

Fortbildungsveranstaltung des ZV Leipzig 50 Jahre Windmessungen am Observatorium Collm Leipzig, 30.3.2009

Am Observatorium Collm der Universität Leipzig, 1932 gegründet, werden seismische und hochatmosphärische Beobachtungen durchgeführt. Schwerpunkt der Veranstaltung am 30. März 2009 waren die langjährigen Windmessungen im Mesopausenbereich, die seit nunmehr 50 Jahren durchgeführt werden und damit eine der längsten kontinuierlichen Messreihen aus diesem Höhenbereich weltweit darstellen. Die Veranstaltung bestand aus insgesamt drei Vorträgen, in denen zunächst die Erdbeobachtungen am Collm vorgestellt wurden, die Geschichte der Windmessungen beleuchtet wurde, und aktuelle Forschungsergebnisse zur Dynamik und Physik der Mesosphäre vorgestellt wurden. Im Folgenden wird der Inhalt der drei Vorträge kurz zusammengefasst.

Erdbeobachtung am Geophysikalischen Observatorium Collm: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft

Michael Korn, Institut für Geophysik und Geologie, Universität Leipzig

Das Geophysikalische Observatorium Collm der Universität Leipzig in der Nähe von Oschatz wurde am 6. Oktober 1932 anlässlich der 10. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft eingeweiht. Ludwig Weickmann, seit 1923 Direktor des bereits 1913 gegründeten Geophysikalischen Instituts, hatte den Bau des Observatoriums in wirtschaftlich schwieriger Zeit durchgesetzt, für dessen Entwurf die Durchführung einwandfreier Beobachtungen auf den Gebieten Seismik, Erdmagnetismus, Schweremessungen, luftelektrische Untersuchungen, Strahlungsmessungen und meteorologische Untersuchungen maßgeblich waren. Von Anfang an gehörten Beobachtungen der festen Erde und der Atmosphäre zum Aufgabenspektrum des Observatoriums. Auch heute noch sind die beiden Universitätsinstitute für Meteorologie sowie Geophysik und Geologie die Nutzer des Observatoriums.



Abb. 1: Fotografie des Observatoriums kurz nach Fertigstellung des Baus - alte Postkarte (Verlag E. Assmus, Leipzig).

Unter den Beobachtungen der festen Erde stand immer die Seismologie im Vordergrund. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts hatte der Geologie und Paläontologe Credner die Bedeutung dieser damals noch jungen Wissenschaft erkannt und 1902 eine Erdbebenwarte im Institutsgebäude Talstraße 35 in Leipzig eingerichtet, die mit einem Wiechert'schen Horizontalpendel-Seismographen ausgestattet wurde. Leipzig gehört damit zu den sehr frühen Standorten seismologischer Messungen. Im Laufe der Zeit machten zunehmende Industrialisierung und Verkehr empfindliche Registrierungen in der Großstadt allerdings weitgehend unmöglich. Seit 1936 befindet sich der Seismograph am Observatorium Collm, wo er bis heute in Betrieb ist. Registrierung und Auswertung seismischer Ereignisse gehörten von Anfang an zum Tagesgeschäft am Observatorium Collm. Die Messreihen sind mit Ausnahme einiger kriegsbedingter Lücken vollständig und zählen weltweit zu denjenigen mit der längsten Kontinuität. 1993 wurde das Observatorium mit modernen Breitbandsensoren und hochauflösender digitaler Aufzeichnung ausgerüstet. Es zählt seitdem zu den rund 15 Observatorien des Deutschen Seismischen Regionalnetzes (GRSN) und stellt seine Messdaten über nationale und internationale Datenzentren in *near real time* frei zugänglich zur Verfügung. Ein neu gebauter unterirdischer Messbunker anstelle der historischen Seismometerwarte verbessert die Qualität der Messungen zusätzlich. Eine wesentliche Erweiterung erfolgt seit 2001 durch den Aufbau eines Netzwerkes von Außenstationen, die über ganz Westsachsen verteilt sind und die lokale seismische Ereignisse mit höchster Präzision erfassen. Das Netz bildet den Nukleus eines künftig zu errichtenden und dauerhaft zu betreibenden Erdbebendienstes für Mitteldeutschland. Im Fokus des wissenschaftlichen Interesses liegt der Raum Vogtland/NW-Böhmen, der durch seine in Form von periodischen Erdbebenschwämen auftretende seismische Aktivität ein einzigartiges Naturlaboratorium darstellt, in dem die Transportprozesse von aus dem Erdmantel aufsteigenden Fluiden, ihre Wechselwirkung mit den Gesteinen der Erdkruste und der tiefen Biosphäre und die Induzierung von Erdbeben beobachtet werden können. Das Verständnis dieser Prozesse ist grundlegend für die gefahrlose Nutzung des unterirdischen Raums als Quelle für geothermische Energie oder Speicherraum für CO₂ und andere Treibhausgase.

Langjährige Radarbeobachtungen dynamischer Prozesse in der Mesosphäre in mittleren und hohen Breiten

Peter Hoffmann und Werner Singer, Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V. an der Universität Rostock (IAP), Kühlungsborn
unter Mitarbeit von Jürgen Bremer, Erich Becker, Dieter Keuer, Ralph Latteck, Norbert Engler, Markus Rapp, Olof Zeller und Manja Placke

Der Bereich der Mesosphäre von 60 - 90 km kann als der empfindlichste Teil der gesamten Atmosphäre für Klimaänderungen angesehen werden. Die Zirkulation in diesen Höhen wird wesentlich durch vertikale Kopplungsprozesse bestimmt. Einer besonderen Rolle kommen dabei dynamischen Kopplungsvorgängen zu, bei der die mittlere Zirkulation durch atmosphärische Wellen unterschiedlicher Perioden (Schwerewellen, Gezeiten, planetare Wellen) beeinflusst wird. Der Hintergrundwind kann aber auch eine Filterung dieser Wellen bewirken. Infolge der abnehmenden Luftdichte zeigen aufwärts ausbreitende Wellen in diesen Höhen exponentiell anwachsende Amplituden, bis sie dann brechen und zu thermischen Änderungen

führen, die um ein Vielfaches stärker sind als die beobachteten Änderungen in der Troposphäre. Beispiele für diesen stärkeren Effekt in der Mesosphäre sind Temperaturen von ca. 130 K in der polaren Mesopausenregion mit Abweichungen von mehr als 50 K von der Strahlungsgleichgewichtstemperatur, aber auch Trends in der mesosphärischen Sommertemperatur, die ca. 40mal stärker sind als die Änderungen in troposphärischen Höhen (*Bremer und Berger, 2002*).

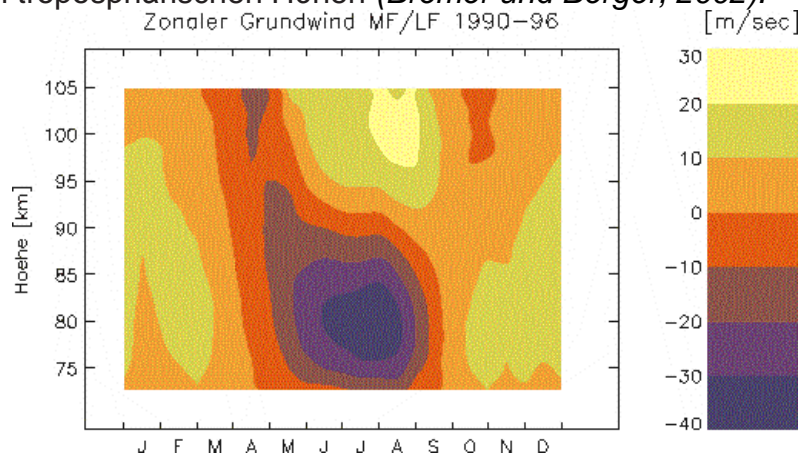


Abb. 2 Jahreszeitliche Variation des mittleren Zonalwindes nach Beobachtungen mit dem MF-Radar in Juliusruh und LF-Driftmessungen am Geophysikalischen Observatorium Collm.

Zur Erfassung dieser dynamischen Prozesse (Wind und Wellen) setzt das IAP kontinuierliche Messungen mit Mittelwellen (MF) - und Meteor (MR) - Radaranlagen in mittleren Breiten (Juliusruh, 54°N, 13°E) und in polaren Breiten in Andenes, Nord-Norwegen (69°N, 16°E) ein (*Singer et al., 2005*). Im Mittelwellenbereich werden Radiowellen auf Frequenzen zwischen etwa 2 und 3 MHz ganzjährig in Höhen zwischen etwa 50 km und 95 km partiell an Störungen des Brechungsindex reflektiert. Hier ist der Brechungsindex durch den ionisierten Teil der Luft (freie Elektronen) bestimmt, wobei die Ionisation im Wesentlichen durch solare Wellen- und Teilchenstrahlung erfolgt. Die mit dem Wind mitgeführten Strukturen bewirken eine Dopplerverschiebung des Radarsignals, die seit langem zur Bestimmung des Neutralgaswindes vom Boden aus genutzt wird. Für eine erste Beschreibung mittlerer Windfelder über einen größeren Höhenbereich in Mitteleuropa wurden die schwerpunktmäßig tagsüber gewonnenen Windwerte des MF Radar Juliusruh (70-95 km) mit den schwerpunktmäßig nachts gewonnenen Drift-Messungen (85-105 km) kombiniert (*Abb.2*) (*Schminder et al., 1997*).

Radiowellen im unteren VHF-Bereich (30–50 MHz) werden weiterhin an Meteorspuren reflektiert. Die Mehrzahl der in die Erdatmosphäre einfallenden Meteoroiden verglüht in Höhen zwischen etwa 75 km und 120 km und erzeugt dabei eine Ionisationsspur. Radarbeobachtungen der vom Wind mitgeführten Ionisationsspur ermöglichen die Bestimmung des Neutralgaswindes aus der gemessenen Dopplerverschiebung. Unterschiede zwischen den aus MF-, LF und Meteorradarbeobachtungen abgeleiteten Winden wurden von *Jacobi et al. (2009)* untersucht. Die Kombination von Meteor- und MF-Radarwinden wird vom IAP zur Beschreibung der Windfelder über einen größeren Höhenbereich genutzt (siehe z. B. *Abb. 3a*).

Auf der Basis eigener, seit 1990 kontinuierlich durchgeführter Beobachtungen mit dem MF Radar in Juliusruh konnte der solare Einfluss auf das Windfeld in 70 - 90 km

Höhe in mittleren Breiten untersucht werden (Keuer et al., 2006). Die erzielten Ergebnisse zeigen im Sommer eine signifikante Zunahme der Stärke der Ostwinde und der Nordwinde mit steigender Sonnenaktivität. Die jahreszeitliche Variabilität der Schwerewellenaktivität wird wesentlich durch die Filterung dieser Wellen durch den Hintergrundwind bestimmt. Dieser Effekt zeigt insbesondere im Sommer eine starke Abhängigkeit von der geographischen Breite. Bemerkenswert ist hier auch die Abhängigkeit des Auftretens der Polaren Mesosphärischen Sommer Echos (PMSE) von den dynamischen Prozessen, da diese Echos an die Existenz von Eisteilchen und somit an niedrige Temperaturen in der oberen Mesosphäre gebunden sind (Hoffmann et al., 2008; Zeller et al., 2009).

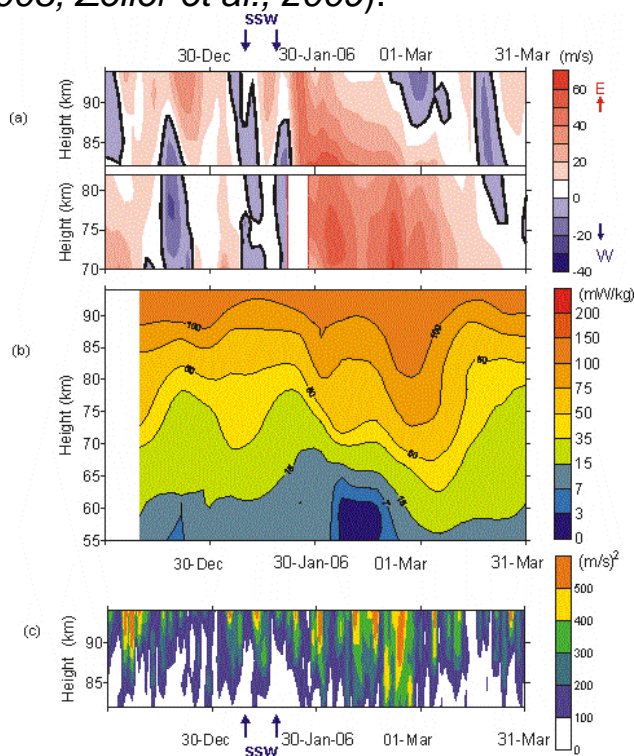


Abb. 3 a: Zonalwinde in Andenes (Meteor-Radar 82–84 km, MF Radar 70–82 km); b: Dissipation (MF-Doppler-Radar); c: Schwerewellenaktivität (3–9 h) während einer stratosphärischen Erwärmung (SSW).

Ein besonderes Beispiel eines vertikalen Kopplungsprozesses stellen stratosphärische Erwärmungen dar, bei denen in den Wintermonaten die Wechselwirkung von planetaren Wellen mit dem Grundstrom zu einem sprunghaften Anstieg der Temperatur in der oberen Stratosphäre und zu Zirkulationsänderungen auch in den benachbarten Höhenbereichen führen kann. Die dabei ablaufenden Prozesse wurden im Detail in einer Fallstudie beschrieben, bei der zusätzlich zu den Windmessungen mit Hilfe eines MF-Doppler-Radars, das mit einem schmalen Radarstrahl arbeitet, aus der spektralen Breite der rückgestreuten Empfangssignale turbulente Dissipationsraten bestimmt werden können (Singer et al., 2008). Unmittelbar nach der stratosphärischen Erwärmung stellte sich ein starker mesosphärischer Westwind ein, der zu einer verstärkten Aktivität von Schwerewellen und zu einer Zunahme der Dissipation im Höhenbereich zwischen 70 und 85 km führte (siehe Abb.3, aus Hoffmann et al., 2007). Dieses Verhalten ist im Einklang mit Simulationsergebnissen des mechanistischen Zirkulationsmodells KMCM (Kühlungsborn Mechanistic Circulation Model) (Becker, 2004).

Literatur

- Becker, E. Direct heating rates associated with gravity wave saturation, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 66, 683-696, 2004.
- Bremer J. und U. Berger, Mesospheric temperature trends derived from ground-based LF phase-height observations at mid-latitudes: Comparison with model simulations, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 64, 805-816, 2002.
- Hoffmann, P., M. Rapp, J. Fiedler, and R. Latteck, Influence of tides and gravity waves on layering processes in the polar summer mesopause region, *Ann. Geophys.*, 26, 4013-4022, 2008.
- Hoffmann, P., W. Singer, D. Keuer, W. K. Hocking, M. Kunze, and Y. Murayama, Latitudinal and longitudinal variability of mesospheric winds and temperatures during stratospheric warming, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 69, 2355-2366, 2007
- Jacobi, C. C. Viehweg, D. Kürschner, W. Singer, P. Hoffmann and D. Keuer, Comparison of mesopause region meteor radar winds, medium frequency radar winds and low frequency drifts over Germany, *Adv. Space Res.*, 43, 2, 247-252, 2009.
- Keuer, D., P. Hoffmann, W. Singer, and J. Bremer, Long-term variations of the mesospheric wind field at mid-latitudes, *Ann. Geophys.*, 25, 1779-1790, 2007.
- Schminder, W., D. Kürschner, W. Singer, P. Hoffmann, D. Keuer, and J. Bremer, Representative height-time cross-sections of the upper atmosphere wind field over Central Europe 1990-1996, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 59, 2177-2184, 1997.
- Singer, W., R. Latteck, P. Hoffmann, J. Bremer, Bodengebundene Radarmethoden zur Untersuchung der mittleren Atmosphäre, *Promet*, 31, 1, 44 - 49, 2005.
- Singer, W., R. Latteck and D.A. Holdsworth, A new narrow beam Doppler radar at 3 MHz for studies of the high-latitude middle atmosphere, *Adv. Space Res.*, 41, 1487-1493, 2008.
- Zeller O., P. Hoffmann, J. Bremer, and W. Singer, Mesosphere summer echoes, temperature, and meridional wind variations in mid and polar latitudes, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, accepted, 2009.

5 Jahrzehnte Hochatmosphärenforschung am Observatorium Collm

Christoph Jacobi, Institut für Meteorologie, Universität Leipzig

Ende der 1950er Jahre begannen am Observatorium Collm die Windmessungen im Mesopausenbereich (etwa 80-100 km Höhe), nachdem schon vorher einige Versuche mit Absorptionsmessungen oder Festfrequenzlotungen der Ionosphäre durchgeführt wurden. Die Arbeiten wurden wesentlich von Rudolf Schminder vorangetrieben.

Das Verfahren zur Windmessung basiert auf der Bestimmung der Zeitdifferenzen korrespondierender Feldstärkeextrema der in der unteren Ionosphäre reflektierten Raumwelle eines Langwellensenders (etwa 200 kHz) an drei Empfängern, die in einem rechtwinkligen Dreieck mit 300 m Schenkellänge angeordnet sind. Da die Schwankungen der Feldstärke durch Irregularitäten der ionosphärischen Elektronendichte hervorgerufen werden, welche sich wiederum mit dem mittleren Wind mitbewegen, kann auf diese Weise aus der Zeitdifferenz eintretender Maxima oder Minima auf die horizontale Windgeschwindigkeit im Reflexionspunkt geschlossen werden. Da das Verfahren auf den Messungen an mehreren Empfängern beruht, wird es auch englischsprachig als „closely-spaced receiver“-Methode bezeichnet. Die Verwendung niederfrequenter Langwellensender wird durch die Abkürzung „LF“ (low frequency) dokumentiert.

Bei einer Empfängerentfernung von 300 m und einer typischen Windgeschwindigkeit von wenigen 10 m/s betragen die Zeitdifferenzen der Feldstärkeextrema mehrere Sekunden. Da außerdem die Auswertung sehr einfach ist, eignet sich das Verfahren prinzipiell auch für eine manuelle Datenanalyse. Der personelle Aufwand ist trotzdem sehr hoch, so dass in den folgenden Jahren Versuche mit automatischer Datenauswertung durch Dierk Kürschner erfolgten. Die endgültige Umstellung erfolgte 1972, wobei auf ausreichenden Parallelbetrieb geachtet wurde, um eventuelle Langzeitanalysen nicht durch Inhomogenitäten zu beeinträchtigen. Die automatische Datenanalyse ermöglichte nun eine deutliche Verlängerung der

täglichen Messdauer, die jetzt nur noch dadurch begrenzt wird, dass am Tage durch Ionisation der sogenannten D-Schicht unterhalb der Reflexionshöhe die Raumwelle stark absorbiert wird.

Aus anderen Untersuchungen ist bekannt, dass die Reflexion von Langwellen in der Nacht zwischen 90 und 100 km, am Tage etwa bei 80 km Höhe erfolgt. Jedoch war es auf Dauer unbefriedigend, nur mit ungefähren und mittleren Höhen arbeiten zu können, so dass der folgende Schritt die Bestimmung der Reflexionshöhe selbst war. Diese erfolgte seit 1983 durch Bestimmung der Phasendifferenz der in der Ionosphäre reflektierten Raumwelle mit der sich direkt ausbreitenden Bodenwelle. Diese Phasendifferenz ist ein Maß für die Laufwegsdifferenz und damit die Reflexionshöhe. Mit Hilfe dieser Messungen war es nunmehr möglich, auch Vertikalprofile des Windes im Höhenbereich zwischen 80 und 100 km auf der Basis der Messwerte einiger Tage zu erstellen.

Das Messverfahren wurde weltweit nur selten angewendet, Gründe hierfür liegen u.a. in der täglichen absorptionsbedingten Messlücke und daran, dass sogenannte Meteorradare bei vergleichbarem Aufwand ähnliche Daten liefern und zusätzlich noch den Vorteil aufweisen, dass Vertikalprofile des Windes mit viel höherer zeitlicher Auflösung erstellt werden können. Der Vorteil der LF-Methode, nämlich dass kein eigener Sender benötigt wird und damit eventuelle Probleme mit Funkstörungen vermieden werden, wird heutzutage unter anderem dadurch ausgeglichen, dass moderne Meteorradare auch vertikal aussenden können und damit Störungen im Funkverkehr praktisch ausgeschlossen sind.

Konsequenterweise wurde im Jahre 2004 am Collm ein kommerzielles SKiYMET-Meteorradar in Betrieb genommen, mit dem die Windmessungen weiter geführt werden sollen. Die beiden Methoden wurden vier Jahre lang parallel betrieben. Dies erwies sich auch als notwendig, da sich dabei herausstellte, dass das LF-Verfahren die Amplituden des Windes systematisch unterschätzt (siehe Abb. 4). Auf der Basis der Vergleiche zwischen den beiden Methoden ist es jetzt aber möglich, diese Diskrepanz zu korrigieren, und die Windmessungen am Collm weiter für Langzeitanalysen der hochatmosphärischen Dynamik zu nutzen.

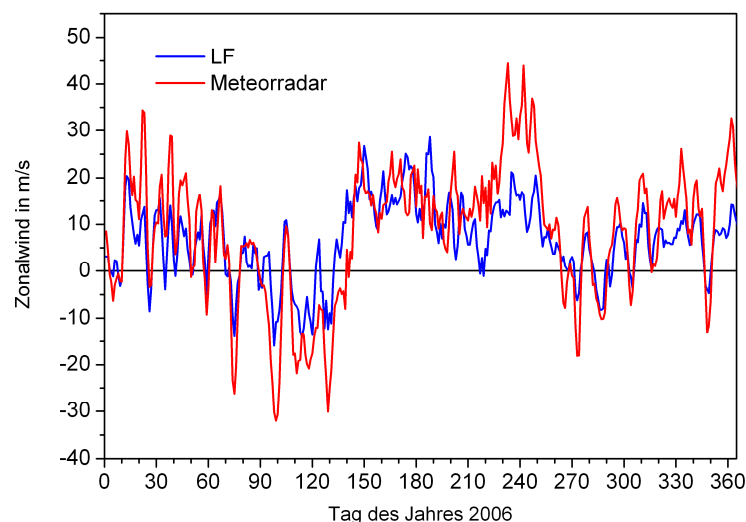


Abb. 4: Tagesmittel des zonalen Windes in 90 km Höhe aus LF-Registrierungen (blau) und gemessen mit Meteorradar (rot). Gut zu erkennen ist die Unterschätzung der Amplituden durch die LF-Methode.