

promet

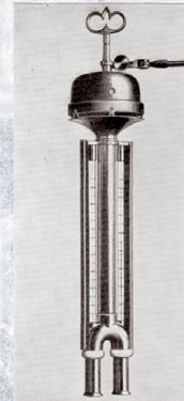
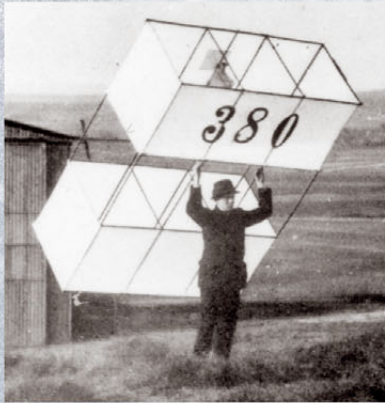
Jahrgang 31 Heft 2–4
2005

meteorologische fortbildung

Deutscher Wetterdienst



1905



100 Jahre Atmosphärensondierung



am Meteorologischen
Observatorium Lindenberg



2005



G. ADRIAN, H. GRAßL

2 Die Rolle der Observatorien heute

The role of observatories today

Zusammenfassung

Unter Hinweis auf die speziellen Beobachtungssysteme, die spezifische Infrastruktur und die Expertise bei der wissenschaftlichen Auswertung der gewonnenen Messdaten über physikalische und chemische Prozesse in der Atmosphäre werden die Aufgaben der beiden meteorologischen Observatorien des Deutschen Wetterdienstes dargestellt. Dazu gehören wesentliche Beiträge zur globalen Klimaüberwachung, zum Betrieb und der Verbesserung von nationalen und internationalen Messnetzen und zur Weiterentwicklung der Wettervorhersage.

Abstract

The tasks of the Meteorological Observatories of Deutscher Wetterdienst are presented referring to the specialised observing systems, the infrastructure and experiences in evaluating physical and chemical processes in the atmosphere from observations. Their contributions to global climate monitoring, to operation and improvement of national and international observing systems and to development of weather forecasting are briefly described.

1 Einführung

Die Komplexität der Vorgänge in der Atmosphäre und ihre Bedeutung für unsere Sicherheit zwingen zur dauerhaften Beobachtung, um erstens warnen zu können, aber auch um über erhöhtes Prozessverständnis die numerischen Modelle zur Wettervorhersage und zur Klimaentwicklung weiter zu verbessern. Die meteorologischen Messnetze einschließlich der meteorologischen Satelliten sind daher auch ein Teil der Frühwarnsysteme der Menschheit. Ohne sie wäre beispielsweise die Debatte über anthropogene Klimaänderungen ohne solide Basis. Im Folgenden soll deshalb der Beitrag der Observatorien als dem innovativstem Teil der Beobachtungssysteme besonders beleuchtet werden.

Die meteorologischen Observatorien des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sind neben den Forschungsgruppen zur Verbesserung der Wettervorhersage Bestandteile des Geschäftsbereiches Forschung und Entwicklung. Im Rahmen der gemeinsamen Arbeitsstrategie „Simulation und Observation“ erfüllen die Observatorien eigenständige Beiträge im Rahmen der nationalen und internationalen Verpflichtungen des DWD zur Wettervorhersage und Klimaüberwachung. Kennzeichen der Meteorologischen Observatorien Hohenpeißenberg und Lindenberg sind dabei zum einen der dauerhafte Betrieb eines speziellen Beobachtungssystems und zum anderen eine wissenschaftliche Auswertung der gewonnenen Beobachtungsdaten als ein wesentliches Hilfsmittel zur Qualitätssicherung. Ziel ist die kurz- und langfristige Überwachung der Struktur und Zusammensetzung der Atmosphäre, wie im § 4 des Gesetzes über den Deutschen Wetterdienst die Aufgabe der Klimaüberwachung definiert ist. Vergleichbare Funktionen innerhalb des Deutschen Wetterdienstes haben das „*Global Precipitation Climatology Centre*

GPCC“ (Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie), das „*Global Collecting Centre for Marine Observations GCC*“ oder auch die „*Satellite Application Facility for Climate Monitoring (CM-SAF)*“. Alle Funktionen zeichnen sich durch die Kombination Datengewinnung und wissenschaftliche Basisauswertung als Qualitätssicherung aus. Damit trägt der Deutsche Wetterdienst zum internationalen System der WMO zur globalen Überwachung des Klimas wesentlich bei.

Während GPCC, GCC oder CM-SAF überwiegend auf verfügbare Systeme der Datengewinnung (Messnetze, Schiffsbeobachtungen, Wettersatelliten) zurückgreifen, zu deren Betrieb der DWD ebenfalls erheblich beiträgt, werden an den beiden meteorologischen Observatorien technisch aufwendige Beobachtungssysteme selbst betrieben, die oft einmalig in Deutschland, z. T. auch in Europa oder gar weltweit, sind. Dazu ist spezielles Wissen und eine spezielle Infrastruktur erforderlich, die auch zur Unterstützung der Messnetze, zur Weiterentwicklung der Wettervorhersage und als Infrastruktur für die Atmosphärenforschung durch universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen genutzt werden.

2 Klimaüberwachung

Die Klimaüberwachung als kurz- und langfristige Überwachung des Zustandes und der Zusammensetzung der Atmosphäre (§ 4 DWD-Gesetz) erfordert eine Erfassung aller relevanten zeitlichen und räumlichen Skalen der Atmosphäre und der Erdoberfläche. Ziel der Wetterüberwachung ist dagegen das Erkennen von wetterwirksamen Phänomenen, um vor ihnen lokal und regional warnen zu können. Ein Ergebnis der *Wetterüberwachung* wäre beispielsweise, dass jetzt an einem bestimmten Ort ein Gewitter auftritt. Ein Er-

gebnis der *Klimaüberwachung* wäre dagegen die Aussage, dass an dem betreffenden Ort das Phänomen Gewitter mit einer bestimmten Häufigkeit auftritt und ob diese Häufigkeit sich geändert hat. Kennzeichen einer solchen Aussage ist also die Verknüpfung sehr unterschiedlicher Zeit- und Raumskalen. Daraus folgt, dass für die Wetter- und Klimaüberwachung die zugrunde liegenden Beobachtungssysteme die gleichen räumlichen und zeitlichen Skalen abdecken müssen. Die Klimaüberwachung benötigt zusätzlich den nachhaltigen Betrieb des Beobachtungssystems und die sichere Bereitstellung der Beobachtungsdaten auch in der Zukunft.

Für eine Klimaüberwachung können also zunächst die Werkzeuge und Beobachtungen der Wetterüberwachung eingesetzt werden. Das Ergebnis ist eine auf Phänomene bezogene, beschreibende Klimatologie. Sie dient zusätzlich für die Bewertung von Wetterereignissen, für die Bemessung technischer Systeme zur Abwehr Wetter bedingter Schäden und Gefahren und zu deren Steuerung. Alle Bereiche im täglichen Leben, der Wirtschaft und Gesellschaft, die durch Wetter beeinflusst werden können, nutzen wenigstens implizit die Ergebnisse der Phänomen orientierten Klimatologie. Notwendiges, unverzichtbares Hilfsmittel sind dauerhaft betriebene Datenbanken wissenschaftlich geprüfter meteorologischer Beobachtungen (s. Kap. 7), eine Aufgabe, die mit der täglich wachsenden Datenmenge technisch immer aufwendiger wird. Die Übertragung der Daten auf neue Datenträger bzw. Datenverarbeitungstechnologien muss ebenfalls immer sichergestellt werden. Nach wie vor liegen die Daten vieler meteorologischer Beobachtungen nur auf Papier ohne Sicherungskopie vor.

Mit dem zunehmenden physikalischen Verständnis über das Klimasystem und seiner Veränderung wächst die Anforderung zusätzliche Klimavariablen zu beobachten, die nicht von den bestehenden Messnetzen für die Wetterüberwachung und Wettervorhersage erfasst werden. Es ist sicher einsichtig, dass aus der Erkenntnis der Wirkungsweise des Treibhauseffektes der Atmosphäre sofort die Notwendigkeit folgt, die räumliche und zeitliche Verteilung der klimawirksamen Spurengase in der Atmosphäre zu beobachten und zu überwachen. Diese Aufgabe wird in Deutschland im Rahmen des „*Global Atmosphere Watch (GAW)*“ Programms der WMO vom Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes gemeinsam mit dem Umweltbundesamt durch den Betrieb der GAW-Globalstation Zugspitze – Hohenpeißenberg wahrgenommen. Das GAW-Messprogramm der WMO wird an weltweit mehr als 200 Regionalstationen und 25 Globalstationen durchgeführt. Die Globalstationen, wie Zugspitze – Hohenpeißenberg, dienen als Referenz und führen technisch besonders anspruchsvolle Messungen durch. Auf Grund der Anforderungen an das GAW-Programm, die durch immer detailliertere Erkenntnisse der Klimaforschung getrie-

ben werden, sind die Messungen auf Dauer mit den bestmöglichen Messverfahren an den Grenzen der Messtechnik durchzuführen. Ziele des GAW-Programms sind die Bereitstellung verlässlicher und möglichst vollständiger Beobachtungen des chemischen und physikalischen Zustandes der Atmosphäre auf globaler und regionaler Skala, die Bereitstellung von Daten für die Atmosphärenforschung zur Vorhersage zukünftiger Zustände der Atmosphäre, sowie die Bereitstellung von Erkenntnissen zur Politikberatung. Das GAW-Programm ist gleichzeitig die Komponente für Atmosphärenchemie im „*Global Climate Observing System (GCOS)*“.

Der Beitrag zu GAW ist ein typisches Beispiel für die Aufgaben der meteorologischen Observatorien im Deutschen Wetterdienst, nationale Beiträge zum internationalen System der Klimaüberwachung zu leisten. Weitere wichtige Programme sind die regelmäßige Ozonsondierung in Hohenpeißenberg und Lindenberg als Beitrag zur Überwachung des stratosphärischen Ozons und die Beteiligung am GEWEX-Programm „*Global Water Vapour Project (GVAp)*“ durch das Observatorium Lindenberg (s. Kap. 5 und 8). In diesem Programm soll mit hoher Genauigkeit und hoher Redundanz durch Einsatz sehr unterschiedlicher Messverfahren die räumliche und zeitliche Variabilität des Wassers in allen Aggregatzuständen in der Atmosphäre erfasst werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Wasserkreislauf ganz maßgeblich die Antriebe des Klimasystems bestimmt und dass der Wasserdampf das wichtigste Treibhausgas in der Atmosphäre ist. Ein weiteres Beispiel ist die Integration des Meteorologischen Observatoriums Lindenberg in das „*Baseline Surface Radiation Network*“ (BSRN), ein Teilprojekt von GEWEX, das jüngst Teil von GCOS geworden ist (s. Kap. 3).

Diese Programme werden in den folgenden Beiträgen genauer vorgestellt (s. Kap. 8). Information über alle hier genannten Programme sind unter <http://www.wmo.ch> erhältlich. Gemeinsame Eigenschaft aller dieser Programme ist, dass durch die wissenschaftlich begründeten Anforderungen an die Messgenauigkeit spezielle, hochempfindliche Messsysteme dauerhaft eingesetzt werden müssen. Das erfordert neben einer langfristig belastbaren Infrastruktur vor allem auch ein internationales Niveau der Forschung. Alle Anforderungen werden von den beiden Observatorien des DWD erfüllt und sind in der erforderlichen Dauerhaftigkeit auch nur im Rahmen dieser Forschungsstrukturen realisierbar.

Die in den beispielhaft genannten Programmen der WMO zur globalen Überwachung des Klimasystems gewonnenen Daten stehen natürlich in internationalen Datenbanken zur wissenschaftlichen Auswertung durch Forschungsinstitute weltweit bereit. Neben der beschreibenden, mehr phänomenorientierten Analyse zur Klimaüberwachung steht bei diesen Programmen

ein stärker prozessorientierter Ansatz zur Klimaüberwachung im Vordergrund. Hier geht es also stärker um das Verständnis des Zusammenwirkens möglichst vieler im Klimasystem stattfindender physikalischer und chemischer Prozesse, deren Wirkung den Klimazustand bestimmt und die deshalb in numerischen Klimamodellen beschrieben werden müssen.

Bei diesem prozessorientierten Ansatz wird berücksichtigt, dass die sehr aufwendigen Messungen aus technischen, logistischen und finanziellen Gründen weltweit nur an wenigen Orten durchgeführt werden können und damit die Erfassung der relevanten räumlichen Skalen grundsätzlich unzureichend bleibt. Dagegen ermöglicht ein prozessorientierter Ansatz die Übertragbarkeit der Ergebnisse zum Beispiel durch den Einsatz von Klimamodellen. Dazu muss allerdings als zusätzliche Anforderung an die Beobachtungen sichergestellt werden, dass möglichst alle den jeweiligen physikalischen oder chemischen Prozess bestimmenden Größen gleichzeitig am selben Ort auch gemessen werden. Deshalb werden beispielsweise für eine Station im BSRN zusätzlich zu den aufwendigen Strahlungsmessungen Vertikalsondierungen von Temperatur und Wasserdampf sowie zusätzliche Bestimmung von Wolkenparametern gefordert (s. Kap. 3 bis 6). Daraus folgt zwangsläufig die Anforderung an die Observatorien, gleichzeitig sehr viele Größen zu beobachten, um die prozessorientierte Klimaüberwachung unterstützen zu können (s. Kap. 1 und 8).

3 Unterstützung zum Betrieb und zur Weiterentwicklung von Beobachtungssystemen

Der Betrieb der für die Erfüllung ihrer Aufgaben notwendigen Beobachtungssysteme erfordert eine aufwendige Infrastruktur und spezielles Wissen in den Observatorien. Beides ist geeignet, den Betrieb und die Weiterentwicklung der Messnetze im DWD und im Bereich der WMO zu unterstützen. Eine wichtige und notwendige Funktion für den Betrieb eines Messnetzes ist die Bereithaltung geeigneter Eich- und Kalibrierstandards, um alle in einem Messnetz eingesetzten Messgeräte gegen einen Standard vergleichen zu können. So werden durch das Observatorium Lindenberg für die Regionalassoziati on (RA) VI der WMO die Standardgeräte für Strahlungsmessungen zur Verfügung gestellt, die ebenfalls regelmäßig gegen den Weltstandard verglichen werden (s. Kap. 8). Die Kalibrierung der Messgeräte muss sowohl im Freien als auch im Labor durchgeführt werden, wozu aufwendige Laboreinrichtungen vorgehalten werden müssen (s. Kap. 1 und 3). Diese müssen stetig weiter entwickelt werden, um den ständig wachsenden fachlich begründeten Anforderungen der WMO folgen zu können. Das Observatorium Hohenpeißenberg stellt den regionalen Standard für das Dobson-Photometernetz im GAW-Programm für die RA VI der WMO bereit. Diese hochgenauen von Dobson vor 50 Jahren entwickelten,

relativ einfach zu bedienenden Geräte werden seit vielen Jahren zur weltweiten Überwachung des Säulengehaltes von Ozon eingesetzt. Neben der Pflege und Bereitstellung des europäischen Standardgerätes, das regelmäßig gegen den Weltstandard verglichen wird, betreiben die Observatorien Hohenpeißenberg und Lindenberg jeweils ein solches Gerät als Beitrag zum internationalen Messnetz neben weiteren Geräten. Diese Dienstleistungen erbringen die Observatorien für die Mitglieder der WMO, für die Messnetze des DWD und für Forschungsinstitute und andere Betreiber von meteorologischen Messungen.

Auch wenn die Observatorien heute grundsätzlich keine Entwicklung neuer Messgeräte durchführen, erproben sie im Rahmen ihrer Aufgaben neue Messsysteme, die bisher nicht in den operationellen Messnetzen eingesetzt werden. Dabei suchen häufig die Entwickler den Kontakt zu den Observatorien, um die dort gewonnene Erfahrung in die Weiterentwicklung der Systeme einbringen zu können. Dadurch übernehmen die Observatorien zunehmend die Erprobung neuer Messsysteme für den operationellen Einsatz und führen die dazu notwendigen Entwicklungen von Schnittstellen, Software und zum Teil auch die Anpassung von Komponenten durch. Beispiele derartiger Entwicklungen sind der Radar-Verbund und die Einführung von Windprofiler/RASS-Systemen in das aerologische Messnetz des DWD (s. Kap. 5) und die zeitweise Koordinierung des Aufbaus eines europäischen Windprofilermessnetzes (s. Kap. 8). Damit leisten die Observatorien über ihre Aufgaben im Bereich der Klimaüberwachung hinaus wichtige Querschnittsaufgaben und Dienstleistungen für den DWD und für die europäischen Wetterdienste.

4 Weiterentwicklung der Wettervorhersage

Der prozessorientierte Ansatz der Klimaüberwachung in den Observatorien hat unter anderem das Ziel, Daten zur Überprüfung der Beschreibung atmosphärischer Prozesse in atmosphärischen Simulationsmodellen bereit zu stellen, die sowohl für die Klimaanalyse und -vorhersage als auch für die Wettervorhersage eingesetzt werden. Von dieser Nutzung wurde bisher nur unzureichend Gebrauch gemacht. Hier könnte zukünftig eine engere Zusammenarbeit der bestehenden europäischen Observatorien hilfreich sein, die durch ihre räumliche Verteilung nahezu alle in Europa auftretenden Klimazonen abdecken können. Auch besteht sicher noch ein Entwicklungsbedarf an geeigneten Werkzeugen, um die Validierung von Parametrisierungen durch Einbeziehung von Beobachtungen zu verbessern (s. z. B. Kap. 6).

Da sich kein Zustand der Atmosphäre wiederholt, können Beobachtungen in der Atmosphäre nie reproduziert werden, da die Randbedingungen nicht kontrolliert werden können. Dieses grundsätzliche Pro-

blem der Atmosphärenforschung kann nur durch auf Dauer angelegte Messprogramme beantwortet werden, mit denen ein großes Spektrum der Variabilität der Atmosphäre erfasst wird. Diesen Vorteil besitzen die an den Observatorien gewonnenen Datensätze gegenüber Feldexperimenten über kurze Episoden. Dieser Vorteil kann bei der Weiterentwicklung atmosphärischer Simulationsmodelle für die Wettervorhersage allerdings nur genutzt werden, wenn die Validierung ebenfalls auf die gewonnenen langen Zeitreihen aufbaut, was für die Entwicklung geeigneter Validierungsverfahren eine zusätzliche Herausforderung darstellt. Ein ähnliches Problem stellt sich bei der Entwicklung von Auswerteverfahren für Satellitenbeobachtungen, die analog zu Vorhersageverfahren validiert werden müssen. Auch hier bieten sich die Datensätze der Observatorien aus den genannten Gründen an, allerdings ebenfalls mit dem entsprechenden Entwicklungsbedarf.

In Europa, insbesondere angetrieben durch das EZMW, findet zurzeit eine Diskussion über die Weiterentwicklung der Wettervorhersage zur Erdsystemvorhersage statt. Die Finanzierung eines entsprechenden internationalen Forschungsprojektes zur Entwicklung einer operationellen Überwachung des Erdsystems durch Nutzung von Verfahren aus der numerischen Wettervorhersage unter Führung des EZMW wurde inzwischen von der Europäischen Kommission bewilligt. Zur Validierung dieser geplanten Erdsystemüberwachung werden Verfahren und globale Datensätze zur Validierung benötigt, wie sie im GAW-Programm der WMO gewonnen und für das europäische Forschungsprojekt durch das Observatorium Hohenpeißenberg bereitgestellt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Observatorien im Deutschen Wetterdienst leisten wichtige Beiträge zu den internationalen Programmen zur globalen Klimaüberwachung der WMO. Gleichzeitig stellen sie einen wichtigen Teil der Infrastruktur für die Atmosphärenforschung bereit, die von vielen Forschungsinstituten regelmäßig im gegenseitigen Interesse genutzt wird. Die Bedeutung der Observatorien in der Klimaüberwachung nimmt durch den Fortschritt der Atmosphärenforschung zu. Diese wird in wenigen Jahren zu einer Erweiterung der Aufgabenstellung der Wettervorhersage zur Erdsystemvorhersage und zu einer stark auf Satelliten gestützten Überwachung des Erdsystems und des Klimas führen. Die notwendige Validierung der zu erwartenden Produkte wird sich auf gut ausgebaute Stationen stützen, die am besten durch die Observatorien der nationalen Dienste bereit gestellt werden können (s. Kap. 1 und 8). Entsprechende Programme zur Entwicklung solcher auf Fernerkundungssystemen und Referenzstationen aufbauenden Beobachtungssystemen gibt es schon heute, wie die **Coordinated Enhanced Observing Period CEOP** (s. Kap. 6 und 8), einem Element des Weltklimafor schungsprogrammes. Dazu ist die Zusammenarbeit der europäischen meteorologischen Observatorien (Cabauw in den Niederlanden, Lindenberg in Deutschland, Sodankylä in Finnland) gestärkt worden.