

100 JAHRE

Physikalisch-Meteorologisches
Observatorium Davos

100 JAHRE

Physikalisch-Meteorologisches
Observatorium Davos

Impressum

Text: Katrin Weber

Redaktion: Cornelia Lindner, Werner Schmutz, Katrin Weber

Fotos: Archiv PMOD/WRC, CNES, Dokumentationsbibliothek

Davos, Silja Korsmeier, Hansjörg Roth, Katrin Weber

Layout und Druck: Buchdruckerei Davos AG, Davos

Auflage: 2000 Exemplare

Schutzgebühr: Fr. 2.–

Sponsoren



HEIMAT
MUSEUM
DAVOS



Daniel Karbacher, Küsnacht

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Grussworte | 4–6 |
| Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos und Weltstrahlungszentrum heute | 7 |
| Pionierleistungen in Strahlungsforschung und Bioklimatologie | 9 |
| Gründung des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums | 9 |
| Wegbereitung des Weltstrahlungszentrums | 12 |
| Einführung moderner Technologien | 15 |
| Einrichtung des Weltstrahlungszentrums (World Radiation Center WRC) | 15 |
| Erste Weltraumexperimente | 19 |
| Klimaforschung | 21 |
| Sonne-Erde-Beziehung | 22 |
| Dienstleistung | 23 |
| Forschung | 25 |
| Abteilungen des PMOD/WRC | 28 |
| Leitung | 28 |
| WRC-Sektion Solare Radiometrie | 28 |
| WRC-Sektion IR und Europäisches UV-Kalibrierzentrum | 29 |
| WORCC | 30 |
| «Polyprojekt» | 30 |
| Technik | 31 |
| Administration | 32 |
| Das PMOD/WRC im 21. Jahrhundert | 34 |
| Abkürzungsverzeichnis | 36 |
| Begriffserklärungen | 37 |
| Quellenverzeichnis | 38 |
| Leiter PMOD/WRC | 38 |

Grusswort der Gemeinde

Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos feiert den 100. Geburtstag. Diese hohe Zahl von Lebensjahren mag für ein Forschungsinstitut in der Schweiz nicht besonders spektakulär sein – für Davos aber ist sie eine Sensation! Der Grund: Das Jahr 1907 machte Davos zum Geburtsort der Strahlungsklimatologie und einige Jahrzehnte später zum Standort des Weltstrahlungszentrums und zur offiziellen Eichzentrale für Strahlungs-Messinstrumente der World Meteorological Organization.

Ein Forschungsinstitut von solcher Bedeutung in einem Hochtal? Ein Blick zurück zeigt auf, wie es dazu kam: 1865 läuteten zwei Wintergäste die Erfolgsgeschichte von Davos als Kurort ein. Ärztliche Berichte über Heilungen von der weitverbreiteten Krankheit Tuberkulose haben sie ins Landwassertal gelockt. Ihnen folgten Tausende – und Davos wurde in wenigen Jahren als Kurort europaweit bekannt.

Diese Entwicklung veränderte das hochgelegene Bergbauerdorf nachhaltig. Der Kurort schaffte in Davos nicht nur neue Perspektiven, er brachte auch zahlreiche Persönlichkeiten hierher, die Davos massgeblich prägten und parallel zum Kurort weitere wirtschaftliche Standbeine begründeten.

Zu diesen Pionieren gehörte zweifellos Prof. Dr. Carl Dorno, ein ostpreussischer Grosskaufmann, der in der Mitte seines Lebens noch Naturwissenschaften studierte. Die Erkrankung seiner einzigen Tochter bewog ihn, seine Geschäfte aufzugeben und mit seiner Familie nach Davos zu ziehen. Die Heilwirkung des Hochgebirgsklimas begann ihn zu interessieren. Seine Forschungsarbeit liess ihn zum Begründer einer neuen Wissenschaft werden, der Strahlungsklimatologie. Aus eigener Initiative und mit eigenen Mitteln gründete er in der Folge das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos und legte damit den Grundstein zum Forschungsplatz Davos.



Dem späteren Davoser Ehrenbürger Prof. Dr. Carl Dorno, den Begründern der drei anderen Forschungsinstitute (SLF, SIAF und AO) und den Forschern in den Davoser Kliniken verdankt Davos nicht nur hoch qualifizierte Arbeitsplätze und einen guten Namen als Forschungsplatz, sondern auch zahlreiche wertvolle Kongresse mit Gästen aus aller Welt.

So gedenkt denn Davos im Jubiläumsjahr in grosser Dankbarkeit und mit gebührendem Respekt des grossen Gelehrten Prof. Dr. Carl Dorno und seiner Nachfolger, die die Geschehnisse dieses erfolgreichen Institutes nachhaltig prägten.

Im Namen der Behörden und der Bevölkerung der Landschaft Davos gratuliere ich den heutigen Institutsverantwortlichen und Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zum 100. Geburtstag «unseres» Observatoriums und wünsche weiterhin alles Gute und viel Erfolg.

Hans Peter Michel, Landammann Davos

Grusswort der MeteoSchweiz

Im Laufe seiner eindrücklichen Geschichte hat sich das PMOD in der Funktion als Weltstrahlungszentrum zum «Mekka» für Strahlungsexperten und Wetterdienste aus aller Welt entwickelt. Periodisch eilen die Instrumentenfachleute mit ihren Pyrheliometern nach Davos, um an der globalen Strahlungsreferenz Mass zu nehmen. Voraussetzung dafür bildet nicht nur das einzigartige Know-how an diesem Institut, sondern auch dessen Akzeptanz in der Wissenschaft und bei der Weltorganisation für Meteorologie. Dies ist keine Selbstverständlichkeit. Internationale Akzeptanz ist das Resultat steter Verbesserungen der Dienstleistungen des WRC in Form von Eichkampagnen, Instrumentenentwicklungen und Beratungen. Mittlerweile ist das PMOD in der Lage, für weitere Wellenlängenbereiche des Sonnenspektrums – wie Infrarot und Ultraviolett – seine Dienstleistungen anzubieten.

Auch die Geldgeber müssen periodisch von Zweck, Leistungen und Nutzen des Instituts überzeugt werden. Manchmal keine leichte Aufgabe. Dank der guten Partnerschaft zwischen der Landschaft Davos, dem Kanton Graubünden, der Stiftung SFI und MeteoSchweiz als Vertreterin des Bundes konnten aber seit den Sechzigerjahren immer wieder alle administrativen Hürden erfolgreich genommen werden. Ich wünsche dem Weltstrahlungszentrum, dass sich der vorhandene wissenschaftliche Schwung und die Kompetenz bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des PMOD noch viele weitere Dekaden erhalten und weiterentwickeln!

Gerhard Müller
stv. Direktor MeteoSchweiz



Grusswort der Stiftung Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin Davos, SFI

Hundert Jahre sind eine lange Zeitspanne – das vom Deutschen Prof. Dr. Carl Dorno (1865–1942) im Jahr 1907 in der Villa Dora in Davos Platz gegründete Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos hat inzwischen Weltruf erlangt und Davos wohl zum weltweit bestuntersuchten Klimakurort gemacht. Bereits unter Carl Dorno, dem Begründer der Strahlungsklimatologie, erwarb sich das Institut internationales Ansehen. Er hatte das Institut aus eigenen Mitteln begründet und betrieben. Mit seinem Rücktritt 1926 wurde das Institut als Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos (PMOD) vollständig in die Stiftung Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin Davos (SFI) integriert.

Auf Carl Dorno folgte für kurze Zeit Dr. F. Lindholm, schwedischer Staatsmeteorologe. Von 1929 bis 1966 leitete Dr. Walter Mörikofer mit viel Umsicht und Initiative das Institut – ihm verdanken wir auch, dass das Institut zur globalen Eichzentrale für Strahlungsmessinstrumente wurde, ein Ziel, welches mit dem am 1. Januar 1971 eröffneten World Radiation Center (WRC) erreicht wurde. Die Leitung des WRC wurde Dr. Claus Fröhlich übertragen, der 1974 auch die Gesamtleitung des Institutes PMOD/WRC von Dr. Emil Flach übernahm. Zahlreiche neue Forschungsthemen fanden Eingang und trugen zum Erfolg und zur weiteren Festigung der internationalen Ausstrahlung des Institutes bei. Seit 1999 leitet Prof. Dr. Werner Schmutz das Institut – sein grosses Engagement bietet die beste Voraussetzung dafür, dass das Observatorium erfolgreich ins nächste Jahrhundert starten kann.

Die gemeinsame Finanzierung des PMOD/WRC durch Bund, Kanton, Landschaft Davos Gemeinde und die Stiftung SFI hat sich bewährt und ermöglichte es dem heutigen PMOD/WRC, sich zum international tätigen und be-



kannten Kalibrierzentrum für Strahlungsmessinstrumente zu entwickeln. Eine wichtige Finanzierungsquelle seitens der Gemeinde bildete die sog. Stiftungstaxe – mit jeder Übernachtung in Davos floss der Stiftung SFI ein bescheidener Beitrag aus der Kurtaxe zu. Mit der Revision des Landschaftsgesetzes über die Förderung kultureller und wissenschaftlicher Institutionen entfällt seit April 2006 dieser Beitrag aus der Kurtaxe. Es bleibt zu hoffen, dass auch die neue Finanzierung sich als ebenso stabil erweist, sodass das PMOD/WRC weiterhin Sinnbild für erstklassige und zukunftsweisende Forschung bleibt und den Puls der Wissensstadt Davos belebt.

Als Präsident der Stiftung SFI und im Namen des Stiftungsrates danke ich der Leitung und den Mitarbeitenden des PMOD/WRC für die herausragenden Leistungen und wünsche weiterhin viel Erfolg, ein erfreuliches Jubiläumsjahr und ein weiteres Jahrhundert mit vielen neuen Erkenntnissen und wertvollen Beiträgen zur Strahlungs- und Klimaforschung.

Dr. Walter J. Ammann, Präsident SFI

Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos und Weltstrahlungszentrum heute

Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos / Weltstrahlungszentrum (PMOD/WRC) hat sich 100 Jahre nach seiner Gründung durch den Pionier und Begründer der Strahlungsklimatologie, Carl Dorno, zu einem modernen Forschungs- und Dienstleistungsbetrieb von Weltruf entwickelt.

Diese beiden aktuellen Standbeine – Forschung und Dienstleistung – ergänzen sich gegenseitig. War Ersteres der ursprüngliche Zweck des Instituts, hat sich Letzteres durch die im Jahr 1970 von der Weltmeteorologischen Organisation dem PMOD übertragene Aufgabe, das Weltstrahlungszentrum zu betreiben, ergeben. Die Dienstleistung des Weltstrahlungszentrums hat durch die weltpolitische Aktualität einer Beurteilung des Klimawandels an Bedeutung zugenommen.

Die Forschung beschäftigt sich mit der Sonne-Erde-Beziehung, d.h. dem Einfluss der Variationen der Sonneneigenschaften auf das Erdklima und der Erfassung des Strahlungsenergie-Gleichgewichts in der Erdatmosphäre. Dabei werden Messungen sowohl von der Erde aus als auch im Weltraum betrieben. Die Verbesserungen und Neuentwicklungen von Messinstrumenten am PMOD/WRC unterstützen diese Untersuchungen.

Die Dienstleistungen des Weltstrahlungszentrums (WRC) betreffen die Vereinheitlichung der Messungen der Sonnenstrahlung. Das Institut betreibt in Davos eine Gruppe von Standard-Messinstrumenten, die als internationale Referenz anerkannt sind. Alle fünf Jahre treffen sich Forscher aus aller Welt zur Kalibrierung ihrer Pyrhelio-/Pyranometer und Filtradiometer in Davos. Ein Kalibrierzentrum für Infrarot-Radiometer steht seit 2004 als WRC-Sektion ebenfalls zur Verfügung. Ein weiteres für UV-Messgeräte ist 2006 als Drittmittelprojekt angelaufen.

Ein Ende 2004 eingeführtes Qualitätsmanagementsystem (QMS) zur Kalibration von Strahlungsmessinstrumenten wurde im Februar 2006 vom «Technical Committee – Quality» der Euromet anerkannt. Das QMS erfüllt nach der EN/ISO-Norm 17025 «allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien».

Das PMOD/WRC gehört zur Stiftung Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin (SFI) Davos, ist mit einem Zusammenarbeitsvertrag an die ETH Zürich gebunden und pflegt enge Kontakte zur MeteoSchweiz. Nutzniesser des WRC ist die Welt-Meteorologische Organisation (WMO), der der Bund als Auftraggeber des WRC diese Dienstleistung als Beitrag der Schweiz zum Welt-Wetter-Überwachungsprogramm (World Weather Watch, WWW) der WMO zur Verfügung stellt. Eine Aufsichtskommission wacht über die Erfüllung der Aufgaben des WRC.



Standort des PMOD/WRC heute: Altes Schulhaus Davos Dorf



Mitarbeiter des PMOD/WRC, August 2006

Die vier wissenschaftlichen Gruppen des PMOD/WRC werden durch eine achtköpfige Technikabteilung sowie eine zurzeit vier Teilzeit-Mitarbeiterinnen umfassende Administration unterstützt. Unter der Leitung des Direktors sind die wissenschaftlichen Aufgaben in die folgenden vier Gebiete unterteilt: Kalibrierzentrum Infrarot- und Ultraviolettstrahlung (2 Mitarbeiter), Solare Radiometrie (3–4), Atmosphärische Trübung (1–2) und Klimaforschung (Projekt mit ETH Zürich, 3).

Eine Hausabwartin ist für die Gebäudepflege in und um das Alte Schulhaus in Davos Dorf, dem Standort des PMOD/WRC, besorgt. Ein bis zwei Zivildienstleistende legen überall Hand an, wo es nötig ist (von der Schneeschaufel bis zum Malerpinsel), und können ihre Fähigkeiten z.B. im Gerätebau, der Programmierung oder der Datenerfassung einbringen.

Als Non-Profit-Organisation, die einen Dienstleistungsbeitrag zur Umweltforschung leistet, ist das PMOD/WRC berechtigt, Zivildienstleistende zu beschäftigen. Es ist zudem Lehrbetrieb für die berufliche Grundbildung von Elektronikern (2) und Kauffrauen (1).

Das Jahresbudget des Davoser Instituts umfasst rund 3 Mio. Franken. Ein Drittel davon sind projektgebundene Drittmittel. Zu den übrigen zwei Dritteln tragen der Bund (56%), die Landschaft Davos Gemeinde (23%) und der Kanton (9%) sowie Einnahmen aus Instrumentenverkauf und Kalibrierungen des Observatoriums (12%) bei. Die seit der Gründung des SFI 1922 bestehende Stiftungstaxe, die ein Teil des Beitrags der Landschaft Davos war, ist mit dem neuen Gesetz der Landschaft Davos Gemeinde über die Erhebung der Kur-, Sport- und Verkehrstaxen, das zum 1. Mai 2006 in Kraft getreten ist, entfallen. Es ist zurzeit noch unklar, ob und inwieweit die Landschaft Davos den Wegfall der Stiftungstaxe kompensieren wird.

Mit rund 30 Mitarbeitenden und als Veranstalter von diversen Kongressen ist das PMOD/WRC ein wichtiger Faktor für die Landschaft Davos Gemeinde – in wirtschaftlicher Hinsicht ebenso wie als einer der Pfeiler der Wissensstadt Davos.

Pionierleistungen in Strahlungsforschung und Bioklimatologie

Gründung des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums



Carl Dorno, Leiter des PMOD 1907-1926

Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos (PMOD) wurde im Jahr 1907 von Dr. Carl Dorno (1865–1942) eingerichtet. Dorno gilt als Begründer der Strahlungsklimatologie sowie der modernen Bioklimatologie.

Der studierte Grosshandelskaufmann stammte aus einer wohlhabenden Königsberger Familie und hatte 1904 sein Zweitstudium der Naturwissenschaften mit dem Dokortitel in Chemie abgeschlossen.

Als Dornos einzige Tochter im selben Jahr an Lungentuberkulose erkrankte, zog er mit seiner Familie ins Hochgebirgsklima der Schweiz. Die heilende Wirkung der Davoser Luft war bereits damals bekannt, das gesunde Klima wurde zwar 1806 von Landammann Jakob Valär schriftlich erwähnt, die Faktoren blieben jedoch gänzlich unerforscht.

Dies stellte für Dorno eine wissenschaftliche Herausforderung dar, sodass er sich die folgenden Fragen als Ausgangspunkt für seine Untersuchungen stellte:

- «Wie verhalten sich die Helligkeiten in der Höhe und Ebene, deren Unterschiede jedem Laien auffallen?»
- «Ist die ultraviolette Strahlung, von der Heilwirkung erwartet wird, in der Höhe qualitativ und quantitativ anders als in der Ebene?»

Nach einer längeren Studienreise zu deutschen Instituten, auf der sich Dorno die bestehenden Messmethoden des Himmelslichts aneignete, gründete er mit eigenen finanziellen Mitteln sein Physikalisch-Meteorologisches

Observatorium. In den Räumen seiner Mietwohnung in der Villa Dora (heute Oberwiesstrasse 4, Davos Platz) dehnte sich das Institut im Laufe der Jahre immer weiter aus. Auf dem Flachdach des Hauses wurden Messinstrumente installiert. Von Beginn seiner Tätigkeit entwickelte Dorno neue Instrumente und folgte akribisch einem detaillierten Beobachtungsprogramm. Erstmals wurden die Strahlungsgrössen systematisch und kontinuierlich untersucht und damit versucht, die Wechselwirkungen zwischen Sonnenstrahlung und Atmosphäre zu verstehen. Diese Messreihen bildeten die Grundlagen zur Ableitung von klimatologischen Gesetzmässigkeiten im Tages- und Jahresverlauf der Strahlungsvorgänge. Sie machten Dorno zum Begründer der Strahlungsklimatologie.

Wegweisende Veröffentlichung

Bereits nach vier Jahren veröffentlichte Dorno 1911 eine umfangreiche «Studie über Licht und Luft des Hochgebirges», «die neben der Strahlung auch die Luftelektrizität einbezog und für alle Fachleute in Meteorologie und Geophysik, in Medizin und Hygiene, in Botanik und Zoologie durch ihre neuartige Darstellung, ihr reichhaltiges Tabellenmaterial und ihre interessanten Resultate geradezu eine Sensation bedeutete und eine reiche Fundgrube darstellte».

W. Mörkofer

Messmethoden

Dorno entwickelte erste selbsttätige Registriermethoden. Nachdem seine Forschungen zunächst den Durchschnittswerten der Strahlungsverhältnisse des Hochgebirges im Vergleich zum Unterland gegolten hatten, widmete er sich zunehmend meteorologischen und geophysikalisch orientierten Problemstellungen wie Schwankungen der Strahlungsvorgänge und deren Ursachen. So untersuchte er Helligkeit und Polarisation des Himmelslichtes und beobachtete Dämmerungsvorgänge und die Ringerscheinungen um die Sonne.

Zur Gesamtintensität der Sonnenstrahlung begann er die längste Messreihe überhaupt, wodurch Erklärungen über die Entwicklung der Transparenz der Atmosphäre möglich wurden. Er begann mit Handmessungen mit dem «Michelson Aktinometer 5100», bevor er mit R. Thilenius 1921 einen Pyrheliographen entwickelte, mit dem die Dauerregistrierung bis in die Sechzigerjahre fortgesetzt wurde. Die damals erfassten Daten werden heute am PMOD/WRC neu aufbereitet.

Bioklimatologie

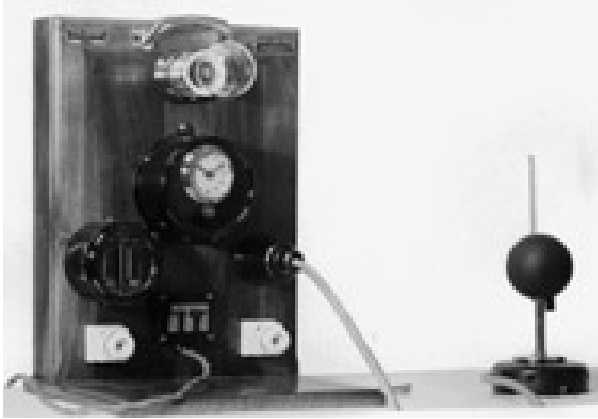
Seinen ursprünglichen Fragen nach den Ursachen der klimatischen Heilwirkung auf der von ihm geschaffenen wissenschaftlichen Basis konnte sich Dorno erst nach anderthalb Jahrzehnten wieder zuwenden. Da er dies sehr umfassend anging und allgemein nach Zusammenhängen und Ursachen der Klimawirkung auf Menschen und ebenso auf Tiere und Pflanzen suchte, wurde er zum Begründer der modernen Bioklimatologie.

Hier konnte Dorno zeigen, dass nicht einzelne physikalische Elemente des Klimas die menschliche Gesundheit beeinflussen, sondern das bestimmte Zusammenwirken mehrerer.



Villa Dora, Standort des PMOD 1907–1976

Bekannt wurden seine 1925 veröffentlichten Untersuchungen zur Abkühlungsgrösse. Diesen Begriff zur Charakterisierung der Wärmeverhältnisse eines Klimas sah er im Gegensatz zur blossen Angabe der Lufttemperatur, die irreführend sein kann, als Erklärungsfaktor für medizinische Zusammenhänge. Mit Hilfe des gemeinsam mit R. Thilenius entwickelten Frigorimeters konnte Dorno die Werte der Abkühlungsgrösse in physikalisch definierten Einheiten messen. Das Frigorimeter war eine schwarze Metallkugel, die auf 36,5 °C erwärmt wurde. Mit der notwendigen Heizleistung, um diese Temperatur konstant zu halten, konnten die abkühlend wirkenden Faktoren Lufttemperatur, Luftbewegung und Strahlungsaustausch erfasst werden. Dies erklärt, warum in einem windgeschützten Alpenhochtal die Erkältungsgefahr geringer ist als an vielen Orten mit höherer Lufttemperatur, jedoch stärkerem Wind.



Davoser Frigorimeter aus einem Werbeprospekt um 1931

Dorno-Strahlung

Ogleich die Zusammenhänge noch gänzlich unbekannt waren, legte Dorno besonderes Augenmerk auf die UV-Strahlung. Er vermutete, sie könne ein wichtiger Faktor für das Davoser Klima und dessen Heilwirkung sein. Aufgrund seiner umfassenden Untersuchungen auf diesem Gebiet wurde die UV-Strahlung auch Dorno-Strahlung genannt.

Der Autodidakt Dorno erlangte internationale Anerkennung, besonders auch unter klimatologisch interessierten Ärzten. Sein Observatorium wurde weltbekannt und diente vielfach als Vorbild bei der Gründung ähnlicher Institutionen. Seine zahlreichen Veröffentlichungen von Artikeln, Ärztebroschüren und Hand- und Lehrbüchern fanden Beachtung in verschiedenen Wissenschaftszweigen. Mehrfach hielt Carl Dorno Ärztekurse in Zürich ab. Im Jahr 1925 fand in Davos der erste klimatologische Kongress statt, dessen «geistigen Mittelpunkt» Carl Dorno bildete.

Die preussische Regierung verlieh ihm den Professortitel (1917) und die medizinische Fakultät der Universität Basel die Ehrendoktorwürde (1922). Die Gemeinde Davos machte ihn 1924 zum Ehrenbürger, womit er gleichzeitig zum Schweizerbürger wurde.

Persönliche Kontakte

«Ganz besonders hat Dorno das Mittel der persönlichen Instruktion gepflegt, sei es auf brieflichem Weg gegenüber Forschern, die um fachmännischen Rat gebeten hatten, sei es in mündlicher Unterhaltung mit den zahllosen Gelehrten, die während Tagen oder Wochen am Davoser Observatorium weilten, um sich mit den neuen Arbeitsmethoden persönlich vertraut zu machen (...). Neben seinen eigenen, an Ideen reichen Veröffentlichungen muß es wohl als Hauptverdienst Dornos angesehen werden, daß er es verstanden hat, eine große Zahl anderer Forscher, Klimatologen, Mediziner und Biologen, zur Beschäftigung mit den Problemen der biologischen Klimatologie anzuregen.»

W. Mörikofer

Angliederung an die Stiftung SFI

Im Jahr 1922 war Carl Dorno an der Gründung der Stiftung Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsphysiologie und Tuberkuloseforschung (heute Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin, SFI, Davos) beteiligt (s. «75 Jahre SFI», Foto Gründungsverammlung, S. 8). Dieses u.a. vom Davoser Ärzteverein initiierte Forschungsinstitut sollte in mehreren Abteilungen die Probleme der Heilfaktoren und ihren Einfluss auf Krankheiten bearbeiten.

Die Angliederung an das SFI sicherte dem Observatorium den Fortbestand, denn durch die Inflation der Zwanzigerjahre hatte Dorno fast sein ganzes Vermögen verloren. Das PMOD stand «vollkommen frei und unabhängig nach Arbeitsplan, Leitung und Namen sowie unveränderter Lage» neben der medizinischen Abteilung der Stiftung.

Wilhelm Gustloff

Einer der wenigen Mitarbeiter in den Anfangsjahren des PMOD war Wilhelm Gustloff. Der Deutsche war 1917 als Tuberkulosepatient nach Davos gekommen und arbeitete von 1919 bis 1934 als Assistent am Observatorium. Zeitweise wohnte er ebenfalls in der Villa Dora. Gustloff war ab 1932 Landesgruppenleiter Schweiz der NSDAP und wurde am 4.2.1936 in seiner Wohnung, Am Kurpark 3, von David Frankfurter erschossen.

Bereits Anfang 1913 hatte Carl Dorno folgende finanzielle Bilanz gezogen: «Die Station ist aus Privatmitteln errichtet und unterhalten; in den fünf Jahren ihres Bestehens haben die Kosten sich auf etwa Fr. 50 000.– belaufen, von denen die eine Hälfte auf die sehr teure Miete, Heizung, Saläre für den Rechner und die Stenographin und kleine Kosten, die andere Hälfte auf die Anschaffung des Instrumentarium und auf bauliche Einrichtungen zu rechnen ist.»

Auf Betreiben der Gemeinde unter Landammann Dr. Erhard Branger wurde der Stiftung durch Landsgemeindebeschluss vom 18.2.1923 eine vertraglich vereinbarte Unterstützung des «Observatoriums Prof. Dorno» auferlegt. Die Gemeinde stellte der Stiftung dafür zusätzliche Fr. 20 000.– pro Jahr zur Verfügung (Betriebsmittel Fr. 13 500.–, Hilfskraft Fr. 4000.–, Miete Fr. 2500.–).

Als Carl Dorno 1926 von der Leitung des PMOD zurücktrat, wurde dieses als selbstständige Abteilung des SFI weitergeführt. Es beanspruchte mittlerweile zwei Etagen der Villa Dora. Carl Dorno war nur ein privates Zimmer geblieben. Nach seinem endgültigen «Rückzug ins Privatleben» 1928 war Dorno weiterhin wissenschaftlich tätig. Nachdem im Jahr 1941 seine Frau gestorben war, schied der zeitlebens pflichtbewusste und zielstrebige Wissenschaftler 1942 nach zunehmender Erblindung freiwillig aus dem Leben.

Wegbereitung des Weltstrahlungszentrums

Klassifikation der Klimakurorte



Walter Mörikofer,
Leiter des PMOD 1929–1966

Im Jahr 1926 war die Leitung des PMOD an den schwedischen Staatsmeteorologen Dr. Frederik Lindholm übergeben worden, der während seiner dreijährigen Tätigkeit in Davos von der schwedischen Regierung freigestellt wurde. Neben den bestehenden Messungen rückten speziell Untersuchungen der damals als ultraroter Teil des Sonnenspektrums bezeichneten Strahlen (heute Infrarot) in den Vordergrund. Neu be-

fasste man sich mit der kosmisch durchdringenden Höhenstrahlung.

Lindholms Assistent, der Basler Physiker Dr. Walter Mörikofer (1892–1976), wurde 1929 zu dessen Nachfolger berufen. Er war Spezialist für Spektroskopie und Strahlungsforschung und leitete das Observatorium 37 Jahre lang bis 1966.

Mörikofer führte die traditionellen Arbeitsgebiete des Observatoriums, die meteorologische Strahlungsforschung und die medizinische Klimatologie, weiter und betrieb in den Vierzigerjahren ausführliche bioklimatologische Untersuchungen zu den Schweizer Kurorten. Er erarbeitete Richtlinien für die Klassifikation der Klimakurorte und deren meteorologische Anforderungen, die im «Kleinen Klimabuch der Schweiz» veröffentlicht wurden. Wetterfühligkeit wie Föhn- und Frontenfühligkeit wurden ebenfalls untersucht.



Davoser Modell des Bellani-Kugelpyranometers um 1960

Finanzierung durch Instrumente

Um die Grundlagenforschung der Strahlung, weiterhin eines der Hauptarbeitsgebiete am PMOD, voranzutreiben, wurden in der hauseigenen Werkstatt laufend Messgeräte verbessert und neu entwickelt sowie deren theoretische Grundlagen überdacht. Herstellung und Verkauf von Instrumenten trugen zur Finanzierung des Instituts bei. Besonders bekannt wurden die Bellani-Kugelpyranometer, die von Peter Courvoisier und Hugo Wierzejewski entwickelt und in grosser Stückzahl veräussert wurden.

«Die instrumentellen Entwicklungen und die Beobachtungen betrafen nicht nur die direkte Sonnenstrahlung, sondern auch die Himmelsstrahlung, die langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre, die Ausstrahlung der Erde, die spektrale Zusammensetzung der Strahlung, die Strahlungsbilanz und im besonderen auch die gerade im Hinblick auf ihre biologische Wirksamkeit bedeutungsvolle Ultraviolettstrahlung», schrieb Ferdinand Steinhauser 1976 in einem Nachruf auf Walter Mörikofer in einer Fachzeitschrift. Mit einem kleinen Team von bis zu sechs Mitarbeitern habe sich

Strahlungsdurchlässigkeit von Kleidung

«Da der menschliche Körper zum größten Teil in Kleidern steckt, und normalerweise nur Gesicht und Hände der Sonne und dem Lichte frei zugänglich sind, so besitzt einleuchtenderweise die Frage der Strahlungsdurchlässigkeit der zu Wäsche und Kleidung verwendeten Stoffe eine sehr große Bedeutung für Hygiene und Therapie. Praktisch sehr aufschlußreiche Ergebnisse sind in dieser Beziehung allerdings für die männliche Bekleidung nicht zu erwarten; diese ist gewöhnlich so dicht und hochgeschlossen, daß sie überhaupt keine Strahlung durchläßt. Anders bei der sommerlichen Frauenkleidung, die sehr viel leichter ist. Wichtig werden diese Fragen vor allem bei den Kleidern, die im Freien, bei der Sportpflege, in der Sommerfrische und bei Bergtouren getragen werden. Von Interesse ist ferner auch die Wäsche der Bettlägerigen bei der Liegekur.»

W. Mörikofer. 1931

das PMOD «zum führenden Forschungszentrum auf dem Gebiet der meteorologischen Strahlungsforschung» entwickelt. Das Observatorium erhielt Forschungsaufträge u.a. von der UNESCO und der US-Army.

Wie Dorno zog auch Mörikofer viele Studierende und Forscher ans Davoser Observatorium. Er veröffentlichte eine Fülle von Fachbeiträgen, hielt Vorträge und Vorlesungen als Privatdozent an der Universität Basel.

Vereinheitlichung von Messungen



Emil Flach,
Leiter des PMOD 1966–1974

Das Davoser Observatorium war bereits in den Dreissigerjahren führend in den Bemühungen einer weltweiten Vereinheitlichung der Strahlungsmessung. Damals waren unterschiedliche Strahlungsskalen in Gebrauch, und es wurde mit verschiedenen Instrumenten gemessen, die unterschiedliche Ergebnisse brachten.

Erst in den Siebzigerjahren gelang der Nachweis, dass die von Mörikofer postulierte Zweiteilung der Skalen nach Instrumententypen richtig war. Interessanterweise lag die mit den verbesserten

Absolutradiometern erzielte Skala zwischen den beiden ursprünglichen. In den Dreissigerjahren wurde bereits die Notwendigkeit einer internationalen Eichzentrale diskutiert und das PMOD als solche vorgeschlagen. Eine Realisierung erfolgte jedoch erst nach dem Zweiten Weltkrieg.

Dr. Walter Mörikofer war in unterschiedlichen Funktionen Mitglied diverser internationaler Kommissionen und pflegte enge Beziehungen zur meteorologischen Weltorganisation (WMO). Von dieser angeregt wurden 1959 und 1964 erste internationale Instrumentenvergleiche (IPC, International Pyrheliometer Comparisons) in Davos durchgeführt. Zuvor hatte man beim Strahlungssymposium und der Sitzung der

Internationalen Strahlungskommission 1956 in Davos die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass im Geophysikalischen Jahr 1957/58 zum ersten Mal die rund 600 Strahlungsstationen der Welt nach einheitlichen Vorschriften und in gleichen Einheiten massen. Das war aufgrund jahrelanger Vergleichsmessungen des PMOD mit verschiedenen Instrumenten möglich geworden. Die damals definierte internationale Pyrheliometerskala IPS-1956 blieb bis in die Siebzigerjahre massgebend.

Das PMOD hatte sich also nachdrücklich als Standort eines internationalen Kalibrierzentrums empfohlen, und Walter Mörikofer unterstützte auch nach seiner Pensionierung 1966 seinen Nachfolger als Institutsleiter, Dr. Emil Flach (1905–1995), nach Kräften bei der Erreichung dieses Ziels.

Dr. Emil Flach, ein langjähriger Mitarbeiter Mörikofers, leitete das PMOD von 1966 bis 1974 in der Tradition seiner Vorgänger. Er betrieb vornehmlich Bioklimatologie. Das blieb jedoch für ihn ebenso wie für Mörikofer unbefriedigend, weil die Zusammenarbeit mit Klinikern und Physiologen nicht intensiv genug erfolgte.



Messstation auf dem Dach der Villa Dora um 1960

Einführung moderner Technologien

Einrichtung des Weltstrahlungszentrums (World Radiation Center WRC)



Claus Fröhlich, Leiter des
PMOD/WRC 1975–1999

Zürich, Raymond Schneider, und Dr. Walter Mörikofer, PMOD. Am 1. Juni 1970 beschloss der Bundesrat, die Schaffung des Weltstrahlungszentrums zu unterstützen und dem PMOD dafür einen jährlichen Beitrag zur Verfügung zu stellen. Am 1. Januar 1971 konnte das WRC seinen Betrieb aufnehmen. Die Leitung wurde Dr. Claus Fröhlich übertragen, der seit 1969 am PMOD tätig war und dessen Qualifikation und Bereitschaft zur Übernahme des WRC viel zum Entscheid der Errichtung des WRC beigetragen hatte.

«Dass die WMO trotz politischer Hindernisse und trotz des privaten Charakters des Davoser Observatoriums die Idee realisierte, spricht für die Qualität der Arbeit Mörikofer. Ein jahrelanges Bemühen und Ringen um kleinste finanzielle Beiträge, übrigens aus der ganzen Welt, für das Weiterleben des Observatoriums fand damit für Dr. Mörikofer eine fast nicht mehr erhoffte Lösung», kommentierte der damalige Stiftungsratspräsident SFI, Dr. Felix Suter.

Dr. Claus Fröhlich, ein Festkörperphysiker, war Spezialist auf dem Gebiet der Wärmeleitung. Dies kam ihm für die

Radiometrie zugute, die auf den Prinzipien der Wärmeleitung basiert, und liess die traditionelle Ausrichtung des Davoser Instituts auf Instrumentenentwicklung verstärkt aufleben.

Der Beitrag des Bundes betrug für 1971 Fr. 280 000.– unter der Bedingung, dass der Kanton Graubünden und die Landschaft Davos ihre Beiträge erhöhten. Das Davoser Stimmvolk nahm mit der Volksabstimmung vom 16. 4. 1972 die Erhöhung der Stiftungstaxe von 5 auf 10 Rappen pro Logiernacht an. Der Kanton beteiligte sich ab 1972 mit Fr. 15 000.–. Mit Beschluss des Grossen Rates wurde dieser Beitrag 1977 auf Fr. 50 000.– erhöht.

Aufgaben des WRC

im Rahmen des World Weather Watch Program der WMO, von dieser mit dem Bund festgehalten:

- *Erhaltung der Weltstrahlungsreferenz*
- *Internationale Pyrheliometervergleiche und Kalibrierung meteorologischer Strahlungsmessgeräte*
- *Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Radiometrie und der Methoden der Strahlungsmessung*
- *Aus- und Weiterbildung von Strahlungsfachleuten*

World Radiometric Reference

Zunächst wurden am WRC sehr genaue Absolutradiometer entwickelt und Forschungen über die verwendeten Pyrheliometerskalen und deren Verhältnis zum physikalischen Einheitensystem betrieben.

Bereits in den Dreissigerjahren hatte man am PMOD Vergleichsmessungen der verschiedenen damals verbreiteten Messinstrumente und der damit verbundenen Skalen vorgenommen. Die Ergebnisse waren jedoch schwer zu interpretieren und widersprachen zudem der in Fachkreisen vorherrschenden Meinung. Erst in den Siebzigerjahren wurde die Richtigkeit der damaligen Davoser Messungen bestätigt (IPC III). Schliesslich erfolgte die Definition der World Radiometric Reference (WRR) aus den Ergebnissen dieser Arbeiten und umfangreichen in Davos durchgeführten Vergleichen von Absolutradiometern verschiedener Herkunft. Die WRR wurde als Ersatz der bis anhin geltenden, aber nachweislich falschen IPS-1956 eingeführt. Auf den Begriff «Skala» verzichtete man bewusst, da sowohl Watt wie auch Meter definiert sind.

Absolutradiometer

Absolutradiometer repräsentieren das physikalische Einheitensystem mit einer bekannten Genauigkeit, weshalb ihre Messresultate als absolut angesehen werden. Die Genauigkeit eines bestimmten Radiometers wird mit Hilfe von Rechnungen und unabhängigen Messungen abgeschätzt und beträgt zwischen $\pm 0,15\%$ und $\pm 0,3\%$, wobei die Genauigkeit der WRR ursprünglich mit $\pm 0,3\%$ angegeben wurde. Bei den X. Internationalen Pyrheliometervergleichen 2005 zeigte sich, dass die Strahlungsreferenz, die durch die Davoser Standardgruppe vorgegeben wird, noch immer innerhalb der von der WMO vorgeschriebenen $0,2\%$ stabil geblieben ist. Besagte Weltstandardgruppe (WSG) mit damals vier Absolutradiometern wurde 1977 aufgestellt.

«Diese Führungsrolle des WRC war dank der langjährigen Tradition in der Pyrheliometerforschung und dank der konsequenten Anwendung modernster Technologien und Methoden in der Entwicklung von Absolutradiometern möglich. Sie fand ihren Niederschlag in der Verwendung neuer Materialien und miniaturisierter Schaltungstechnik



Den Messungen der Silverdisk (links) des Smithsonian Institute, Washington, USA, und des Angström-Pyrheliometers (rechts), Uppsala, Schweden, lagen unterschiedliche Skalen zugrunde



II. Internationale Pyrheliometervergleiche 1964, hinten rechts: W. Mörikofer

mit Einbezug von elektronischen Rechnern für Planung und Auswertung und in der Anwendung von Lasern bei der Instrumenteneichung», heisst es bei Suter.

Internationale Pyrheliometervergleiche

Die dritten internationalen Pyrheliometervergleiche (IPC) nach 1959 und 1964 fanden 1970 in Davos und Lugano statt, um zu ermitteln, ob die Davoser Messungen abhängig von der Höhenlage des Ortes sind. Erstmals wurde hier mit Computertechnik und -auswertung sowie Datenübertragung an einen Rechner im Tessin gearbeitet.

Zum ersten Mal waren Absolutradiometer an den Vergleichen beteiligt, was die endgültige Klärung der Skalenelemente erlaubte.

Fünf Jahre später, als die IPC zum regulären Aufgabenbereich des WRC zählten, fanden die Instrumentenvergleiche bei der Thurgauer Schaffhauser Heilstätte in Davos statt, da auf dem Dach der Villa Dora nicht genügend Platz vorhanden war.

Teilnehmerzahlen der IPC:

IPC X (2005): 73
IPC IX (2000): 65
IPC VIII (1995): 62
IPC VII (1990): 54
IPC VI (1985): 41
IPC V (1980): 62
IPC IV (1975): 33
IPC III (1970): 30
IPC II (1964): 36
IPC I (1959): 23



Altes Schulhaus Davos Dorf um 1975

Umzug ins Alte Schulhaus

Die Räumlichkeiten in der Villa Dora wurden für das PMOD spätestens mit der Einrichtung des Weltstrahlungszentrums unzulänglich. Dessen Leiter, Dr. Claus Fröhlich (Jg. 1936), hatte 1975 auch die Gesamtleitung des PMOD/WRC übernommen. Die Landschaft Davos Gemeinde bot ihm für das Institut das Alte Schulhaus im Dorf an. Der Bund beteiligte sich mit Fr. 630 000.– an den Umbaukosten und sprach einen Einrichtungskredit. Die Gemeinde übernahm die anfallenden Renovierungsarbeiten. Ende 1976 fand der Umzug statt, und im März 1977 wurde das Gebäude eingeweiht.

Solarkonstante

Mit verbesserten Instrumenten und weltweit einheitlichen Messungen drängte sich in den Siebzigerjahren die Frage auf, ob die Sonnenstrahlung immer gleich sei. Die Gesamtstrahlung der Sonne, die sogenannte Solarkonstante, rückte auch am PMOD/WRC dank der modernisierten Messtechnik in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses.

Die Gesamtstrahlung der Sonne hatte man bereits seit Langem in Zusammenhang mit der Sonnenaktivität gesehen, die sich innerhalb eines elfjährigen Zyklus ändert. Das bedeutet aber auch, dass die Solarkonstante gar keine Konstante, sondern ebenfalls variabel ist.

Variable Energiequelle?

«Praktisch die ganze Energie, die der Erde zur Verfügung steht, kommt als Strahlung von der Sonne. Deshalb ist die Frage, ob diese Energiequelle konstant oder variabel ist, von allgemeinem Interesse», formulierte Claus Fröhlich 1977. «Die Frage nach Klimaänderungen und deren Ursachen, insbesondere auch als Folge zivilisatorischer Belastungen der Erdatmosphäre, ist heute besonders aktuell. In diesem Zusammenhang ist es natürlich besonders wichtig zu wissen, welcher Anteil im Strahlungshaushalt der Erde sich natürlich verändert und welcher Anteil von der menschlichen Zivilisation verändert wird.»

Diese Schlussfolgerung konnte bestätigt werden. Die physikalische Klimatologie bemühte sich, einen Zusammenhang zwischen globalen Klimaänderungen und eventuellen langsamen Variationen der Sonnenstrahlung herzustellen. Bereits «kurzfristige Schwankungen der Sonnenstrahlung können z.B. das tägliche Wetter beeinflussen, weil ein nicht geringer Anteil der Sonnenenergie in der Erdatmosphäre absorbiert wird und die globale Zirkulation die Luftmassen antreibt» (Claus Fröhlich).

Erfolgt entsprechende Messungen vom Boden aus, war bekannt, dass die Sonnenstrahlung auf ihrem Weg durch die Atmosphäre bis auf Meeresniveau total auf rund zwei Drittel geschwächt wird. Die ultraviolette Strahlung (UV) wird durch Ozon absorbiert, die infrarote (IR) durch Wasserdampf und Kohlendioxid. Dazu kommt im dazwischenliegenden Spektralbereich die Streuung. Zudem ist die Schwächung abhängig von der Tageszeit bzw. der Streckenlänge des Lichts durch die Atmosphäre.



Start eines Stratosphären-Ballons mit
Messinstrumenten

Erste Weltraumexperimente

Der Sonne entgegen

Um die Gesamtstrahlung möglichst ohne die Absorption durch die Erdatmosphäre erfassen zu können, musste man sich mit den Instrumenten der Sonne nähern. Von Messungen auf hohen Berggipfeln ging die Entwicklung über Ballonexperimente und Raketenflüge bis zur Bestückung von Satelliten mit Messinstrumenten. Neben der Flughöhe wurde die Flugdauer für erfolgreiche und aussagekräftige Messungen massgebend. Technisch erforderten weltraumtaugliche Instrumente weitreichende Entwicklungen in Grösse, Gewicht und temperaturbe-

ständigen Materialien. Das PMOD/WRC führte 1979 und 1980 in Zusammenarbeit mit dem Observatorium Genf erste Stratosphärenballon-Experimente durch. Die Messinstrumente wurden in der Gondel so installiert, dass sie immer der Sonne nachgeführt werden konnten. Die Gondel mit dem ganzen Zubehör wie Steuerelektronik, Datenübertragungssender, Batterien usw. wog ungefähr 350 kg und wurde von einem 100 000-m³-Ballon auf eine Höhe von 35 km gebracht. Gestartet wurde in den französischen Meeresalpen, in Gap, von einer Station der französischen Raumfahrtbehörde. Nachdem 1983 ein weiterer Ballon über zehn Stunden in mehr als 40 km Höhe unterwegs gewesen war, zündete man im selben Jahr gemeinsam mit den USA in New Mexico ein Raketenexperiment. Nach knapp fünf Minuten waren die Messinstrumente auf 310 km Höhe gebracht, und nach 13 Minuten landete die Rakete am Fallschirm etwa 150 km nördlich des Startplatzes. Die Sonnenphotometer lieferten einwandfreie Resultate.

Langzeitmessungen



Space Shuttle (unten) und
europäischer Satellit Eureca
(oben) mit SOVA

Mit den IPHIR-Experimenten auf den beiden russischen PHOBOS-Marssonden konnten 1988 erstmals längere Messreihen aufgestellt werden: PHOBOS I sammelte 47 Tage lang Daten, die zur Erde übertragen wurden, PHOBOS II 160 Tage, bevor der Kontakt verloren ging.

Im August 1992 setzte der Schweizer Astronaut Claude Nicollier von der Atlantisfähre das SOVA-

Experiment auf die europäische Plattform Eureka aus. Dieses konnte erstmals über fast ein Jahr hinweg praktisch ununterbrochen Daten liefern. Im April 1993 kam es zu einem internationalen Radiometer-Vergleich im All, als auf drei Satelliten gleichzeitig Sonnenmessungen stattfanden. Im Juni 1993 wurde Eureka vom Shuttle eingefangen und landete in Florida.

VIRGO

Im Dezember 1995 startete die Mission SOHO, die mit gesamt zwölf Sonnenforschungs-Experimenten bestückt ist, u.a. mit dem PMOD/WRC-Satellitenexperiment VIRGO. Dieses liefert wider Erwarten – vorgesehen waren zwei bis sechs Jahre – noch immer Daten. Daher ist nun vorgesehen, dass SOHO bis 2009 weiter betrieben werden soll, bis diese Mission durch den NASA-Satelliten SDO und durch den französischen Satelliten PICARD ersetzt werden kann.

Vier Monate nach dem Start hatte SOHO seine Position am Lagrange-Punkt erreicht. Das ist der Ort zwischen Erde und Sonne, an dem sich die Anziehungskraft von Erde und Sonne gerade aufhebt – ca. 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Dort kann VIRGO ohne Unterbrechung die Sonnenstrahlung messen. Das ist ein Vorteil gegenüber SOVA, das nur rund eine Stunde messen konnte, bevor es dann für rund 30 Minuten den Erdschatten durchquerte.

Helioseismologie

Die Beobachtungen der Sonnenstrahlung trugen neben der Erforschung ihres Einflusses auf die Erde auch zu Erkenntnissen über die Sonne selbst bei. Der Elf-Jahres-Rhythmus der Sonnenaktivität wurde bestätigt und zusätzliche sehr viel feinere Schwankungen entdeckt. In den Siebzigerjahren gab es aufgrund von Messungen vom Erdboden erste Hinweise auf die sogenannten Fünf-Minuten-Oszillationen. Das sind periodische Helligkeits-



Start der NASA-Atlas-Rakete mit dem Satelliten SOHO

schwankungen der Solarkonstante im ca. Fünf-Minuten-Takt, die durch Schwingungen der Sonnenkugel entstehen. Dieses relativ junge Teilgebiet der Sonnenphysik ist die Helioseismologie.

Die Fünf-Minuten-Oszillationen werden auch P-Moden genannt (p = pressure, Druck), weil sie globale Schallwellen in der Sonnenatmosphäre sind und sich durch Druckschwankungen fortpflanzen. Vermutungen über ebenfalls vorhandene G-Moden, deren Schwingungen aufgrund von Gravitation entstehen, sollten durch VIRGO erstmals bewiesen werden. Obwohl die Hinweise sich mit der zehnjährigen Messreihe verdichtet haben, ist noch kein befriedigender Nachweis gelungen.

Klimaforschung

Alpine Surface Radiation Budget, ASRB

Auch bei den traditionellen Messungen vom Erdboden aus folgte das PMOD/WRC weiterhin den aktuellen Anforderungen der Forschung. In den Neunzigerjahren rückte das Thema «Treibhauseffekt» immer weiter in den Vordergrund des umweltpolitischen Interesses, was eine verstärkte Herausforderung für die Wissenschaft bedeutete. In diesem Zusammenhang wandte man sich vermehrt der Infrarot-Strahlung (IR) zu. Diese langwellige (Wärme-)Strahlung ist besonders für den Energiehaushalt der Erdoberfläche und der unteren Atmosphäre massgebend.

Um die Höhenabhängigkeit des Treibhauseffekts zu untersuchen, wurde 1994 am PMOD/WRC das Projekt Alpine Surface Radiation Budget (ASRB) durch Dr. Claus Fröhlich und Prof. Atsumu Ohmura von der ETH Zürich gestartet. In Zusammenarbeit mit der (damals noch SMA genannten) MeteoSchweiz hat das PMOD/WRC unter der Leitung von PD Dr. Rolf Philipona ab 1994 in den Schweizer Alpen ein Messnetz von elf Stationen zwischen 400 und 3600m ü.M. aufgebaut und betrieben.

Konstante Messungen über zehn Jahre hinweg erlaubten den erstmaligen experimentellen Nachweis, dass die IR-Strahlung steigt – und zwar weniger abhängig von der Höhe über dem Meeresspiegel als ursprünglich angenommen.

Nach Ablauf der Forschungsphase konnte das ASRB 2005 dem operationellen Betrieb der MeteoSchweiz übergeben werden. Während einer Übergangsphase finden parallele Messungen des SwissMetNet und der ASRB-Instrumente statt, die vom MeteoSchweiz-Standort Payerne aus von Rolf Philipona betreut werden. Die Messreihen der kommenden Jahrzehnte sollen den Aufbau einer zuverlässigen Strahlungsstatistik ermöglichen.

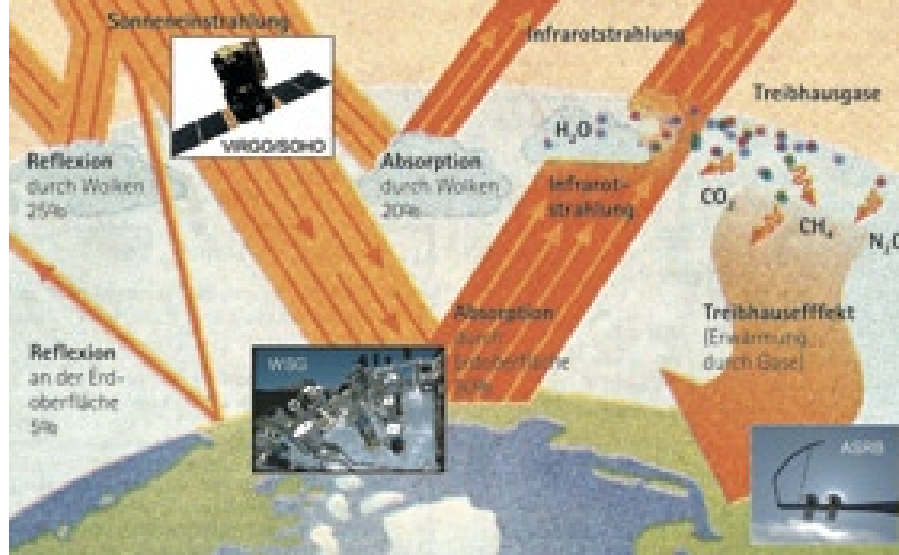
Wetterbeobachtungen

Die Zusammenarbeit der MeteoSchweiz und des PMOD/WRC bestand über Jahrzehnte u.a. auch in regelmässigen Wetterbeobachtungen, die am Institutsstandort für die Meteorologen durchgeführt wurden. Der Ingenieur Alfred Wetzel begann 1885 in Davos mit detaillierten handschriftlichen Aufzeichnungen. In seiner Tradition waren die frühere Abwärtsfrau des PMOD/WRC, Klara Maynard, und ihr Mann Guy über 16 Jahre hinweg die letzten menschlichen Wetterbeobachter der MeteoSchweiz in Davos, bevor diese im Jahr 2006 die Automatisierung sämtlicher Messungen abschliessen konnte.

Im Sechs-Stunden-Rhythmus wurden dreimal pro Tag z.B. die Wolkendecke klassiert, Sichtweite, Feuchtigkeit des Bodens sowie Art und Menge von Niederschlägen festgehalten. Die Maynards hatten eine genaue Schulung der MeteoSchweiz durchlaufen und übermittelten ihr die Ergebnisse verschlüsselt anhand eines Zahlencodes.



Klara und Guy Maynard



Wärmehaushalt der Erde: Die Sonnenstrahlung wärmt die Erde. Wärmestrahlung (IR) wird von der Erdoberfläche in die Atmosphäre abgestrahlt, trifft auf eine Decke aus Wolken, Wasserdampf und Treibhausgasen, wird absorbiert und teilweise zurückgestrahlt. Je höher die Konzentration der Treibhausgase, desto grösser die IR-Rückstrahlung und umso höher der Temperaturanstieg auf der Erde. Entscheidend für das terrestrische Klima ist die Differenz zwischen Erdbabstrahlung und Infrarotrückstrahlung

Sonne-Erde-Beziehung

Eine genaue Kenntnis der Oberflächenstrahlungsbilanz ist die Grundvoraussetzung für das Verständnis der komplexen Vorgänge zwischen Erde und Atmosphäre – und somit für das Klima.

Beherrschendes Thema in puncto Weltklima ist seit dem ausgehenden 20. Jahrhundert der sogenannte Treibhauseffekt. Auch die aktuellen Forschungen am PMOD/WRC finden vor diesem zentralen Hintergrund statt.

Treibhauseffekt

Der globale Energiehaushalt der Erde ist durch die einfallende Strahlung bestimmt. Die auf der Tagseite auf die Erde einfallende Sonnenstrahlung muss im globalen Jahresdurchschnitt der ringsum abgestrahlten Wärme entsprechen. Hinzu kommt der Treibhauseffekt: ein natür-

liches Phänomen, das für das Leben auf der Erde unabdingbar ist. Ohne Treibhausgase würde auf der Erde eine Durchschnittstemperatur von rund $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ herrschen. Da diese Gase jedoch wie das Glasdach eines Treibhauses wirken und die von der Erdoberfläche ausgesandte Strahlung reflektieren, entsteht der Treibhauseffekt – die Erwärmung, und damit eine globale Durchschnittstemperatur von rund $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das wichtigste Treibhausgas ist Wasser bzw. Wasserdampf.

Was in der Diskussion steht, ist die Wärmezunahme um weniger als $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in den letzten 100 Jahren. Hierbei handelt es sich um einen globalen Mittelwert aus lokal grösseren Schwankungen von mehreren Graden. Dies erklärt, dass diese scheinbar geringe Wärmezunahme einen doch spürbaren Klimaeffekt auslöst.

Die Forschung prognostiziert eine weitere Zunahme der Durchschnittstemperatur um 2 bis 5 °C. Abhängig ist dies einerseits von Vorgängen in der Natur, z. B. Vulkanausbrüchen, andererseits vom zukünftigen Verhalten des Menschen, z. B. Ausstoss oder Reduktion von Kohlendioxid, Methan usw. Frühere Analysen hatten die Rolle der Aerosole, der Schwebeteilchen in der Atmosphäre, nicht berücksichtigt und einen grösseren als tatsächlich eingetretenen Temperaturanstieg auf der Erde erwartet. Aerosole, ob natürlicher Art oder vom Menschen verursacht, kühlen die Erdoberfläche und verursachen so eine Gegensteuer zur Erwärmung durch den Treibhauseffekt.

Diese Erwärmung war zwischen den Fünfziger- und Achtzigerjahren aufgrund der Luftverschmutzung gedämpft worden. Nach vermehrten Bemühungen zur Luftreinhaltung ist die Atmosphäre seit den Neunzigerjahren wieder klarer geworden, sodass mehr Strahlung durchdringen kann und für eine ungebremsste Erwärmung sorgt.

Einfluss der Sonne

Die eben nicht konstante, sondern variable «Solarkonstante» weist gerade im ultravioletten Bereich (UV-Strahlung) grössere Schwankungen auf als im sichtbaren. Diesem Phänomen war man bereits seit Carl Dorno auf der Spur – eine Aufgabe, die man heute am PMOD/WRC weiterverfolgt und besser in den Gesamtkontext einordnen kann.

Die Variation der Sonne hat auch Einfluss auf das Erdklima. Zum besseren Verständnis trennt man zudem in anthropogene und natürliche Einflüsse der Sonnenstrahlung. In Zeiten, in denen noch keine menschlichen Aktivitäten die Erdatmosphäre belasteten, gab es dennoch Klimaveränderungen. Diese beruhten auf natürlichen Einflüssen, bei denen die Sonne zum Tragen kommt. Eine «kleine Eiszeit» in Nordeuropa gegen Ende des 17. Jahrhunderts fällt z. B. zusammen mit einer geringen Sonnenaktivität (Maunder Minimum). Der Verdacht liegt nahe, dass dies auf den Einfluss der Sonnenvariationen zurückzuführen ist.

Dienstleistung

WRC und WORCC

Das seit 1971 bestehende Weltstrahlungszentrum (WRC) verfolgt im Wesentlichen nach wie vor dieselben Zwecke wie zu Zeiten seiner Gründung. Mittlerweile erfolgte eine Einteilung nach Spektralbereichen der Strahlung in die Sektionen «Solare Radiometrie» sowie «IR-Strahlung». Die Kalibrierung von Messgeräten aus aller Welt erfolgt sowohl fortlaufend wie auch bei den alle fünf Jahre in Davos stattfindenden internationalen Treffen (IPC).

Im Herbst 2005 fanden während dreier Wochen die 10. internationalen und regionalen Pyrheliometer-Vergleiche (IPC X) am PMOD/WRC statt. Eine Rekordzahl von 73 Teilnehmern aus 42 Ländern brachte 101 Messinstrumente zum Kalibrierungstreffen. Zum 2. Mal nach 2000 wurden auch 14 Filterradiometer zur Trübungsmessung aus acht Ländern evaluiert. Nicht nur, dass sich nach wie vor die hohe Lage des Davoser Instituts als ideal für Sonnenmessungen erwies, auch die Wetterverhältnisse waren während dieses Treffens ausgezeichnet und erleichterten die Arbeit sehr.

Die Weltstandardgruppe (WSG) von Sonnenstrahlungsmessinstrumenten besteht derzeit aus sechs Absolutradiometern. Analog zum Ur-Kilogramm in Paris dienen diese Instrumente als Kalibrierreferenz. Sie sind auf einer Plattform neben dem Gebäude des PMOD/WRC montiert, werden beim Messen genau auf die Sonne ausgerichtet und der täglichen Sonnenbahn nachgeführt.

Die WSG war von Mitte der Achtzigerjahre bis 2006 in einer Holzbaracke vor dem Institutsgebäude untergebracht. Die Instrumente befanden sich auf einer mobilen Einheit, die jeweils zum Messen herausgeschoben werden musste.

Rechtzeitig auf das Jubiläumsjahr konnte dank der Finanzierung des Bundes ein Neubau mit einem beweglichen Dach errichtet werden, sodass die Plattform mit der WSG



In ihrem 2006 neu erstellten Haus bleibt die Weltstandardgruppe fest an ihrem Standort. Zum Messen wird die Front geöffnet und der vordere Teil des Hauses zurückgefahren

nicht mehr bewegt werden muss. Geplant ist, auch das seit 1996 am PMOD/WRC angegliederte und mit Drittmitteln finanzierte Kalibrierzentrum für Messgeräte zur Bestimmung der atmosphärischen Trübung durch Feinstaub (WORCC) fest dem WRC anzugliedern. Trübungsmessungen werden zunehmend wichtiger, da ihr Beitrag zur Klimaänderung erkannt wurde. Wie bei den Strahlungsmessungen ist auch für die Bestimmung der globalen Trübung ein Zentrum nötig, das für die weltweite Einheitlichkeit der Messungen sorgt.

Auch die (Weiter-)Entwicklung von Messgeräten am PMOD/WRC erfolgt weiterhin im Sinne des WRC. Zusätz-

lich zum Eigenbedarf werden auf Anfrage auch Serien aktueller Instrumente zum Verkauf aufgelegt.

Ende der Neunzigerjahre wurde die Herstellung von Absolutradiometern, die zwischenzeitlich an externe Firmen vergeben war, ans PMOD/WRC zurückgeholt. Der Verkauf von Messinstrumenten an internationale Kunden hat eine lange Tradition, die bis in die Dreissigerjahre zurückgeht und früher einen wichtigen Faktor im Budget des Instituts darstellte. Weltweit sind z.B. derzeit rund 60 in Davos gefertigte Präzisionsfilterradiometer im Einsatz. Eine Instrumentenserie umfasst üblicherweise 10 bis 15 Instrumente, die innert eines halben Jahres gefertigt und kalibriert zum Verkauf bereitgestellt werden kann.

Qualitätsmanagementsystem

Ende Dezember 2004 führte das PMOD/WRC ein Qualitätsmanagementsystem (QMS) ein, das die Kalibration von Strahlungsmessinstrumenten abdeckt. Das QMS erfüllt nach der EN/ISO-Norm 17025 «allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien». Im Februar 2006 wurde das PMOD/WRC-QMS dem «Technical Committee – Quality» der Euromet erfolgreich präsentiert. Euromet ist eine freiwillige Vereinigung der Nationalen Metrologie-Institute (NMI) aus dem EU-, EFTA-Raum. Das PMOD/WRC-QMS ist nun anerkannt, und somit kann auf Kalibrierzertifikaten die angewandte ISO-Norm referenziert werden, was für viele Kunden von zunehmender Bedeutung ist. Regelmässige Audits und Reviews garantieren, dass die angewandten Prozesse und Hilfsmittel überprüft und gegebenenfalls verbessert werden.

Internationale Konferenzen

Trotz modernster Kommunikationsmethoden ist der persönliche Austausch unter Wissenschaftlern weiterhin sehr wichtig. Das PMOD/WRC engagiert sich als Organisator von Meetings unterschiedlichster Grössenordnungen in verschiedenen Fachgebieten.

Forschung

«Variabilität der Sonne und Globales Klima»

Unter diesem Titel wurde 2000 vom PMOD/WRC ein interdisziplinäres Projekt («Polyprojekt») initiiert, das den Einfluss der Sonnenstrahlung auf das Erdklima erforscht. Der offizielle Start gemeinsam mit Spezialisten für Sonnenphysik, Chemie der Erdatmosphäre und Klimaforschung der ETH Zürich erfolgte 2001. Ziel der Untersuchungen ist nicht, den anthropogenen Anteil am unbestrittenen Klimawandel zu verleugnen, sondern zusätzliche Einflüsse auf das Erdklima zu bestimmen und somit auch Vorhersagen zu den Lebensbedingungen auf der Erde treffen zu können.

Aufgrund neuer Kenntnisse über die Aktivität der Sonne kann auf die Veränderung der Strahlung und das sich ändernde Sonnenspektrum, insbesondere den UV-Anteil, geschlossen werden. Dieses beeinflusst die Chemie der Erdatmosphäre und ist in der Folge, z. B. in Form von variierender Dynamik der Winde und einer Änderung der Temperatur an der Erdoberfläche, (mit-)bestimmend für das Erdklima.

Die Rekonstruktion der Strahlung und die Evaluation dessen Einflusses erfolgen in verschiedenen Zeitschritten. Dabei wird u. a. mit Computermodellen gearbeitet. Zuerst untersuchte man die letzten 25 Jahre, da in diesem Zeitraum sehr viele Klimadaten erhältlich sind, mit denen die theoretischen Berechnungen auf ihre Richtigkeit überprüft werden konnten. Zurzeit werden die letzten 100 Jahre erforscht, um dann als nächstes 400 Jahre zurückzurechnen. Dieser Zeitraum ist besonders interessant, da im 17. Jahrhundert in Nordeuropa die sogenannte kleine Eiszeit herrschte. Bei ihr wird vermutet, dass sie durch die damals sehr geringe Sonnenaktivität ausgelöst wurde. Die Sonnenaktivität kann vor allem über die Zahl der Sonnenflecken bestimmt werden, die seit der Erfindung des Teleskops beobachtet wurden. Am PMOD/WRC wird das Sonnenspektrum mit Hilfe eines Computermodells aus der Sonnenaktivität berechnet. Die Erforschung



Messinstrumente mit Weltstandardgruppe (sechs Instrumente rechts oben) um 2004

der vergangenen Sonnenaktivität soll schlussendlich bis zu 50 000 Jahre zurückgehen, was durch die Untersuchung von Eisbohrkernen aus Grönland möglich ist.

Bedeutung des UV für das Erdklima

Das UV variiert über den elfjährigen Sonnenzyklus 100- bis 1000-mal stärker als die Gesamtstrahlung. Ganz in der Tradition des PMOD gilt der UV-Strahlung im Rahmen dieses Projektes daher besonderes Augenmerk im Hinblick auf Ozonkonzentration und Temperatur in der äusseren Schicht der Erdatmosphäre (Stratosphäre).

So untersucht man den Einfluss der Variabilität einer starken UV-Emissionslinie, der Lyman-Alpha-Strahlung, auf die Chemie der Erdatmosphäre. Dafür werden auch die Messungen des in Vorbereitung befindlichen Weltraumexperiments LYRA wichtig sein.

Rückschlüsse

Dank besserer, umfangreicherer Modelle, mit denen man mehr Parameter berechnen kann, ist es u.a. möglich, auch die atmosphärische Trübung zurückliegender Zeiten besser zu bestimmen und zu interpretieren. Dem liegen die aktuell aufbereiteten Messdaten der Gesamtstrahlung seit Dorno zugrunde.

Auch können durch Vergleiche dieser Zeitreihe mit der seit 20 Jahren gemessenen Solarkonstante Rückschlüsse auf das Atmosphärenmodell gezogen werden.

Weltraumexperimente

Mehrere aktuelle Weltraumprojekte sind derzeit abflugbereit, im Bau oder in Planung. Dabei muss darauf hinge-



Techniker im Reinraum mit Experiment Lyra

wiesen werden, dass Experimente, wie sie das PMOD/WRC baut, nicht isoliert bestehen können, sondern immer die Infrastruktur eines Satelliten benötigen. Unter der Federführung eines Instituts erfolgen Entwicklung und Durchführung eines Experimentes daher in internationaler Zusammenarbeit gemeinsam mit mehreren weiteren Experimenten. Der Satellit wird in der Regel von einer grossen Raumfahrtagentur gebaut und ins All transportiert.

Eine Herausforderung für jedes Weltraumexperiment ist die Unterbringung auf möglichst kleinem Raum. Das Aluminiumgehäuse von LYRA misst bei einer Höhe von 7,6 cm kaum mehr als ein A4-Blatt, nämlich 22 x 35 cm. Mit den drei Radiometern und der Elektronik weist es ein Gewicht von nur 4,8 kg auf.

Auf Satelliten oder der Internationalen Raumstation ISS sind stets mehrere Experimente auf engstem Raum untergebracht und beziehen ihre Energie von mitgeführten Solarzellen. Wenn es nach der Entwicklung eines Prototypen bei den Weltraumexperimenten ernst wird, geht es am PMOD/WRC in den Reinraum. Hier werden – unter absolut «reinen» Bedingungen – alle Bauteile zusammengefügt, denn das Sonnenlicht würde das kleinste Staubteilchen auf den optischen Teilen einbrennen. Zum Sauberhalten während des anschliessenden Transports und Einbaus in den Satelliten werden die Instrumente mit Stickstoff geflutet. Nicht alle vor einem Start ins All notwendigen Tests können am PMOD/WRC durchgeführt werden. Dazu gehören Vibrationstests und thermische Versuche. Die Experimente müssen z.B. Temperaturen von -40 bis $+70$ °C aushalten können. Solche Tests werden z.B. bei der Contraves Space AG in Zürich gemacht.

SOVIM

Seit 1998 laufen die Vorbereitungen für das Weltraumexperiment SOVIM unter der Leitung von Dr. Claus Fröhlich. Der vormalige PMOD/WRC-Leiter betreut die Fertigung dieses Experimentes, das noch von ihm als Direktor initiiert wurde,

in seinem Ruhezustand. Der ursprünglich für 2001 geplante Start mit einem Space Shuttle zur Internationalen Raumstation ISS musste aufgrund der Probleme der NASA nach der Explosion des Shuttles Columbia mehrfach verschoben werden und ist derzeit für Ende 2007 vorgesehen.

SOVIM war ursprünglich als Nachfolger von VIRGO zur Messung der totalen und spektralen Sonneneinstrahlung mit einer Missionsdauer von drei Jahren gedacht. Die frisch kalibrierten Messinstrumente dieses Experiments sollen helfen, andere (z.B. von VIRGO) nachzueichen und dabei die Korrektur der Empfindlichkeit der Messinstrumente (Degradation) zu überprüfen.

Die Degradation der VIRGO-Instrumente wird derzeit intern bestimmt, ein Vergleich mit frisch kalibrierten Instrumenten erlaubt auch eine Überprüfung der bislang angewandten Korrekturmethode.

LYRA

Zur Messung der UV-Strahlung der Sonne, besonders der starken Emissionslinie Lyman Alpha, soll der Lyman-Alpha-Radiometer (LYRA) ab 2007 für zwei Jahre auf dem europäischen Technologiesatelliten PROBA2 unterwegs sein. Entwicklung und Herstellung der Hardware dieses in Zusammenarbeit mit belgischen Instituten erstellten Projektes erfolgte am PMOD/WRC seit 2003. Es handelt sich um den ersten Einsatz von neuartigen UV-Detektoren aus Diamant im Weltall. Die drei Filtradiometer verfügen über je vier Messkanäle und messen die Sonneneinstrahlung bei vier verschiedenen UV-Wellenlängen bis zu den ganz kurzen im extremen Fern-UV.

PREMOS

Der für 2008/09 vorgesehene Start des Experiments PREMOS auf dem französischen Satelliten PICARD wird die Messungen der gesamten Sonnenstrahlung von VIRGO und der UV-Strahlung von LYRA weiterführen. Die vorläufige Missionsdauer ist bis ins Jahr 2013 angelegt.

Seismologie der Sonnenatmosphäre

Die Beobachtungen der Sonnenstrahlung sind auch für Überlegungen im Hinblick auf die Sonne selbst nützlich. In der Helioseismologie hat man sich nach den Untersuchungen zu den Oszillationen des Sonnenkörpers neuerdings der Sonnenatmosphäre zugewandt und betreibt Forschung zu deren Eigenschaften.

Dabei werden zwei Spektrallinien des Sonnenspektrums, die das Signal von wandernden Wellen tragen, beobachtet. Das ermöglicht Rückschlüsse auf die physikalische Beschaffenheit der Sonnenatmosphäre. Indem sich die derzeitige Forschung am PMOD/WRC auf den natürlichen Einfluss der Sonne auf das Klima der Erde konzentriert, leistet sie einen Beitrag zum besseren Verständnis dieses Naturfaktors des Treibhauseffekts als zweite Grösse neben demjenigen der Zivilisation.

Finanzierung

Der Schweizerische PRODEX-Fonds finanziert wissenschaftliche Einrichtungen und den Bau von Weltraumprojekten durch eidgenössische Institute und Firmen. Gelder aus diesem Fonds erlauben auch die Weltraumexperimente des PMOD/WRC. Der PRODEX-Finanzierungsmodus wird von mehreren Mitgliedern der ESA genutzt und erspart diesen eine eigene Weltraumorganisation. Das Schweizerische PRODEX-Programm wird vom Swiss Space Office, das zum Staatssekretariat für Erziehung und Forschung gehört, verwaltet.

Abteilungen des PMOD/WRC

Leitung

Im Juli 1999 trat Prof. Werner Schmutz (geb. 1952) die Nachfolge von Dr. Claus Fröhlich in der Leitung des PMOD/WRC an. Der Astrophysiker war zuvor an der ETH Zürich tätig gewesen.

Im Jahre 2002 wurde er zum Titularprofessor des Departements Physik der ETH Zürich ernannt. Er hält dort Vorlesungen in Astrophysik.

Als Leiter PMOD/WRC ist Prof. Werner Schmutz verantwortlich für das Weltstrahlungszentrum (WRC) und für Ziele und Ausrichtung der grösstenteils drittmittel-finanzierten Forschungsprojekte, insbesondere für die Einbettung der Weltraumexperimente in den Institutsbetrieb.

Werner Schmutz



Aufbereitung der Messreihe seit Dorno

Messreihen der Sonnenstrahlung gehen am PMOD bis zu Dornos ersten Pyrheliometer-Aufzeichnungen aus dem Jahr 1909 zurück. Die unterschiedlichen Skalen, mit denen seither gearbeitet wurde, machen eine Homogenisierung der Daten erforderlich. Als Grundlage hierzu dient der Bezug auf die heutige Weltstandardgruppe des PMOD. Ebenfalls nötig ist eine einheitliche Digitalisierung der Daten, deren Archivierung von handschriftlichen Tabellen bis zu veralteten Magnetbändern reicht.

WRC-Sektion Solare Radiometrie

Internationale Kalibriertreffen

Die im Jahr 2005 in Davos durchgeführten internationalen Messgerätevergleiche (IPC) waren bereits die zehnten in der Geschichte des PMOD und bilden nach wie vor eine der Grundlagen des WRC. Im 2005 war der derzeitige Gruppenleiter der WRC-Sektion Solare Radiometrie, Dr. Wolfgang Finsterle, Organisator der IPC, im 2000 war es seine Vorgängerin, Dr. Isabelle Rüedi.

Neuer Typ Absolutradiometer

Seit den Siebzigerjahren wurden am PMOD/WRC Absolutradiometer entwickelt. Aufbau und Messprinzip der Instrumente sind seit ca. 1980 gleich geblieben. Basierend auf der Modellreihe von PMO1 bis PMO6 arbeiten Dr. Wolfgang Finsterle und Doktorand Uwe Schlifkowitz an einer Neuentwicklung eines Absolutradiometers, die 2003 von Dr. Isabelle Rüedi begonnen wurde. Ein phasensensitives Messprinzip soll zwischen direkt entstehender Wärme durch die zu messende Sonneneinstrahlung und Wärmeentwicklung durch Nebeneffekte, z.B. Temperaturschwankungen oder Streulicht, unterscheiden können.



Von links: Margit Haberleiter, Uwe Schlifkowitz, Wolfgang Finsterle, Simon Strässle (Zivildienstleistender)

Grundlagenforschung

Hauptrichtung der in dieser Abteilung des PMOD/WRC betriebenen Grundlagenforschung ist die Helioseismologie. Dr. Margit Haberleiter erforscht die Ausbreitung akustischer Wellen in der Sonnenatmosphäre. Dies soll Rückschlüsse auf die physikalischen Eigenschaften der Sonnenatmosphäre ermöglichen. Sie entwickelt ein Modell zur Simulation dieser Wellen, um vorhandene Messungen besser zu verstehen und um die Methoden der Datenanalyse zu verbessern.

WRC-Sektion IR und Europäisches UV-Kalibrierzentrum

WIRCC

World Infrared Radiometer Calibration Center

Der Auftrag zur Einrichtung eines Welt-Kalibrierzentrums für Infrarot-Radiometer (Pyrgometer) wurde dem Weltstrahlungszentrum Davos von der WMO im Jahr 2004 erteilt. Dr. Julian Gröbner übernahm im darauf folgenden Jahr dessen Leitung von PD Dr. Rolf Philipona. Der Experte für UV-Strahlung hat eine wachsende Zahl von Kundenanfra-

gen zu bewältigen. 14 Institute aus vier Kontinenten sandten 2005 ihre Pyrgometer nach Davos, um die IR-Messungen der jeweiligen Landesmessnetze auf die Referenz am PMOD/WRC einstellen zu lassen. Kalibriereinrichtungen im Labor dienen ebenso der Erfüllung der Kundenaufträge wie die Kalibrierplätze auf dem Dach des Alten Schulhauses. Dort befindet sich auch die Standardgruppe der Infrarot-Radiometer. Zur Erlangung von langzeitstabilen Messdaten werden Nachtmessungen bei klarem Himmel bevorzugt, um so störende Einflüsse der Sonnenstrahlung zu vermeiden.

Europäisches Referenzzentrum für Ultraviolett-Strahlungsmessung

Das europäische Referenzzentrum für UV-Strahlungsmessung wurde 2005 vom Joint Research Center der Europäischen Kommission im italienischen Ispra zu Dr. Julian Gröbner und Dr. Gregor Hülsen ans PMOD/WRC übertragen. Nach dem Transfer der Ausrüstung und dem Aufbau des Instrumentariums konnte der Betrieb 2006 mit Drittmitteln offiziell aufgenommen werden. Auch für das UV-Referenzzentrum wird der Status einer WRC-Sektion als Welt-Kalibrierzentrum angestrebt.



Von links: Julian Gröbner, Gregor Hülsen

WORCC

World Optical Depth and Calibration Center



Christoph Wehrli

Atmosphärische Trübungsmessung

Im Auftrag der WMO wurde im Januar 1996 das World Optical Depth and Calibration Center am PMOD/WRC eingerichtet. Es gehört zum Beginn der Neunzigerjahre von der WMO eingerichteten Global Atmosphere Watch-Programm (GAW). Pro Jahr wurden Fr. 150 000.– von der MeteoSchweiz zur Verfügung gestellt. Aufgrund einer 2005 erfolgten internationalen Evaluation des GAW-CH wurde der Ausbau des WORCC mit einer zusätzlichen Arbeitsstelle empfohlen.

In den Neunzigerjahren, als das Thema Treibhauseffekt aktuell wurde, hinterfragte man kritisch die seit 20 Jah-

ren durchgeführten Trübungsmessungen bei der WMO und stufte sie als unzureichend ein. Der Auftrag an das in Davos geschaffene WORCC lautet, eine adäquate Instrumentierung und Messmethoden mit Qualitätskontrolle zu entwickeln. Rund um die Welt soll ein Messnetz mit zwölf Stationen errichtet werden. Das WORCC wird von dem seit 1978 am Observatorium tätigen Diplom-Physiker Christoph Wehrli betreut.

Präzisionsfiltrerradiometer

In den zehn Jahren des Bestehens des WORCC wurde das Precision Filter Radiometer (PFR) entwickelt und in kleiner Serie hergestellt. Das Messnetz umfasst gegenwärtig zehn Stationen, es fehlen noch Standorte für PFR in Südamerika, Asien und Afrika.

Gemessen wird die Sonnenstrahlung bei gutem Wetter. Mit Hilfe von Modellen wird der Anteil von Schwebeteilchen, Aerosolen, in der Atmosphäre berechnet und so ihre optische Dichte bestimmt.

Kalibrierung

Referenz-Präzisionsfiltrerradiometer werden regelmässig sowohl auf Bergstationen über 3000m als auch im Optiklabor des PMOD/WRC geeicht und dienen dann zur Kalibrierung der Instrumente im Messnetz.

Im Rahmen der Instrumentenvergleiche (IPC X) wurden 2005 zum zweiten Mal auch 14 Filtrerradiometer aus acht Ländern nach Davos gebracht und sind mit den PFR verglichen worden.

«Polyprojekt»

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Variabilität der Sonne und Globales Klima» umfasst Sonnenphysik, Chemie der Erdatmosphäre und Klimaforschung. Es wurde im Jahr 2000 von Prof. Werner Schmutz initiiert und konnte 2001 mit der Verpflichtung des Projektleiters Dr. Eugene Rozanov ans PMOD/WRC offiziell gestartet werden. Im Jahr



Von links: Micha Schöll, Tanja Egorova, Evgeni Rozanov

2006 trat das Projekt in seine zweite Phase und befindet sich neu unter der Projektverantwortung von Prof. Dr. Thomas Peter vom Institut für Atmosphäre und Klima (IAC) der ETH. Neben dem PMOD/WRC und dem IAC ETH sind das ETH-Institut für Astronomie sowie das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Eawag, daran beteiligt.

Das Projekt untersucht die sich ändernde Sonnenstrahlung und deren Einfluss auf das Erdklima. In vier aufeinander aufbauenden Themenbereichen

1. Bestimmung der Sonnenaktivität (ETH)
2. Bestimmung der Sonnenstrahlung (PMOD)
3. Einfluss auf Erdatmosphäre (Stratosphäre) (PMOD/ETH)
4. Einfluss auf Erdklima (Troposphäre) (ETH)

sind je zwei zeitlich aufeinander folgende Doktorandenstellen vergeben worden. In der ersten Projektphase haben Margit Haberleiter und Tanja Egorova in den Bereichen 2 und 3 promoviert. Derzeit führt MichaSchöll die Forschung im Bereich 2 weiter. Bereich 3 wird am IAC ETH von Patricia Kenzelmann bearbeitet.

Dr. Margit Haberleiter ist als Postdoc zur WRC-Sektion Solare Radiometrie gewechselt. Dr. Tanja Egorova untersucht derzeit am PMOD/WRC den Einfluss der Lyman-Alpha-UV-Strahlung auf die Erdatmosphäre.

Technik

Die Technische Abteilung fungiert als Dienstleister nach innen und aussen. Elektroingenieure, Elektronikerlehrlinge, Physiklaboranten und ein Mechaniker setzen einerseits die Ideen der PMOD-Wissenschaftler zur Neu- und Weiterentwicklung von Messinstrumenten um, andererseits werden Serien bewährter Geräte für den externen Verkauf gefertigt. Elektroingenieur und stv. Direktor Hansjörg Roth, seit 1972 am PMOD/WRC, ist der verantwortliche Einsatzleiter für Werkstatt und Labor, Projektleiter der Weltraumexperimente und Berufsbildner für die Elektronik-Lernenden.

Elektronik

Erste Computer und computergesteuerte Messungen am PMOD/WRC wurden von Roth entwickelt und von ihm und einem Laboranten betreut. Mit der zunehmenden Häufigkeit von Weltraumexperimenten und komplexeren Anforderungen der Forschung wuchs die Abteilung. Die Elektroingenieure Daniel Pfiffner (SOVIM/PREMOS) und Silvio Koller (LYRA/PREMOS, Qualitätsmanagement) kamen zum Team,



Von links: Daniel Pfiffner, Silvio Koller, Samuel Prochazka, Fabian Nater (Zivildienstleistender), Christian Gubser, Hansjörg Roth

das von den Laboranten Daniel Bühlmann, Marcel Spescha (IT-Verantwortung) und Christian Thomann (WSG-Betreuung) unterstützt wird. Im Zweijahresrhythmus bietet das PMOD/WRC seit 1977 je eine Stelle für die vierjährige Ausbildung zum Elektroniker an, die zurzeit mit Chasper Buchli (3. Lehrjahr) und Samuel Prochazka (1. Lehrjahr) besetzt sind. Christian Gubser hat seine Ausbildung im Herbst 2006 abgeschlossen.



Urs Jules Wyss



Von links: Marcel Spescha, Daniel Bühlmann,
Christian Thomann

Mechanik

Feinmechaniker (Urs) Jules Wyss, mit Stellenantritt 1.3.1964 der dienstälteste PMOD-Mitarbeiter, komplettiert die Technische Abteilung. Seine Werkstatt mit Drehbänken, Fräs- und Blechbearbeitungsmaschinen ist in der ehemaligen Turnhalle des Alten Schulhauses untergebracht. Neben Konstruktion und Herstellung aller mechanischen Teile von Weltraumprojekten, Messinstrumenten und Experimenten obliegt ihm die Verantwortung für die Haustechnik.

Entwicklung

Ideen und Anforderungen der Wissenschaftler werden in der Technischen Abteilung umgesetzt. Es werden zunächst Prototypen elektronischer Schaltungen/Steuerungen entworfen, hergestellt und getestet (z.B. im Klimaschrank bei verschiedenen Temperaturen), bevor es an die endgültige Realisierung geht. Software-Entwicklung für Weltraumexperimente gehört ebenso zu den Aufgaben wie die Anwendung von Optik- und Vakuumtechnik.

Herstellung

Die Herstellung von Instrumenten durch die Technikabteilung erfolgt nicht nur für den Eigenbedarf, auch zum Kauf angeforderte Messgeräteserien werden im Haus gefertigt.

Administration

In der Administration des PMOD/WRC laufen unter der Leitung der eidg. dipl. Personalfachfrau Sonja Degli Esposti alle Fäden zusammen. Sie kümmert sich seit 1997 um administrative und personelle Belange des PMOD/WRC. Ihr Aufgabengebiet hat sich im Laufe der Zeit stark gewandelt und erweitert, sodass ihr 2004 Angela Knupfer mit einem 30%-Pensum und seit Oktober 2006 Stephanie Ebert mit einer 60%-Stelle zur Seite gestellt wurden.

Klassische Sekretariatsarbeiten sowie Buchhaltung und Personalwesen werden am PMOD/WRC u.a. durch Kon-



Von links: Denise Dicht, Joka Sarcevic, Angela Knupfer, Annika Weber, Sonja Degli Esposti, Cornelia Lindner

gress- und Reiseorganisation und Bibliotheks-/Publikationsbetreuung ergänzt. Seit 2003 gibt es am Institut eine Lehrstelle für Kauffrauen. Annika Weber hat als erste PMOD-Kauffrau 2006 ihre Ausbildung abgeschlossen. Joka Sarcevic hat im August 2006 ihre Nachfolge angetreten.

Die umfangreiche Buchhaltung umfasst sowohl diejenige des Instituts und der Drittmittel als auch die Lohnabrechnungen der Mitarbeiter. Neben den alle fünf Jahre in Davos stattfindenden Instrumentenvergleichen (IPC) gilt es, Kongresse und Seminare zu organisieren. Das Sekretariat ist ebenfalls in Kalibrierung, Herstellung und weltweiten Verkauf von Instrumenten involviert. Nicht zuletzt stellt es die soziale Seele des Hauses dar.

Für die erforderlichen zusätzlichen PR-Massnahmen im Rahmen eines Jubiläums wurde 2006 Cornelia Lindner als

Projektleiterin «100 Jahre PMOD» verpflichtet. Der Einsatz einer Public-Relations-Fachfrau entspricht den Anforderungen einer modernen Unternehmenskommunikation.

Seit 1999 ist das PMOD/WRC Einsatzbetrieb für Zivildienstleistende. Im Sekretariat erfolgt die Koordination der Zivildienstleistungen für je eine Kraft im elektronischen und im wissenschaftlichen Bereich. Daneben werden in der Hälfte der Arbeitszeit Hilfsarbeiten geleistet. Im Jahr 2006 verbrachten Lukas Itin, Diego Waser, Fabian Nater, Stefan Moser, Silvio Koller, Simon Strässle, David Moser und Florian Ruesch ihren mehrmonatigen Einsatz am Observatorium. Im Alten Schulhaus stehen dafür zwei Gastzimmer für die Unterbringung zur Verfügung.

Ebenfalls im Haus befindet sich eine Abwärtswohnung. Seit 2006 hat Denise Dicht die 40%-Abwärtsstelle inne.



Auf dem französischen Satelliten PICARD wird das PMOD/WRC-Experiment PREMOS im All unterwegs sein © CNES

Das PMOD/WRC im 21. Jahrhundert

Die vergangenen 100 Jahre waren für das PMOD ohne Zweifel eine Erfolgsgeschichte, die sich auch in der Zukunft fortsetzen soll. Der Schlüssel zum Erfolg ist der Synergieeffekt zwischen Grundlagenforschung und Dienstleistung. Die Grundlagenforschung ist die Basis zu einer international anerkannt führenden Rolle in solarer Radiometrie, die das Institut auch langfristig gegenüber der Weltorganisation für Meteorologie, dem Nutzniesser der WRC-Dienstleistung, als kompetentes Weltstrahlungszentrum qualifiziert. Umgekehrt bringt die Kalibriertätigkeit dem PMOD/WRC den Ruf, dass es seine wissenschaftlichen Forschungsaktivitäten auf der Basis der strengen Massstäbe von Metrologieinstituten durchführt. Ein wichtiger neuer Aspekt ist, dass die Kalibriertätigkeit seit 2006 den ISO-Qualitäts-

standards entspricht und dass dadurch das PMOD/WRC in die Gemeinschaft der metrologischen Institute eingebettet werden konnte. Es ist auch Mitunterzeichner des Abkommens zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibriertätigkeiten der Metrologieinstitute. Damit ist die Stellung des PMOD/WRC in seiner Kerntätigkeit einem Nationalen Metrologieinstitut gleichgestellt.

Trotz der gesicherten Stellung des WRC als Bewahrer des Primärstandards für solare Radiometrie ist diese Kalibrierungsaufgabe nicht für alle Ewigkeit garantiert. Es ist abzusehen, dass es irgendwann gelingen wird, mit einer Weiterentwicklung der Radiometer – noch weiter fortgeschritten als die neue Generation, die sich jetzt in Entwicklung befindet –, in absoluten Einheiten genauer zu messen als die relative

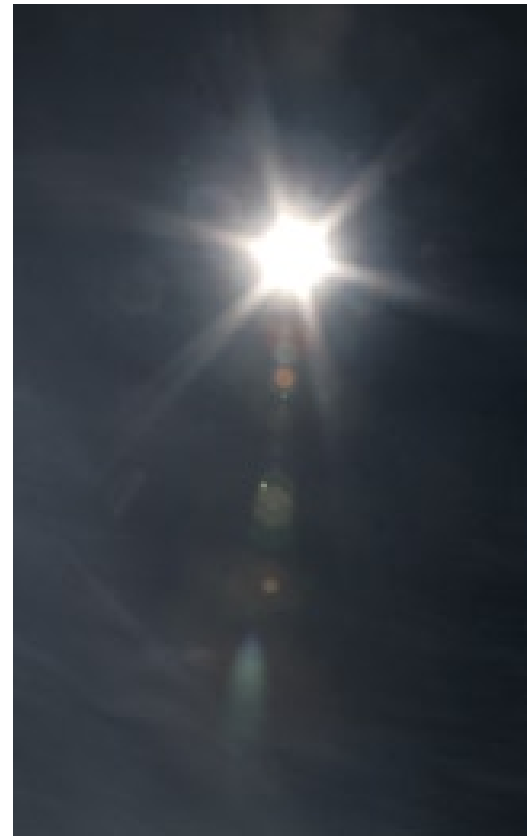
Unsicherheit der heutigen Strahlungsreferenz. Dann wird diese zum Sekundärstandard und muss selber kalibriert werden. Das Weltstrahlungszentrum soll daher in meiner Zielsetzung zu den ersten Labors gehören, die Sonnenstrahlung direkt mit kryogenen Radiometern messen können und sich so auch längerfristig als ein auf Sonnenstrahlung spezialisiertes Metrologielabor behaupten können.

Grosse internationale Anerkennung finden seit Jahren die Weltraumexperimente zur Untersuchung der Bestrahlung der Erde durch die Sonne. Diese Aktivität wird mit neuen in Davos gebauten Instrumenten fortgesetzt. Dafür muss schon heute eine passende Mission gefunden werden. Die derzeitige Langfristplanung sieht in der chinesischen Sonnenmission KuaFu, die im Jahr 2012 gestartet werden soll, die beste Chance, die Strahlungsmessungen aus dem Welt- raum fortzusetzen. Auch bei der nächsten Sonnenmission der ESA, dem Solar Orbiter mit Start im Jahr 2015 oder sogar noch später, möchte das PMOD/WRC ein Instrument beitragen. Dabei kann die Fortführung der Beobachtungsreihe der Sonneneinstrahlung wegen seiner Bedeutung für das Erdklima fast Pflichtprogramm genannt werden. Die Frage, wie gross die Sonne längerfristig in ihrer Energieabstrahlung schwankt, kann mit heutigem Verständnis der Sonne nicht theoretisch beantwortet werden. Daher müssen die Messungen der Sonnenstrahlung mit grösstmöglicher Genauigkeit weitergeführt werden. Wer, wenn nicht das PMOD/WRC, wäre für diese Aufgabe prädestiniert?

Es ist nicht im Dienstleistungsauftrag an das WRC festgelegt, wie viel Forschung das Institut betreiben soll. Der Bau von Weltraumexperimenten und praktisch die gesamte Forschungstätigkeit sind projektgebunden aus Drittmitteln bezahlt. Die Grundfinanzierung, die rund zwei Drittel des Jahresumsatzes ausmacht, deckt im Wesentlichen den Betrieb des Weltstrahlungszentrums. Es ist daher eine ständige Herausforderung an die Institutsleitung, bei den wachsenden Anforderungen an die Dienstleistung die Forschung nicht zu vernachlässigen. Es ist dem gesunden Ehrgeiz und

Einsatz aller Mitarbeiter zu verdanken, dass zahlreiche, sich aber ergänzende, Projekte bearbeitet werden können. Eine grosse Begeisterung und Motivation der Mitarbeiter ist und war die Basis aller guten Resultate, und solange sich hervorragende Mitarbeiter für ihr Institut einsetzen, wird es auch weiterhin auf Erfolgskurs bleiben.

Prof. Dr. Werner Schmutz



Abkürzungsverzeichnis

| | | | |
|---------|--|----------|---|
| ASRB | Alpine Surface Radiation Budget | LYRA | Lyman-Alpha Radiometer |
| Eawag | Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, www.eawag.ch | MZA | Meteorologische Zentralanstalt, Zürich (heute: MeteoSchweiz, www.meteoschweiz.ch) |
| ETH | Eidg. Technische Hochschule, Zürich, www.ethz.ch | NASA | National Aeronautics and Space Administration, USA, www.nasa.gov |
| Euromet | Freiwillige Vereinigung der Nationalen Metrologie-Institute aus dem EU-, EFTA-Raum, www.euromet.com | NSDAP | Nationalsozialistische Deutsche Arbeiterpartei |
| ESA | European Space Agency, www.esa.int | PFR | Precision Filter Radiometer |
| Eureca | EUropean REtrievable CARrier | PMOD | Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos |
| GAW | Global Atmosphere Watch | PMOD/WRC | Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos / Weltstrahlungszentrum, www.pmodwrc.ch |
| IAC | Institut für Atmosphäre und Klima der ETH, www.iac.ethz.ch | PR | Public Relations |
| IPC | International Pyrheliometer Comparisons | PREMOS | PREcision MOonitoring of Solar Variability |
| IPHIR | Inter Planetary Helioseismology with IRradiance measurements | PRODEX | PROgramme de Développement d'EXpériences scientifiques |
| IPS | International Pyrheliometer Scale | QMS | Qualitätsmanagementsystem |
| IR | Infrarote Strahlung | SFI | Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin Davos, www.sfi-davos.ch |
| ISS | International Space Station | | |
| IT | Information Technology | | |

Begriffserklärungen

| | | | |
|-------|---|---------------|---|
| SIMBA | Solar Irradiance Measurements from BALLon | Photometer | Messung der Strahlung mit dem Photoeffekt |
| SOHO | SOlar Heliospheric Observatory | Pyrgometer | Messung des Infrarotanteils (langwellig) der Strahlung |
| SOVA | SOlar VAriability | Pyrheliometer | Messung der totalen direkten Sonnenstrahlung |
| SOVIM | SOlar Variability and Irradiance Monitoring | Pyranometer | Messung der kurzwelligigen totalen Sonnen- und Himmelsstrahlung |
| UV | Ultraviolette Strahlung | | |
| VIRGO | Variability of IRradiance and Gravity Oscillations | Radiometer | Gerät zur Strahlungsmessung |
| WIRCC | World Infrared Radiometer Calibration Center | | |
| WORCC | World Optical Depth and Calibration Center | | |
| WMO | World Meteorologic Organization, www.wmo.ch | | |
| WRC | World Radiation Center | | |
| WRR | World Radiometric Reference | | |
| WSG | Weltstandardgruppe | | |

Quellenverzeichnis

75 Jahre Schweizerisches Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin. Hg. Dr. Felix Suter. Davos: 1997.

Dorno, Carl. *Zwanzig Jahre Höhenklimaforschung*. Sonderabdruck. «Unsere Welt» 8/1925, 200-202.

Ferdmann, Jules. *Professor Dorno's Lebenswerk*. «Davoser Revue» 8/1928, 12-14.

Mörikofer, Walter. *Die Durchlässigkeit von Bekleidungsstoffen für Sonnenstrahlung verschiedener Spektralbereiche*. «Strahlentherapie». Zeitschrift der Dt. Röntgengesellschaft und der Gesellschaft für Lichtforschung. Berlin, Wien: 1931.

Mörikofer, Walter. *Carl Dorno*. Sonderabdruck. «Strahlentherapie» 1942/71. Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1942. PMOD-Archiv Nr. 336.

Mörikofer, Walter. *Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos*. Separatdruck aus Jubiläumsschrift «100 Jahre Meteorologie in der Schweiz 1864-1963». Hg. Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt. Zürich: 1964.

Nelson, Timothy. *Der Fall Gustloff: Was bleibt übrig?* «Davoser Revue» 3/2002, 14-21.

Steinhauser, Ferdinand. *Zum Gedenken an Walter Mörikofer*. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Serie A, 25, 207-210. Meteorologie und Geophysik. Wien: Springer, 1976.

Suter, Felix. *Zur Geschichte des Observatoriums Davos*. Mit Beitrag Fröhlich, Claus. *Ändert die Strahlung der Sonne?*. Hg. PMOD/WRC. Davos: 1977.

Leiter PMOD/WRC

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Prof. Dr. phil. nat. Carl Dorno | 1907 – 30.09.1926 |
| Dr. phil. nat. Frederik Lindholm | 01.10.1926 – 31.08.1929 |
| Dr. phil. nat. Walter Mörikofer | 01.09.1929 – 30.09.1966 |
| Dr. phil. nat. Emil Flach | 01.10.1966 – 21.12.1974 |
| Dr. sc. nat. Claus Fröhlich | 01.01.1975 – 30.06.1999 |
| Prof. Dr. sc. nat. Werner Schmutz | seit 01.07.1999 |

pmod  *wrc*

PMOD/WRC

Dorfstrasse 33, CH-7260 Davos Dorf

Phone +41 81 417 51 11, Fax +41 81 417 51 00

www.pmodwrc.ch