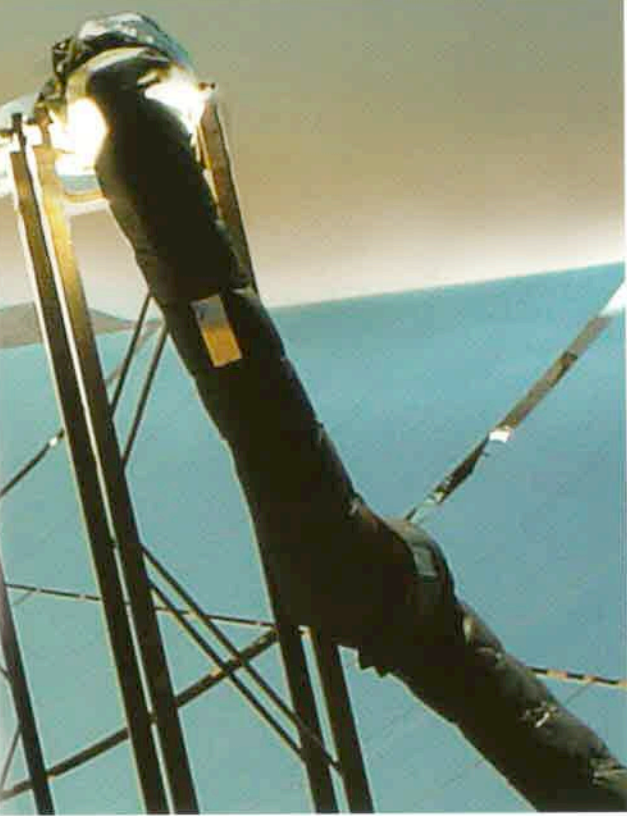
ENVIRONMENTALLY FRIENDLY. This photovoltaic-powered bra can recharge the battery of a mobile phone and cool pads filled with soft drinks or water.

Geschlossene Radiometer ergäben um ein Vielfaches genauere Messungen. In ihnen könnte außerdem ein absolut neutrales Vakuum herrschen sowie eine Temperatur nur knapp über dem absoluten Nullpunkt, bei dem die Metalle der Messfühler supraleitend werden. Doch wollte man ein solches geschlossenes »Kryogen-Radiometer« vor dem Institutsgebäude von Davos in die Sonne stellen, bräuchte es ein Fenster, durch das die Lichtstrahlen ins tief gekühlte Vakuum im Inneren der Geräte dringen könnten. Zu dumm nur, dass es kein Glas gibt, das alles Sonnenlicht durchlässt.

»Normales Glas absorbiert die Infrarotstrahlen, ein Fenster aus Diamant reflektiert 30 Prozent des Sonnenlichts, Quarz lässt zwar die meiste Strahlung durch, absorbiert aber mehr UV-Strahlung als etwa Saphirglas«, erklärt der junge Doktorand. »Also habe ich mich für Saphirglas entschieden. Doch statt gleich das Kryogen-Radiometer zu konstruieren, muss ich erst einmal ein Zusatzgerät entwickeln, das die Unterschiede zwischen Originalstrahlung und der durch das Saphirglas veränderten Strahlen bis auf ein Millionstel Prozent genau berechenbar macht.«

Ein Gerät wie dieses hat weltweit noch niemand gebaut. Es ist Hightech pur und absolute Wissenschafts-Avantgarde – vorangetrieben in einem Klassenzimmer der ehemaligen Schule von Davos.





the Northern United States is on average up to 3 degrees centigrade warmer than normal, whereas over the North Atlantic, Canada, Greenland and Central Asia it is cooler." One of the goals of climate research at PMOD is, with the help of SOCOL, to calculate the chemical state of the middle atmosphere in almost real-time and to make the figures immediately available on the Internet for further scientific evaluation.

An unwritten law for all the members of staff at the Institute is the shared coffee break at 10 o'clock in the morning. Everything comes to a stop. Everyone relaxes, has a chat, reads the papers. And it is impressive to see how young, sporting and laid-back these world-beating solar researchers are. They seem more like a team that is planning something very pragmatic like a polar expedition. And then comes Prof Schmutz and reports in pure Swiss-German that the institute has applied for a further space mission, one that is, however, only

HEISSES SPANIEN. Andasol, ein so genanntes Parabolrinnen-Kraftwerk, versorgt schon 200 000 Menschen mit sauberem Strom. Die Technologie stammt aus Deutschland.

HOT SPAIN. Andasol, a so-called parabolic trough power plant, supplies 200,000 people with clean electricity. The technology stems from Germany.

scheduled for launching in the year 2018. The best space experiments are, however, only worth as much as the quality of the comparative data which one can obtain on Earth. And so the most ambitious project at the PMOD is, together with an institute in London, to construct a radiometer that will replace the entire World Standard Group and at the same time create the first primary standard based on a natural constant for the unit W/m^2 . The man who, it is felt, can achieve this, is André Fehlmann, likewise very young and a doctoral candidate of the University of Zurich where he does his research.

The functional principle of the traditional absolute radiometer is simple and has, basically, scarcely changed for over a hundred years. The apparatus consists of open pipes, positioned out-of-doors, which always exactly follow the path of sun

MITTSOMMERPRACHT. Wenn die Polarsonne wochenlang nicht mehr untergeht, wird das Licht zur köstlichen Droge. Man feiert dann die »Weißen Nächte«.

MID-SUMMER GLORY. When the polar sun does not set for weeks light becomes an artificial drug. People celebrate the "White Nights".

in such a way that the rays of the sun fall directly into the pipes. The pipes are painted black on the inside and they completely absorb all the light and transform it into warmth. At the bottom of each pipe there is a silver measuring sensor, called a cavity, which measures the amount of warmth that has penetrated the device. However, open devices and their exposed measuring sensors are subject to the changing influences of the weather which are very difficult to calculate.

Closed radiometers, on the other hand, would produce much more precise measurements. And inside there could also be an absolutely neutral vacuum and a temperature just above absolute zero at which level the metals of the measuring sensors become superconducting. If, however, one wished to place such a closed cryogenic radiometer in the sun in front of the institute building in Davos, it would require a window through which the rays of light could get through to the deep-cooled vacuum inside. The only problem is that there is no glass that lets through all the sunlight.

"Normal glass absorbs the infrared rays; a diamond window reflects 30% of the sunlight; quartz lets most of the radiation through but absorbs more UV radiation than for example sapphire glass," the young doctoral student explains. "And so I have decided in favour of sapphire glass. But instead of immediately constructing the cryogenic radiometer, I must first of all develop an additional device that will make the differences between the original and the radiation as affected by the sapphire glass exactly calculable right down to a millionth of a percent."

No one has ever built a device like this before. It is pure high-tech and in the absolute vanguard of science – and it is being fostered in a classroom in what was once a school in Davos.

