



Wolfgang Gebhardt und Andreas Schäfer:

Ausbildungsseminar „Wetter und Klima“ im WS 09/10

Vorbesprechung am Do d. 25.06. um 13:00h im Seminarraum Theorie (4.1.12)

1.1. Strahlungsbilanz der Atmosphäre 1.2. Geographische Verteilung der Gesamtstrahlung		
2.1. Druck- und Temperaturschichtung 2.2. Luftdruckdifferenzen und Ausgleichsdynamik		
3.1. Kondensation, Wasserkreislauf, Niederschlag 3.2. Wolkenbildung, Wolkenformen		
4.1. Globale Zirkulation 4.2. Europäische Wetterlagen		
5.1. Wetterdienst. Vorhersage 5.2. Chaotisch Systeme		
6.1. Turbulenz 6.2. Sonnenaktivität		
7.1. Meeresströmungen 7.2. Der Carbon-Zyklus		
8.1. Die Cryosphäre 8.2. Eiszeiten		
9.1. Klimageschichte 9.2. Klimawandel. Folgenabschätzung		
10.1. Modellbildung 10.2. Klimamodelle und Prognose		
11.1. Klimafolgen für Biosphäre 11.2. Soziale Folgen		
12.1. Planetenatmosphären 12.2. Habitable Zonen		

Einführung

Die Warnungen der Klimaforscher stießen noch vor wenigen Jahrzehnten allgemein auf Ungläubigkeit und Unverständnis. Inzwischen ist die Botschaft vom Klimawandel in der internationalen Politik angekommen. Selbst die USA werden nach den jüngsten Nominierungen, die Präsident Obama vorgenommen hat, bald Maßnahmen treffen, Energie einzusparen und den CO₂-Ausstoß zu vermindern.

In dem geplanten Seminar werden wir versuchen, die wissenschaftlichen Grundlagen der Klimaforschung zu erarbeiten. Ein wichtiger Teil davon umfasst die Physik der Troposphäre, in welcher sich unser Wettergeschehen abspielt. Das Wetter wird beschrieben durch Temperatur, Druck, Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit, sowie deren räumlicher Verteilung. Die Änderung dieser Größen erfolgt innerhalb von Stunden bis Tagen. Für entsprechende Zeitabschnitte erwarten wir eine einigermaßen zuverlässige Vorhersage. Die Vorträge 1.1 bis 4.4 beschäftigen sich mit der Statik und Dynamik der Atmosphäre. Sie gilt als ein „offenes System“, welchem durch die Sonne ständig Energie in Form kurzweiliger elektromagnetischer Strahlung zugeführt wird. Im Ausgleich dazu strahlt die Erde Energie in Form von langweiliger Strahlung wieder ab. Ein Teil der langweiligen Strahlung wird durch mehr-atomige Moleküle, vor allem H₂O, CO₂, CH₄ und N₂O absorbiert und auf die Erdoberfläche zurückgestrahlt, wodurch die Temperatur am Boden ansteigt. Dieser so genannte Treibhauseffekt macht das Leben auf der Erde erst erträglich; allerdings scheint er durch menschlichen Einfluß gegenwärtig bedenklich zuzunehmen. Da die niedrigen Breiten viel mehr Einstrahlung erfahren als die hohen Breiten, entsteht ein Ungleichgewicht, welches globale Konvektionen zum Teil wieder ausgleichen. Damit bestimmen die globalen Zirkulationen auch die typischen Klimazonen und lokalen Wetterlagen.

Das Klima versucht man durch Angabe von Mittelwerten zu erfassen, z.B. Monatsmittelwerte der Temperatur oder jährliche Mittelwerte des Niederschlags. Aber auch die zeitliche Angabe des Beginns der eisfreien Jahreszeit gehört zu den Klimadaten. Schließlich kann man auch die Häufigkeit typischer oder extremer Wetterlagen angeben, was etwa für Schadensversicherungen interessant ist. Zum Verständnis des Klimas ist es notwendig, über die Physik der Atmosphäre hinauszugehen und die Wechselwirkung mit weiteren Teilsystemen wie den Weltmeeren, den Kontinenten und der Eisbedeckung (Cryosphäre) zu untersuchen. Die Schnee- und Eisbedeckung, die auf der Nord- und Südhalbkugel im Rhythmus der Jahreszeiten variiert, trägt erheblich zum Rückstrahlvermögen der kurzweiligen Strahlung, der so genannten Albedo bei, so dass im Mittel weniger Sonnenenergie die Erdoberfläche erreicht. Die Wärmekapazität des Wassers ist um ein Vielfaches größer als die der festen Stoffe, weswegen die Meere als Energiespeicher und Klimastabilisatoren eine wichtige Rolle spielen. Energie wird aber auch in der Verdampfungswärme des Wassers gespeichert und kann lokal in Unwettern und Wirbelstürmen mit häufig fataler Wirkung wieder freigesetzt werden.

Um die Veränderungen des Klimas über längere Zeiten zu studieren, müssen wir uns mit der Klimageschichte befassen. Inzwischen existiert eine große Zahl von Methoden zur Erfassung der entsprechenden Proxies. So kann man z.B. durch die Bestimmung des Isotopenverhältnisses O₁₆/O₁₈ in Eisbohrkernen die mittlere

Temperatur ermitteln und in eingeschlossenen Luftbläschen den CO₂-Gehalt bis zurück zu etwa 800 000 Jahren bestimmen. Man stellt dabei beunruhigt fest, dass in den letzten 700 000 Jahren der CO₂-Gehalt der Luft stets niedriger war als der gegenwärtige Wert. Noch größere Zeitabschnitte lassen sich mit Hilfe von Sedimentanalysen überdecken, allerdings mit wesentlich geringerer Auflösung.

In Klimamodellen geht man ähnlich vor wie bei den im Gebrauch befindlichen Wettermodellen, wobei aber die Kopplungen der Atmosphäre an die Hydro-, Cryo- und Biosphäre (s. Kohlenstoff-Zyklus) mitgenommen werden. Da es sich um stark nichtlineare Modelle handelt, hängen die spezifischen Ergebnisse empfindlich von den Anfangswerten ab. Deshalb müssen die Rechnungen für einen bestimmten Zeitbereich sehr häufig wiederholt werden (z.B. 100mal). Die Ergebnisse können als Wahrscheinlichkeiten, bzw. Häufigkeiten für bestimmte Wetterlagen gedeutet werden.

Wenn unsere Vorstellungen vom irdischen Wetter und Klima korrekt sind, sollten sich die Überlegungen auch auf die erdähnlichen Planeten, Venus und Mars, übertragen lassen. Inzwischen sind über 300 Exoplaneten, also Planeten bei Nachbarsternen außerhalb des Sonnensystems, nachgewiesen worden. Nach unseren heutigen, sicher noch ganz unvollständigen Kenntnissen sollte es möglich sein, nach den notwendigen Bedingungen des Lebens auf einem erdähnlichen Planeten, das heißt nach einer habitablen Zone, zu fragen.

Literatur

Physik der Atmosphäre. Wetter

Dieter Walch: Alles klar! Wetter verstehen. BLV – Verlag 2008

Bemerkung: Allgemeinverständlich, sehr knapp aber sehr übersichtlich. Enthält alles Wesentliche.

Taschenatlas Wetter. 2. Auflage. Klett – Perthes Verlag 2006

Bemerkung: Eine außerordentlich reiche Sammlung von Graphiken und Beispielen aus der Meteorologie. Der umfangreiche sehr eng gedruckte Text erläutert gut, könnte aber übersichtlicher gestaltet sein. Gemessen am behandelten Stoff bietet das Taschenbuch ein sehr günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis.

Wie funktioniert das? Wetter und Klima. B.I. Wissenschaftsverl. Darmstadt 1989
16/OU 860 S337

Hans Häckel: Meteorologie. Ulmer TB 2008. 53 RB 10423 H 133 (6)

Enthält viele Tabellen und gute Graphiken, fast keine Formeln. Richtet sich an Geographiestudenten.

Zmarski / Kuttler / Pethe: Meteorologisch-klimatologisches Grundwissen (3. Aufl.)
Ulmer TB 2281. Stuttgart 2007

Elementare physikalische Einführung mit vielen Formeln, Beispielen und Übungsaufgaben.

Helmut Pichler: Dynamik der Atmosphäre. 2. Aufl. Bibliographisches Institut .
Mannheim. Wien. Zürich 1986

Das Buch ist aus einem Vorlesungszyklus über Theoretische Meteorologie hervorgegangen. Es bietet sorgfältige Ausarbeitungen und Ableitungen der Gleichungen der Hydrodynamik und behandelt ausführlich Thermodynamik und Energiebilanz. Abbildungen sind nur spärlich vorhanden.

Dieter Etering: Theoretische Meteorologie. Eine Einführung. TB Springer Verl. Berlin
2. Aufl. 2002

Brigitte Klose: Meteorologie. Springer 2008. 53RB 10429 K66

Enthält physikalische Grundlagen, moderne Messverfahren, viele Graphiken. Gute Erklärung der allgemeinen Zirkulation und der Zyklone.

Murray L. Salby: Fundamentals of Atmospheric Physics. Academic Press 1995
84 UT 5000 S 161

Das Werk behandelt wieder Thermodynamik, Hydrodynamik, aber zusätzlich auch ausführlich den Strahlungstransport in der Atmosphäre und die Treibhausgase.

Kshuchiran Saha: The Earth's Atmosphere ist Physics and Dynamics. Springer 2008
53 RB 10429 S131

Ausführliche und anspruchsvolle Einführung in die Physik der Atmosphäre.

Horst Malberg: Meteorologie und Klimatologie. Eine Einführung. Springer Lehrbuch
(TB) Berlin 2007. 53/RB 10423 L372(2)

70% des Buches sind der Physik der Atmosphäre und meteorologischen Fragen (wie z.B. Wettervorhersage) gewidmet. Der Rest ist Klimakunde, die weitgehend als Teilgebiet der Physik der Atmosphäre behandelt wird.

Klimaphysik. Klimawandel.

Stefan Rahmstorf, Hans Joachim Schellenhuber: Der Klimawandel. C.H. Beck
Wissen. München 2007
53/RB 10438 R147(2)

Zwei Physiker aus dem Potsdamer Institut für angewandte Klimaforschung informieren sehr überzeugend und prägnant über die anstehenden Probleme. Ein Drittel des Büchleins ist dem Klimawandel gewidmet, wobei die Autoren vor allem kritisch auf die Quellen und die Datenlage eingehen. Die übrigen zwei Drittel befassen sich mit den Folgen und den möglichen Strategien und politischen Lösungen.

Wolfgang Weischet: Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Teubner
Studienbücher Stuttgart 1988.

7. Aufl. Stuttgart 2008
53/RB 10423 W426 E3(7)

Das Taschenbuch erlebt inzwischen die 7. Auflage. Es richtet sich vor allem an Studenten der Geographie und Geowissenschaften. Es behandelt viel Material, hält sich bei den Erklärungen eher an qualitatives Vorgehen. Trotzdem sehr empfehlenswert.

José P. Peixoto, Abraham H. Oort: Physics of Climate. American Institute of Physics New York. Second Printing 1992. 84 UT 8000 P 379

Ein wichtiges Buch, welches besonders die physikalischen und mathematischen Grundlagen und Methoden der Klimaforschung behandelt. Für die Daten stehen inzwischen modernere Quellen zur Verfügung.

Nadja Podbregar: Wetter, Klima, Klimawandel. Springer Verl. Berlin 2009

Amédée Zryd: Eine kleine Geschichte der Gletscher. Bern 2008

Helmut Böttiger, Klimawandel. Verlag Imhof, Petersberg 2008
53/RB 10438 B673

Christian Dietrich Schönwiese: Klimatologie. Ulmer-Verl. Stuttgart 2008
53/RB 10423 S366 K6(3)

Umfangreiches Lehrbuch, das sowohl die physikalischen Grundlagen wie auch die Einzelsysteme (Cryosphäre, Ozeane) enthält, dazu je ein Kapitel Bioklimatologie, anthropogene Klimabeeinflussung, Ozonabbau, Klimageschichte.

Wilhelm Kuttler: Klimatologie. Schöningh Verl. Paderborn München 2009
53/RB 10423 K97

Die Schwerpunkte liegen mehr auf geographischen Gesichtspunkten. Enthält aber knapp die wesentlichen physikalischen Prinzipien, beschreibt globale Zirkulationen, Klimatypen, den Zyklus des Wassers, lokale Klimate (Stadtklima etc.).

Wilhelm Lauer, Jörg Bendix: Klimatologie. Westermann Verl. Braunschweig 2004
53/RB 10423 L372(2)

Der erste Teil behandelt die globalen Prozesse, wie Strahlungshaushalt der Atmosphäre, globale Zirkulationen, Wolkenbildung. Der zweite Teil ist dem lokalen Klima gewidmet, den Klimazonen, dem ENSO-Phänomen. Der dritte Teil enthält die Klimageschichte und Mikro/MesoKlimatologie.

Jonathan Adams: Vegetation-Climate Interaction. How Vegetation makes the global Environment. Springer 2007

Donald Rapp: Assessing Climate Change, Springer Berlin 2008
53/RB 10438 R221

Nichtlineare Systeme.Deterministisches Chaos

Heinz Georg Schuster: Deterministisches Chaos. Bausteine der Ordnung. VCH-Verlag Weinheim 1994. 84 UG 3900 S395 D4.

Paul Manneville: Instabilities, Chaos and Turbulence. An Introduction to Nonlinear Dynamics and Complex Systems. Imperial College Press 2004. 84 UG 3900 M282

E. Tziperman: Ch. 14 Controlling Chaos in High-Dimensional Continuous Spatio-Temporal Systems (El Niño Dynamics) in
Heinz Georg Schuster (Ed.) Handbook of Chaos Control. Wiley VCH Weinheim 1999.

Klimageschichte

Tobias Krüger: Die Entdeckung der Eiszeiten. Schwabe Verl. Basel 2008
RB 10132

Rüdiger Glaser: Die Klimageschichte Mitteleuropas. WBG Darmstadt 2001, ergänzte Neuauflage 2008. 11/AR 12600 G548.

Raymond S. Bradley: Paleoclimatology. Reconstructing the climate of the quarternary.

Ausführliche Einführung in die Bestimmung der Isotope $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ zur Erstellung der Zeitskala, der mittleren Umgebungstemperatur und des CO_2 -Gehalts der Atmosphäre während der Eiszeiten und Warmzeiten.

San Diego Academic Press 1999
53/RB 10438 B811 P1(2)

Karl-Heinz Ludwig: Eine kurze Geschichte des Klimas. H.C. Beck München 2006
53/RB 10423 L948

Wolfgang Behringer: Kulturgeschichte des Klimas. C.H. Beck 2007
F 03/AR 23100 B421+1

William F. Ruddiman: Earth's Climate. Past and Future. F.H. Freeman and Comp. New York 2000

Cryosystem, Ozean, Land

International Symposium on Cryospheric Indicators of Global Climate Change 2006, Cambridge 2000. 53/RA 1202-46

Beate Louis-Schmid: Feedback mechanisms between carbon cycling, climate and oceanography. Diss. ETH Zürich 2006

Observing the Cryosphere from Space. Symposium. Oldenburg BIS Verl. 2003
6001/RB 10232 E12

Ingrid, Henning: Hydroklima und Klimavegetation der Kontinente
Diss. Münster 1994
00/RB 10459 H517

César N. Caviedes: El Niño. WBG Darmstadt 2005. 53 RB 10438 C382

Auswirkungen des Klimawandels

Stefan Rahmstorf, Hans Joachim Schellenhuber: Der Klimawandel. C.H. Beck
Wissen. München 2007
53/RB 10438 R147(2) s. oben

Rainer Walz: The Economics of Climate Change Policies. Physics Verl. Heidelberg
2009
40/QT 000 W242

Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Institut für
Klimafolgenforschung Potsdam 2007
53/RB 10438 E56

Ein Aufsatzsammlung des Instituts zu aktuellen Themen des Klimawandels.

Brian Dawson: The complete guide to climatic change
London 2009
53/RB 10438 D272

Eine ausführliche Erklärung klimatologischer Begriffe und Vorgänge in alphabetischer Reihenfolge.

Folgende **Zeitschriften** sind vorhanden und können im Uni-Netz eingesehen werden. Artikel lassen sich herunterladen.

Climate Change. International Journal. Springer Netherlands

Climate of the Past. Journal of Environmental Studies. Verl. Copernicus GmbH

Climate Dynamics. Springer Verl. Berlin, Heidelberg

Links

Zur Cryosphäre
<http://www.gdargaud.net/Antarctica/Epica.html>
<http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/>
<http://www.awi.de/en/>

Ozeanographie

<http://soconnell.web.wesleyan.edu/courses/ees106/index.html>

http://soconnell.web.wesleyan.edu/ees106/lecture_notes/lecture13_106ocean_cir1/slides001.htm

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ekman-Transport>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Golfstrom>

<http://www.mth.uea.ac.uk/ocean/vl/>

http://www.gkss.de/institute/coastal_research/

Extremwetterlagen mit Hitze und Dürre

<http://www.heatisonline.org/main.cfm>

Wettervorhersage

<http://www.top-wetter.de/wetter/modelle.shtml>

http://www.bsc-hamburg.de/static/docs/hochsee/wetter_2008.pdf

Kritische Artikel zu Klimaforschung und –politik

Intergovernmental Panel on Climatic Change:

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/index.html>

<http://www.realclimate.org/>

Klimageschichte

<http://www.esrl.noaa.gov/>

<http://www2.tu-berlin.de/~kehl/project/lv-twk/002-klimageschichte-kleiner%20ueberblick.htm>

Modelle. Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg

<http://www.mpimet.mpg.de/>

Deutsches Klimarechenzentrum

<http://www.dkrz.de/>

Deutsches Klimaforschungsprogramm DEKLIM

<http://www.deklim.de/>

Modelling the climate

<http://www.climateprediction.net/>

Global climate models

<http://en.wikipedia.org/>