

Beiträge zur Berliner Wetterkarte

Herausgegeben vom Verein BERLINER WETTERKARTE e.V.
zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft

c/o Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, C.-H.-Becker-Weg 6-10, 12165 Berlin

27/09

<http://www.Berliner-Wetterkarte.de>

ISSN 0177-3984

SO 13/09

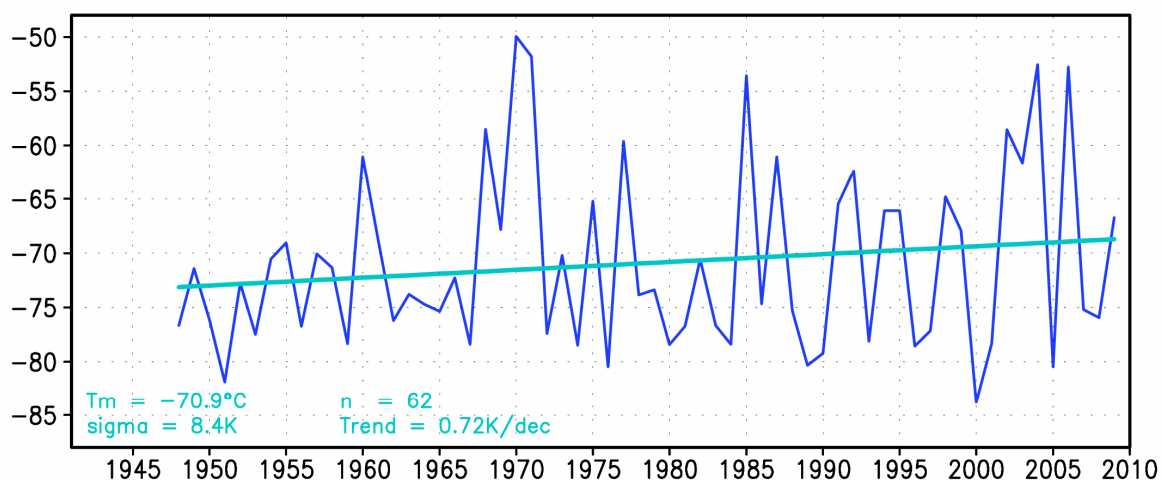
7.4.2009

Über die unerwartet warme Stratosphäre im Winter 2008/2009

Karin Labitzke und Markus Kunze

Aus der arktischen Stratosphäre stehen uns mittlerweile Daten von mehr als 60 Wintern zur Verfügung, im Wesentlichen sind dies die Re-Analysen von NCEP (Kalnay et al., 1996). In **Abbildung 1a** geben die 30-hPa-Monatsmitteltemperaturen über dem Nordpol vom Januar ein Bild von der großen Variabilität zwischen den Wintern: sehr warme Winter, z.B. Januar 1970, 2004 und 2006 wechselten mit sehr kalten Wintern, z.B. 1976 und 2000. Dies führt zu einer Streuung (sigma) von 8K. Für den Monat Februar wurden die Höhen der 30-hPa-Fläche ausgewählt (**Abb. 1b**), weil hier die Daten schon ab 1942 vorliegen, aber die Aussage über die große Variabilität ist die gleiche.

a) [°C] Temperature NP 30-hPa (1948–2009) JAN



b) [gpdam] Heights NP 30-hPa (1942–2009) FEB

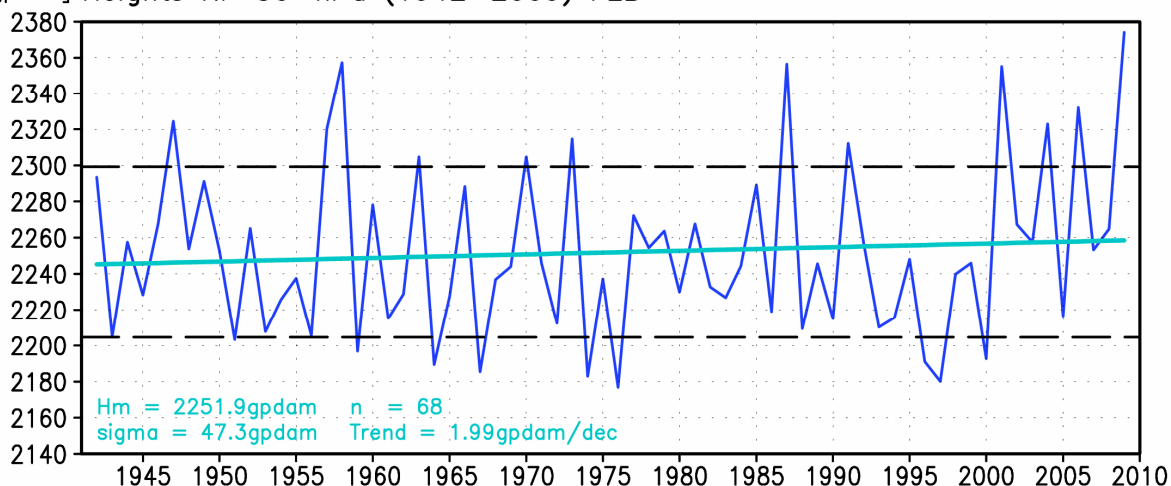


Abb. 1: a) Zeitreihe der Monatsmittel der 30-hPa-Temperaturen (°C) am Nordpol im **Januar**, von 1948- 2009 (NCEP/NCAR Re-Analysen); b) Zeitreihe der Monatsmittel der 30-hPa-Höhen (geopot. dam) am Nordpol im **Februar**, von 1942-2009 (NCEP/NCAR Re-Analysen und Rekonstruktionen, s. Labitzke et al., 2006).

Im Februar 2009 erreichte die 30-hPa-Höhe über dem Nordpol (im Monatsmittel) einen neuen (positiven) Rekord (**Abb. 1 b**). Die Frage nach den Ursachen der großen Variabilität und der Kopplung zwischen Strato- und Troposphäre ist Gegenstand der Forschung. Viele verschiedene Faktoren beeinflussen die Winter in der Stratosphäre: die Dynamik der Troposphäre, die Southern Oscillation (SO), die QBO (Quasi-Biennial Oscillation), und die Sonnenaktivität (der 11-jährige Sonnenfleckenzyklus) (Labitzke, 1999).

Entwicklung des Winters 2008/09

Im Folgenden soll die synoptische Entwicklung des Winters kurz gezeigt und seine Position im Rahmen der oben aufgezeigten Einflussfaktoren beschrieben werden.

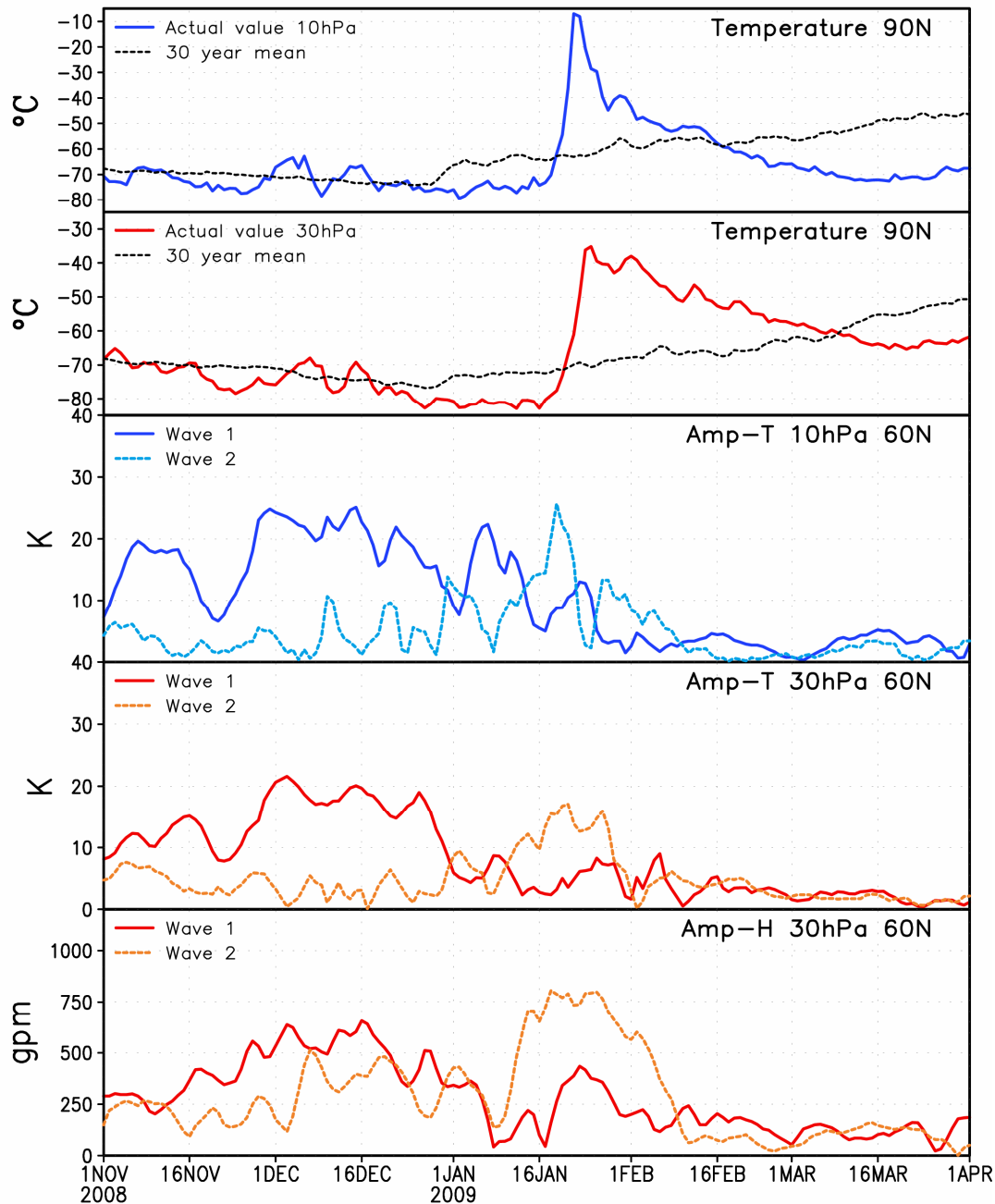


Abb. 2: Tägliche Werte (1. November 2008 – 1. April 2009) der (von oben nach unten) Temperatur über dem Nordpol in 10 und 30 hPa. Die gestrichelte Linie zeigt das Langzeitmittel, berechnet aus FU-Berlin Daten, für einen Zeitraum von 30 Jahren; Amplituden (in 60° N) der Temperatur-Wellen 1 und 2 in 10 und 30 hPa; Amplituden der Höhen-Welle 1 und 2 in 30 hPa. Daten: EZMW.

In den Abbildungen 2 und 3 zeigen wir mittels täglicher Daten den zeitlichen Verlauf verschiedener Parameter, die so ausgewählt wurden, dass man die große Variabilität des stratosphärischen Winters 2008/09 gut bewerten kann.

Die beiden ersten Zeitreihen in **Abb.2** zeigen die Temperaturen am Nordpol für 10 und 30 hPa, jeweils im Vergleich zum 30-jährigen Mittel. Die große Stratosphärenerwärmung über dem Nordpol ist das herausragende Ereignis des Winters. Die drei anderen Abschnitte zeigen die Amplituden der planetarischen Wellen 1 und 2, in 60°N, für die 10-hPa- und 30-hPa-Temperaturen und für die 30-hPa-Höhen. Die Zirkulation wird bis Anfang Januar von der planetarischen Welle 1 bestimmt, wobei diese aber (im Vergleich zu anderen Wintern) nicht besonders stark ist. Die Welle 2 ist im Temperaturfeld schwach ausgeprägt, im Höhenfeld etwa gleich groß wie die Welle 1.

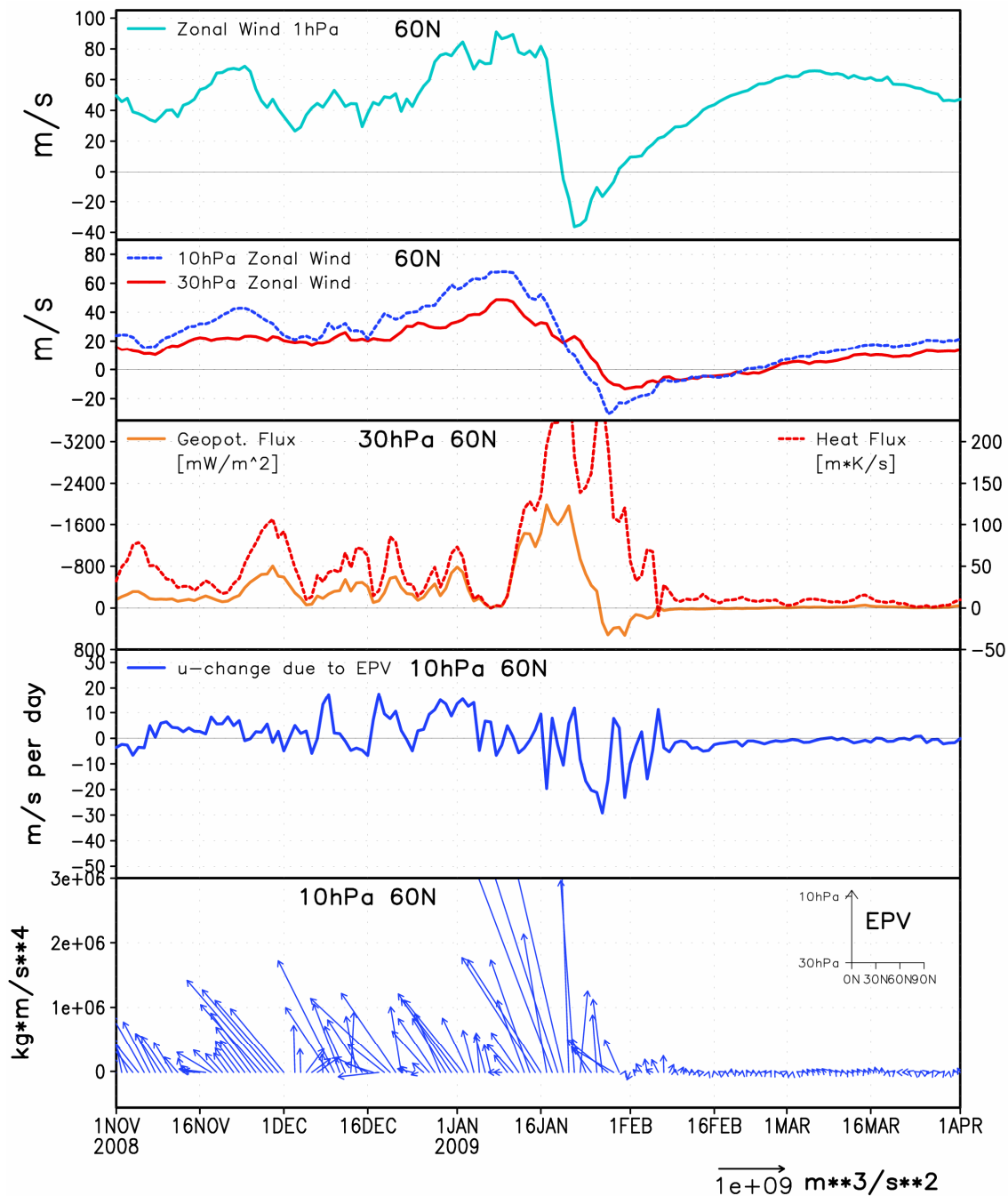


Abb. 3: Abgeleitete Größen (tägliche Werte, 1. November 2008 – 1. April 2009) (von oben nach unten) in 60° N: zonal gemittelter zonaler Wind in 1, 10, 30 hPa; Impuls- und Wärme- Fluss in 30 hPa; Divergenz des Eliasson-Palm-Vektors und der Eliasson-Palm-Vektor in 10 hPa. Daten: EZMW.

Ungefähr ab dem 7. Januar bestimmt die planetarische Welle 2 die Zirkulation, was man sowohl an den Temperaturwellen wie aber besonders an der Höhenwelle (30 hPa, unterster Abschnitt in **Abb. 2**) erkennt. Welle 2 dominiert die winterliche Zirkulation vom 7. Januar bis Anfang Februar, siehe **Abb. 3** und **4**.

Abbildung 3 zeigt tägliche Werte verschiedener abgeleiteter dynamischer Parameter, die im Allgemeinen bei der Beurteilung der Dynamik der Stratosphäre benutzt werden.

Der oberste Abschnitt zeigt den zeitlichen Verlauf der zonal gemittelten Winde in 60° N im 1-hPa-Niveau, d.h. in etwa 42 km Höhe. In dieser Schicht erreichte der Wind sein Maximum (West: 80 m/s) am 16. Januar. Er nahm dann rapide ab, drehte innerhalb weniger Tagen auf Ost (-40m/s), und stieg dann langsam wieder auf 60 m/s West an.

Im nächsten Abschnitt sind die zonal gemittelten 10- und 30-hPa Winde in 60°N (ca. 28 und 22 km Höhe) dargestellt. Man sieht, dass die Entwicklung der Winde sehr ähnlich ist wie im 1-hPa-Niveau und dass die Umstellung zum Ostwind im 10-hPa-Niveau nur wenige Tage später stattfindet. Nach dem Zusammenbruch des Polarwirbels (s. **Abb.4**) bleibt der Wind in der mittleren Stratosphäre sehr schwach.

Die nächsten Abschnitte in **Abb.3** zeigen Parameter, die die Aktivität der planetarischen Wellen beschreiben, wie: der Wärme-Fluss und der Impuls-Fluss in 60°N/30 hPa, die *Divergenz des Eliasson-Palm-Vektors* und den *Eliasson-Palm-Vektor* (60°N/10 hPa).

Synoptische Entwicklung der Stratosphärenenerwärmung

Bis zum 8.1.09 (**Abb. 4 obere Reihe**) ist es in der Stratosphäre ruhig, der zonale Wind in 60°N war stark, der Wirbel sehr kalt (Minimum im 10-hPa-Niveau -93°C über Island), die planetarischen Wellen schwach, und die abgeleiteten Flüsse entsprechend gleich null, **vergl. Abb. 3**.

Sowohl der Impuls-Fluss, wie auch der Wärme-Fluss und der Eliasson-Palm-Vektor zeigen ein *Maximum* in der Aktivität der planetarischen Wellen vom 7. Januar bis zum Anfang Februar.

Am 24.1. (**Abb. 4 mittlere Reihe**) ist der Polarwirbel geteilt und es sind die Kriterien für ein MMW erfüllt (**Definition der MMWs:** „Major Midwinter Warmings“ sind solche Erwärmungen im Januar/Februar, die zusätzlich zu einer Erwärmung des Polargebiets (Minor Warming) mit der Umkehr des winterlichen Temperaturgradienten auch zu einem „Zusammenbruch“ des Polarwirbels und einer Umstellung der „normalen“ Zirkulation führen.): Die Temperatur ist z.B. über Island von -93°C (am 8.1.) auf -20°C (am 24.1.) angestiegen; das Hauptwärmegebiet liegt an diesem Tag über Grönland, mit **plus** 8°C! Damit ist es über dem Polargebiet wärmer als in 60° N. Der zonale Wind in 60° N hat auf Ost gedreht (**Abb. 3**), und der Westwind wird sich bis Ende Februar nicht mehr erholen. Die Höhenwelle 2 (**Abb. 2**) ist sehr stark vom 7. Januar bis zum 5. Februar und spiegelt damit die Teilung des Polarwirbels (Zusammenbruch) wider. Am 1. Februar (**Abb. 4 untere Reihe**) liegt nun ein starkes Hoch über dem Polargebiet – fast sommerlich mit Temperaturwerten um -40°C.

Das globale Ausmaß der Stratosphärenenerwärmung

Bisher wurden fast nur Daten aus der mittleren Stratosphäre behandelt, besonders solche über der Arktis, weil die Stratosphärenenerwärmungen hier besonders markant sind, da der Winter in der Stratosphäre ja für gewöhnlich mit einem kalten Wirbel startet.

Globale Betrachtungen waren lange nicht möglich, weil die Datenlage besonders in den Tropen und über der Südhemisphäre schlecht war. Inzwischen ist die Lage aber so gut geworden, dass man auch die Wechselwirkungen zwischen der Arktis und den Tropen, sowie zwischen Strato- und Troposphäre sehr gut untersuchen kann.

Abbildung 5 zeigt die Anomalien, d.h. die Abweichungen des aktuellen Monatsmittels vom langjährigen Mittel, für den Februar 2009. Im Januar waren die Anomalien im Monatsmittel durchgehend sehr klein, obwohl das MMW fast vollständig im Januar stattfand.

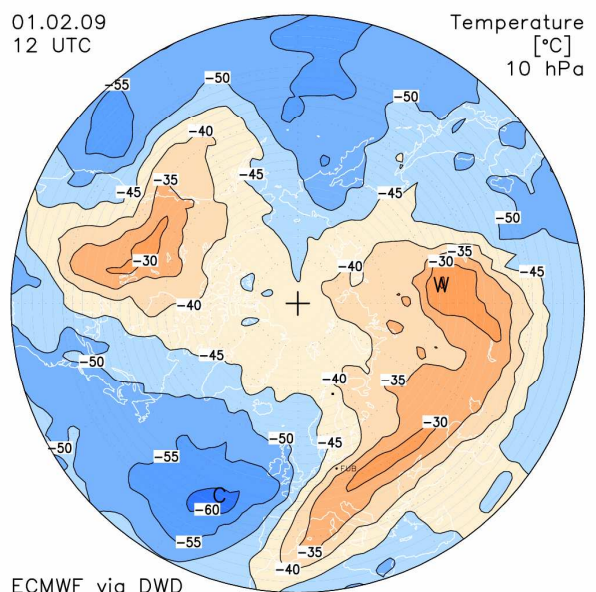
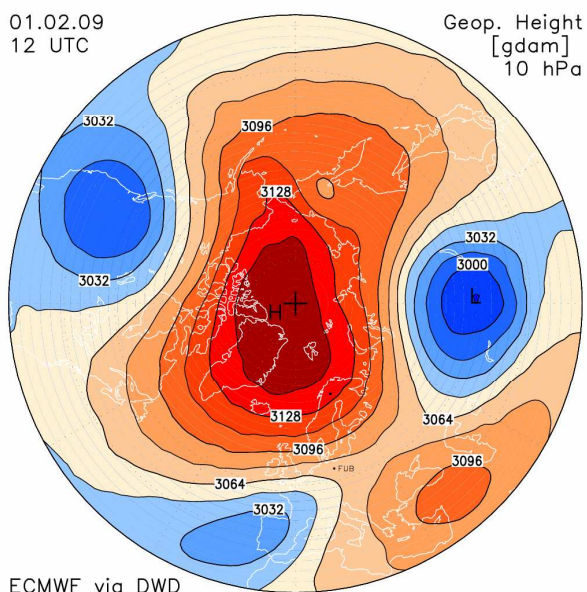
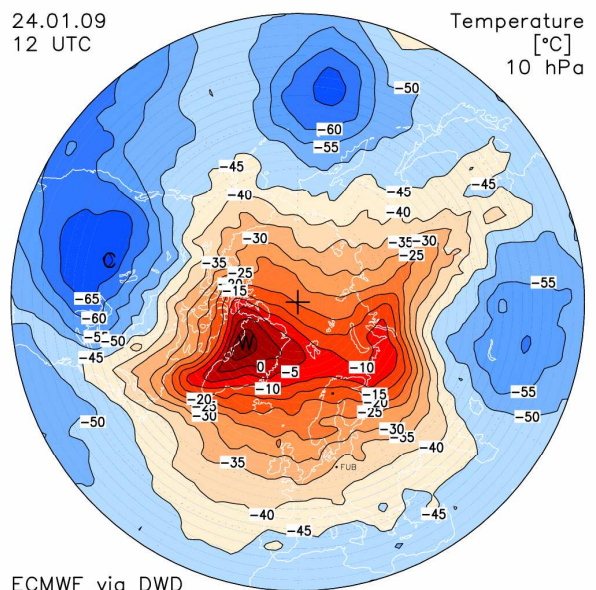
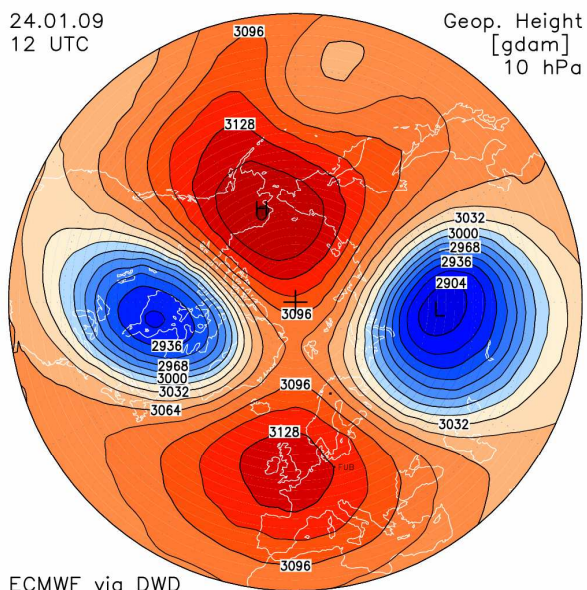
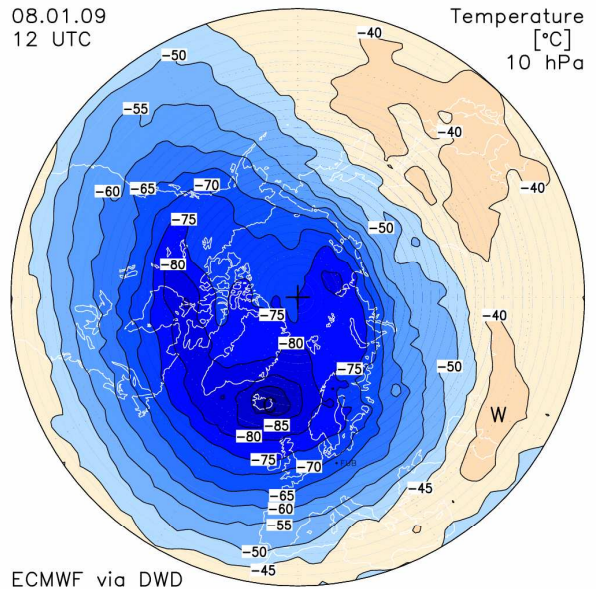
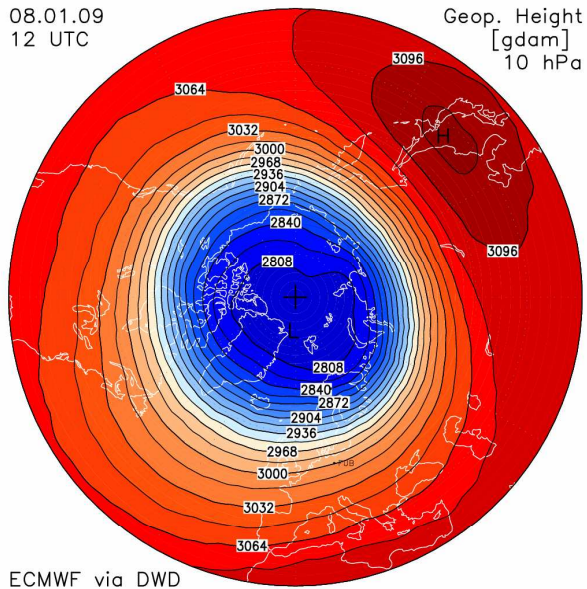


Abb. 4: 10-hPa-Karten (geopotentielle Höhen, links und Temperaturen (°C) rechts); **obere Reihe:** für den 8. Januar 2009; **mittlere Reihe:** für den 24. Januar 2009; **untere Reihe:** für den 1.2.2009. Daten: EZMW via DWD.

Alle Abbildungen zeigen einen Vertikalschnitt (1000 bis 10 hPa, von 90°S bis 90°N) der zonal gemittelten Anomalien.

In **Abb. 5 (oben links)** ist die große Stratosphärenerwärmung der Arktis das dominierende Element: hier treten Temperatur-Abweichungen bis zu 20K (im 70-hPa-Niveau) auf, das sind dort mehr als 2 Standardabweichungen. Die Erwärmung ist (im Mittel) auf die Arktis beschränkt, und die positiven Anomalien erreichen hier verbreitet 2 Standardabweichungen; interessant ist das polare 300-hPa-Niveau, wo die positiven Anomalien 3 Standardabweichungen erreichen.

Die Stratosphärenerwärmungen sind ein Zeichen von sehr starken Absinkbewegungen, die (im Mittel) in der arktischen Stratosphäre stattfinden – aber gleichzeitig sehen wir sehr signifikante Regionen mit negativen Anomalien über den Tropen und Subtropen. Wenn die Absolutwerte von -2.5 K auch klein erscheinen, so sind diese doch größer als 2 bis 3 Standardabweichungen. Die Abkühlung in den Tropen und Subtropen wird mit weiträumigem Aufsteigen erklärt und dies wird allgemein als eine Verstärkung der Brewer-Dobson-Zirkulation verstanden.

Abbildung 5 (oben rechts) zeigt die Anomalien der Höhen der Druckflächen. Die größten (positiven) Abweichungen liegen analog zu den Temperaturabweichungen über der Arktis, und das Maximum liegt mit 1440 geopot. Metern am Pol in 10 hPa, deutlich höher als das Maximum der Temperaturabweichungen (barometrische Höhenformel). Die mit 2 und 3 Standardabweichungen hoch signifikanten negativen Anomalien von ca. 50°N bis 60°S entsprechen den Ausführungen zu **Abb. 5 (oben)**.

Die Anomalien des zonalen Windes sind die logische Folge der vorher besprochenen Abbildungen (**Abb. 5, unten**). Der dramatische Abbau des Wirbels bzw. des Westwinds über der Arktis (negative Werte) ist deutlich zu erkennen. Außerdem ist in den Tropen die QBO verstärkt, positive Werte bedeuten eine Verstärkung des Westwinds (hier zwischen 50 und 30 hPa), negative Anomalien weisen auf eine Verstärkung des Ostwinds hin.

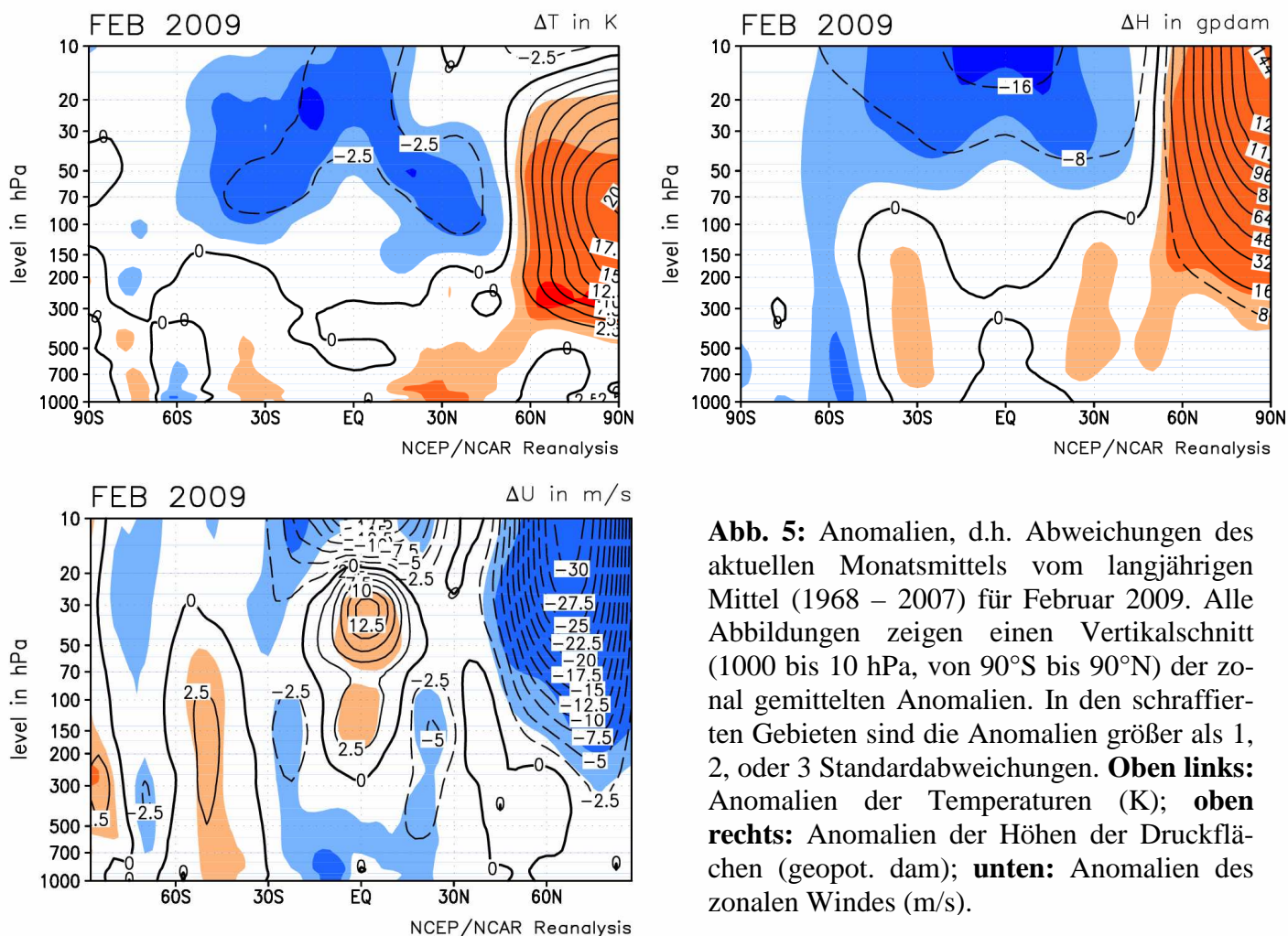


Abb. 5: Anomalien, d.h. Abweichungen des aktuellen Monatsmittels vom langjährigen Mittel (1968 – 2007) für Februar 2009. Alle Abbildungen zeigen einen Vertikalschnitt (1000 bis 10 hPa, von 90°S bis 90°N) der zonal gemittelten Anomalien. In den schraffierten Gebieten sind die Anomalien größer als 1, 2, oder 3 Standardabweichungen. **Oben links:** Anomalien der Temperaturen (K); **oben rechts:** Anomalien der Höhen der Druckflächen (geopot. dam); **unten:** Anomalien des zonalen Windes (m/s).

Wie passt nun der Stratosphärenwinter 2008/09?

Wie wir am Anfang ausführten, bestimmen viele verschiedene Faktoren die winterliche Stratosphäre. Es liegen uns jetzt (bestenfalls) die Daten von 68 Wintern vor. Danach sollte der arktische Spätwinter kalt und ungestört gewesen sein, weil die QBO in der Westphase ist, (dynamische Beeinflussung nach Holton und Tan, 1980); andererseits sind wir im Minimum des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus (SFZ, hier dargestellt durch die Intensität der 10.7 cm Radiowelle, die mit der Sonnenaktivität positiv korreliert ist), was laut Statistik ebenfalls zu einem kalten Wirbel führen sollte, **s. Abb.6.**, und die Southern Oscillation (SO) ist z. Zt. in einem neutralen Zustand und sollte die arktische Zirkulation nicht beeinflussen.

In der **Abb. 6** sind die Monatsmittel der Höhen (im Februar) der 30-hPa-Fläche für alle 68 Winter gegen die Sonnenaktivität dargestellt. Der hier vorliegende Winter sollte nach dieser Statistik im rechten Kasten zu finden sein, weil wir bezüglich der QBO in der Westphase sind.

Außerdem sollte der Winter (im Vergleich mit den anderen) ebenfalls im rechten Kasten unten links liegen, weil wir im Minimum des SFZ (Sonnenfleckenzyklus) sind. Dort sollte der Wirbel auch liegen, wenn wir die Theorie von Holton und Tan berücksichtigen.

Seit 1942 hat sich die Stratosphäre im Prinzip nach all diesen Vorgaben gerichtet, es ergab sich eine positive Korrelation zwischen den 30-hPa-Höhen im Spätwinter und der Sonnenaktivität, aber nur für die Winter in der West-Phase der QBO (Labitzke et al., 2006).

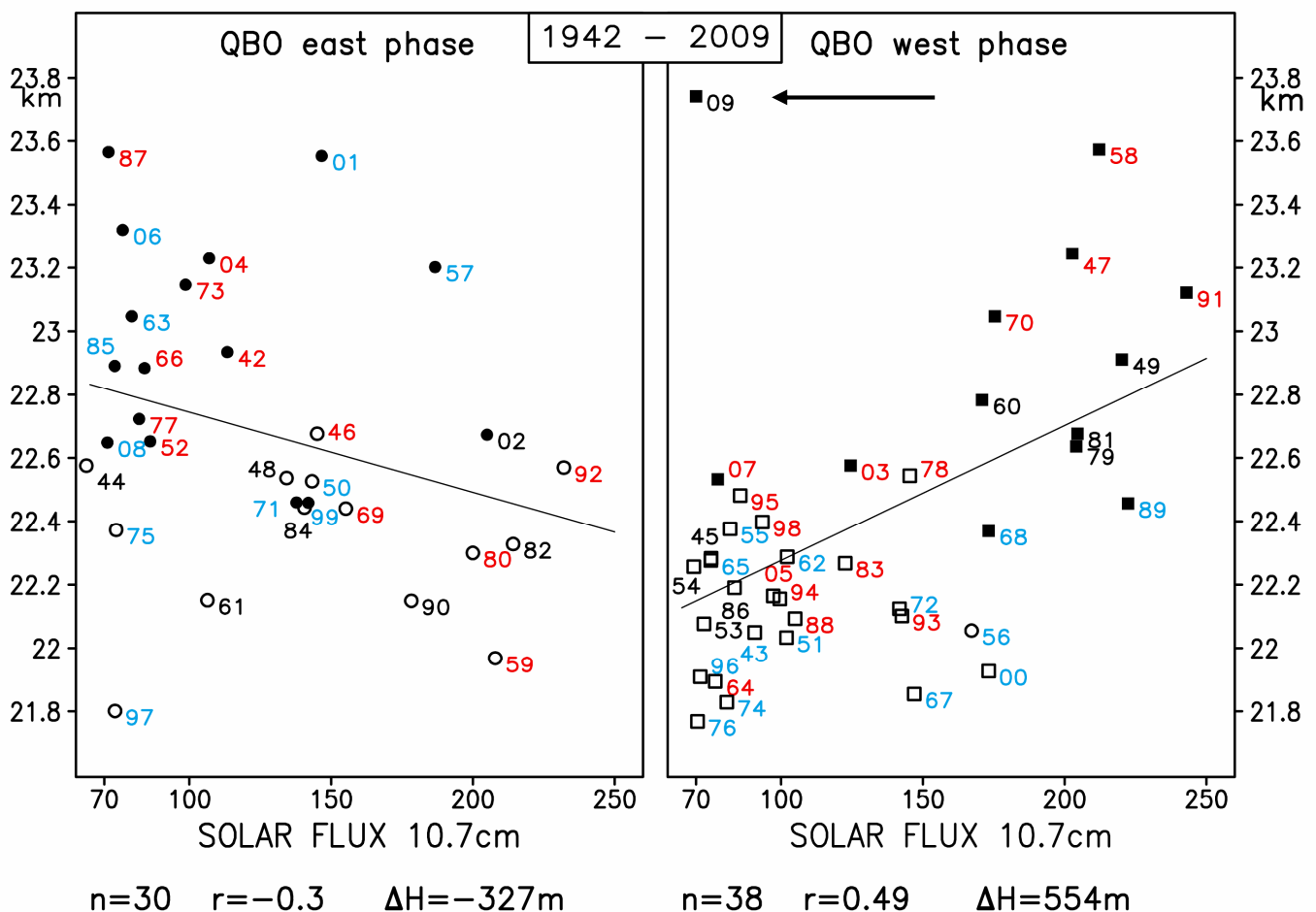


Abb. 6: Scatterdiagramm: Monatsmittel der 30-hPa-Höhen im Februar über dem Nordpol, von 1942 bis 2009, gegen den 10.7 cm Solar Flux (ein Maß für die Sonnenaktivität). Links die Jahre in der Ostwindphase der QBO, rechts die Jahre in der Westwindphase. Die Zahlen stehen für die einzelnen Jahre. Ausgefüllte Symbole stehen für Winter mit einem MMW (van Loon and Labitzke, 1994, ergänzt). (2009: Pfeil!)

Der vergangene Winter ist ein „**Ausreißer**“, der in seinem Ablauf zu den Wintern im linken Kasten, links oben passen würde – aber dazu braucht man den Ostwind in der QBO.

Der einzige weitere Ausreißer (seit 1942) ist der Winter 1997, der ebenfalls im Solarminimum auftrat – der aber zur Ostphase gehört und damit nicht so kalt, sondern warm, wie z.B. 1987, sein sollte.

Da dieser Winter 2008/09 nach vielen Gesichtspunkten in Strato- und Troposphäre zu den „extremen Wintern“ gehört, wird es nützlich sein, wenn man ihn gründlich untersucht, denn hier könnte ein Schlüssel zum vollständigen Verständnis der variablen Winter liegen.

Literatur:

Holton, J. and H. Tan, The influence of the equatorial Quasi-Biennial Oscillation on the global circulation at 50 mb. *J. Atm. Sci.*, **37**, 2200-2208, 1980

Kalnay, E. and Co-authors, The NCEP/NCAR 40-year re-analysis project, *Bull. Am. Met. Soc.*, **77**, 437-471, 1996.

Labitzke, K., *Die Stratosphäre*, 1999 (Springer Verlag).

Labitzke, K., M. Kunze, and S. Brönnimann, Sunspots, the QBO, and the stratosphere in the North Polar region – 20 years later, *Meteor. Z.*, **15**, 355-363, 2006.

van Loon, H. and K. Labitzke, The 10-12 year atmospheric oscillation, *Meteor. Z.*, **3**, 259-266, 1994.

Link zur Stratosphären-Homepage des Instituts für Meteorologie, FU Berlin:

<http://www.geo.fu-berlin.de/met/ag/strat/produkte/index.html>