



**ASTRONOMISCHER ARBEITSKREIS KASSEL E.V.**

**34. Jahrgang**

**Nummer 100**

**Januar 2006**

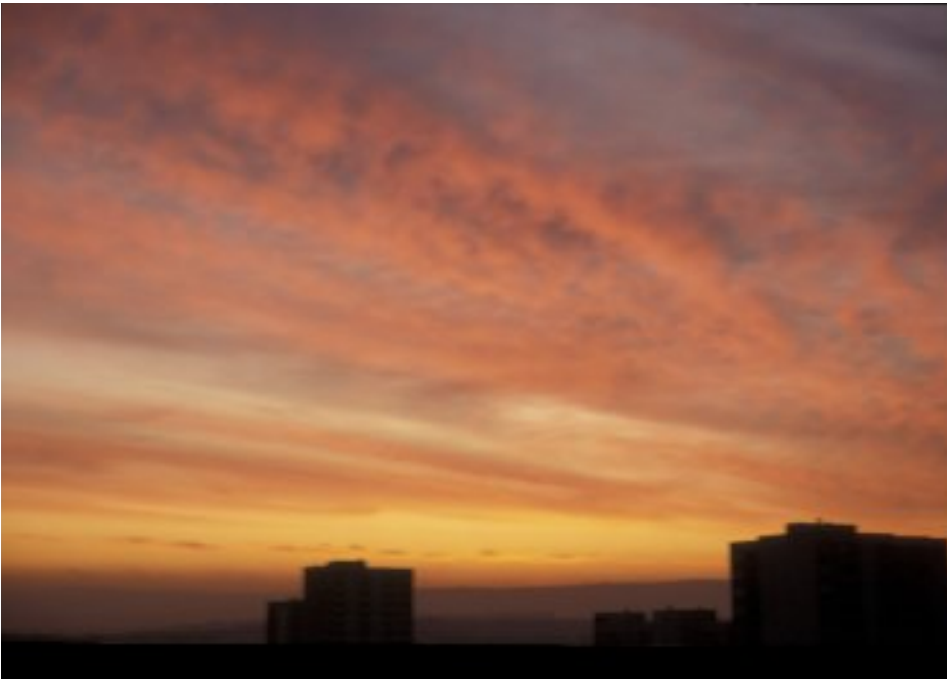
# Marsopposition 2005



**Wie entstehen Eiszeiten und Warmzeiten?  
Arecibo Observatory · Sonnenflecken 2005  
Werden Atome größer, während das Universum expandiert?**



Rio Camuy Höhlensystem (siehe Bericht von M. Simon ab Seite 7)



Morgenrot über Kassel, R. Hedewig 1988



Ziele setzen.  
Wir helfen Ihnen,  
sie zu erreichen.



Ziele erreicht man nur mit Leistung. Im Sport, wie überall im Leben. Bei Ihren Finanzen geht manches einfacher ... und dennoch erfolgreich. So zum Beispiel mit unseren Geldanlage- und Vorsorgeplänen, mit denen Sie Ihre finanziellen Ziele bequem erreichen. Machen Sie gleich den nächsten Schritt zu uns - in eine unserer Filialen oder unter [www.kasseler-sparkasse.de](http://www.kasseler-sparkasse.de).  
**Wenn's um Geld geht - Sparkasse.**

## Inhaltsverzeichnis

Klaus-Peter Haupt <b>Liebe Mitglieder</b> .....	5
--	---

### *Beobachtungen*

Ralf Gerstheimer <b>Marsopposition 2005</b> .....	6
Manfred Chudy <b>Sonnenflecken Juli 2005</b> .....	7

### *Berichte*

Matthias Simon <b>Die größte Schüssel der Welt: Arecibo Observatory</b> .....	8
Roland Hedewig <b>Wie entstehen Eiszeiten und Warmzeiten?</b> .....	14
Roland Hedewig <b>Frauen in der Astronomie</b> .....	46
Matthias Simon <b>„Brooklyn is not expanding!“ oder „Werden Atome größer, während das Weltall expandiert?“</b> .....	53

### *Verschiedenes*

Christian Hendrich <b>33x3+1</b> .....	62
Christian Hendrich <b>Rezension: Redshift Enzyklopädie Weltall</b> .....	67
Christian Hendrich <b>Beobachtungshinweise</b> .....	69
<b>Ankündigungen</b> .....	70
<b>Ankündigung: Workshop Juni 2006</b> .....	71
Christian Hendrich <b>Jubiläumsquiz</b> .....	79
<b>Unser Programm von Januar bis April 2006</b> .....	80

**Titelbild:** Fotomontage zur Marsopposition 2005, Ralf Gerstheimer

### *Liebe Mitglieder.....*

Das Einsteinjahr ist zu Ende und viele Besucher unserer Veranstaltungen haben sich im Laufe dieses Jahres über seine Forschungen informiert. Ein Höhepunkt war sicher der Vortrag von Prof. Ruder im größten Hörsaal von Kassel vor 500 Zuhörern. Prof. Ruder wird auch wieder auf den nächsten Workshop im Juni kommen, ebenso der Physik-Nobelpreisträger Prof. v. Klitzing (MPI für Festkörperforschung).

Informationen zum Workshop sind in dieser KORONA. Anmeldungen werden ab sofort entgegen genommen.

100 Jahre Relativitätstheorie, gerade überstanden und schon nähert sich das nächste Jubiläum: 100 Ausgaben unserer Vereinszeitschrift KORONA. Die Relativitätstheorie kam nur einmal, die KORONA kommt dagegen dreimal im Jahr. Und wer nachrechnet, merkt dass es den AAK im März seit 34 Jahren gibt.

In dieser Zeit wurde die KORONA von einigen wenigen Mitgliedern immer über jeweils einen langen Zeitraum betreut. Ihnen sei an dieser Stelle für die immer zuverlässige Arbeit gedankt!

Die ersten Exemplare sind noch mit Matrizen gedruckt worden. Die Matrizen wurden mit einer Schreibmaschine beschrieben. Die Jüngeren dürften weder Matrizen noch Schreibmaschinen kennen...

Und wie stolz waren wir als wir unseren ersten eigenen gebrauchten Matrizendrucker hatten. Jede einzelne Seite wurde per Hand durchgekurbelt, immer wieder wurde der Filz mit Spiritus getränkt. Das war fast noch so wie zu Gutenbergs Zeiten!!

Doch kommen wir wieder zur Gegenwart und nahen Zukunft zurück:

Eine ganze Reihe von interessanten Themen erwartet Sie wieder an den Freitagen und eine interessante Studienfahrt nach Darmstadt.

Auf die nächsten 100 Ausgaben der KORONA!

Ihr KP Haupt



## Marsopposition 2005

Ralf Gerstheimer

Etwa alle zwei Jahre kommt der äußere Nachbarplanet Mars der Erde besonders nahe, da sich beide Planeten auf ihren Bahnen begegnen. Bei einer solchen sogenannten Opposition besteht die Chance, auf der Oberfläche des Planeten auch mit Instrumenten der Amateurastronomie mehr Details erkennen zu können. Der Planet ließ sich bereits mit bloßem Auge im Herbst 2005 besonders leicht am östlichen Himmel auffinden. Dabei ist sein oranges, ruhiges Licht besonders auffällig. Ende Oktober stand er in der Nähe des offenen Sternhaufens Plejaden im Sternbild Stier. Eine Fotomontage zur scheinbaren Bewegung des Mars gegenüber dem Fixsternhimmel ist auf der Titelseite dieser Korona dargestellt.

Der Hintergrund ist eine Montage aus 20 Einzelaufnahmen. Nach Übereinanderlegen und Ausrichten der Bilder wurde die scheinbare Bewegung von Mars vor dem Sternenhintergrund sichtbar. Lücken entstanden, wenn aufgrund der Witterung keine Aufnahmen möglich waren. Am 1.10. kam Mars im Sternbild Stier zum Stillstand und bewegte sich bis 10.12. rückläufig. Anschließend bewegte er sich im Sternbild Widder wieder vorwärts.

Die einzelnen Aufnahmen entstanden mit einer EOS 300D bei einer Brennweite von 18mm, einer Belichtungszeit von 25s, Blende 3,5 und 1600 ASA.

Die 16 Aufnahmen aus dem Zeitraum vom 23.6. bis 10.12.2005 zeigen Annäherung, Opposition und Entfernung von Mars im Oppositionszeitraum 2005. Wechselnde Phasengestalt, das Abschmelzen der Polkappe und vor allem die Änderung des scheinbaren Durchmessers sind besonders auffällig. Neben verschiedenen Wolkenscheinungen überrascht eine ausgeprägte orographische Wolke über Olympus Mons während der Tage der größten Annäherung. Am 23.6. betrug der scheinbare Durchmesser von Mars  $8,9''$ , die Helligkeit  $0,0 \text{ mag}$  und die Beleuchtung 84%. Seine Entfernung zur Erde betrug 156 Mio km. Zum Oppositionszeitpunkt betrug der scheinbare Durchmesser ca.  $21''$  und die Helligkeit  $-2,3 \text{ mag}$ . Mars näherte sich am der Erde am 30.10. bis auf 69,4 Mio km. Am 10.12. betrug der scheinbare Durchmesser  $15,2''$ , die Helligkeit  $-1,2 \text{ mag}$  und die Beleuchtung 95% in einer Entfernung von 91 Mio km.

Die einzelnen Bilder wurden aus 2-4 minütigen Videosequenzen gemittelt und geschärft, wobei zunächst eine Luminanz- und anschließend ein RGB-Farbsequenz aufgezeichnet wurde. Für die Luminanzaufnahmen kam eine DMK 21AF04 – Videokamera + Dunkelrot-Filter zum Einsatz. Die Farbaufnahmen wurden mit einer Philipps Webcam (ToUCam 740K) + IR/UV-Sperrfilter erzeugt. Die verwendete Optik war ein  $12,5''$ -Dobson ( $f=1520 \text{ mm}$ ) mit 5-fach Barlow Televue Powermate und Verlängerungshülse. Die effektive Brennweite betrug somit ca. 11m. Die Bildverarbeitung erfolgte mit den Programmen „Giotto“ von Georg Dittié und Adobe Photoshop.

Zum Vergleich ist die Marsschleife 2003 (Fotos: Wulfried Heidrich, aufgenommen in Hofgeismar) als Daumenkino dargestellt. Der Mars befand sich während dieser Zeit im Sternbild Aquarius, der Aufnahmezeitraum war 23.6. bis 27.10.2003. Als Aufnahme- und Verarbeitungsmedium diente ein KB-Film auf den jeweils 10s bei ASA400 belichtet wurde. Die Opposition war am 28.9.2003, die Entfernung zur Erde betrug 55,76 Mio km und max. scheinbare Helligkeit  $-2,9 \text{ mag}$ .

## Sonnenflecken Juli 2005

Manfred Chudy

Im Juli 2005 konnte an vielen Tagen die Sonne beobachtet werden. Die Beobachtungen der Sonnenflecken wurden von Manfred Chudy aufgezeichnet und die Relativzahl berechnet. Die Werte sind im Diagramm in Abb. 1 dargestellt. Es ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Beobachtungen aus Kassel mit den Werten der Fachgruppe Sonne der Vereinigung der Sternfreunde (Sonne Netz).

Bemerkenswert ist das ausgeprägte Minimum zwischen 16. und 27. Juli 2005. Dies sind mit Sicherheit die ersten Vorboten des in 2007 kommenden Minimums des 11jährigen Saros-Zyklus (Abb. 2).

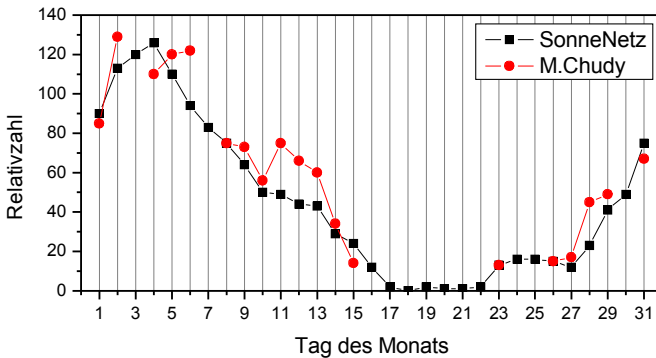


Abb. 1: Relativzahlen von M. Chudy im Vergleich zu den provisorischen Re Zahlen der VDS Fachgruppe Sonne

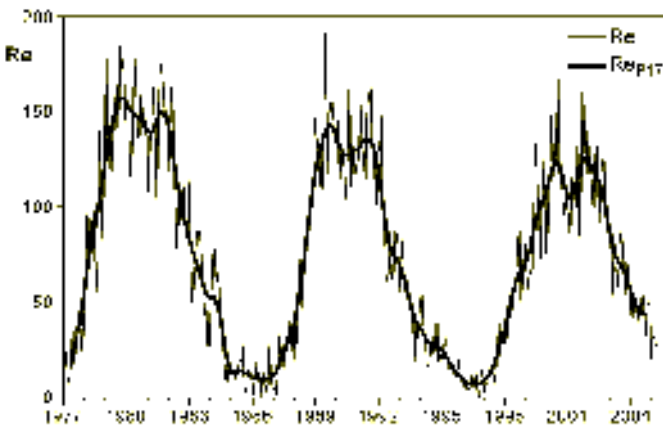


Abb. 2: Sonnenfleckenrelativzahlen (nach Wolf),  
Quelle: <http://www.vds-sonne.de>



## Die größte Schüssel der Welt: Arecibo Observatory

Matthias Simon

Im Oktober 2005 war ich eine knappe Woche auf der jährlich abgehaltenen Konferenz über Röntgendetektoren und Medizinische Bildgebung<sup>1</sup>, die dieses Jahr in Puerto Rico stattfand. Die meiste Zeit habe ich in einem vollklimatisierten Hotel- und Tagungskomplex zugebracht, der zwar recht schön direkt am Meer auf einer ca. 100 m hohen Klippe gelegen war, aber nicht viel vom eigentlichen Puerto Rico zeigte. Da wir zu mehreren Kollegen dort waren und einen Mietwagen zur Verfügung hatten, konnten wir uns doch einen Tag von der Konferenz frei nehmen und eine Tour machen, die uns zu den Höhlen am ‚Rio Camuy‘ und dem weltgrößten Radioteleskop bei Arecibo führte. Beides liegt im Nordwesten der Insel nur 15 Minuten Autofahrt auseinander. Da ich weiß, dass Höhlen auch immer viele Leute im AAK interessieren, beginne ich mit einem kurzen Bericht darüber.

### Rio Camuy Cave Park

Die Höhlen wie auch das Radioteleskop werden als touristische Ziele schon an der Autobahn im Tal ausgeschildert. Die Höhlen liegen in einer geologisch sehr interessanten Region des ‚tropischen Kegelkarst‘, der sich durch viele niedrige, dicht an dicht stehende Kalksteinhügel auszeichnet. Im Gegensatz zu anderen Karstgebieten, z. B. in Hochgebirgen, sind diese Hügel trotz des schnell versickernden Wassers durch die ganzjährige Vegetationsperiode und die regelmäßigen Niederschläge dicht bewachsen. Von der Küste bis zu den Höhlen ist die Gegend aber auch relativ dicht besiedelt.

Der ‚Rio Camuy Cave Park‘ ist ein voll durchorganisierter Betrieb mit großen Parkplätzen, Besucherzentrum, Cafeteria und Souvenirshop. Zum ersten Mal bei einem Höhlenbesuch habe ich wie in einer Behörde eine Art ‚Wartemarke‘ gezogen, deren Nummer dann durch eine Lautsprecheransage durchgegeben werden sollte, wenn die eigene Höhlenführung beginnt. In der Praxis musste man aber doch am Eingang aufpassen, da zahlreiche Schulklassen einen hohen Lärmpegel erzeugten, sich aber trotz mehrstündiger Wartezeit erstaunlich diszipliniert zeigten. Die Führung begann in einem eiskalt klimatisierten Raum mit einem Film über die Höhlen, der gleichzeitig eine Art Sicherheitsbelehrung war. Ein Grund dafür ist vielleicht im heutigen Amerika, dass keiner wegen schmutziger Kleidung oder gestoßenem Kopf nachher eine Klage einreicht ...

Eine kleine Straßen-Kleinbahn bringt einen durch tropischen Wald relativ steil abwärts in das erste Einsturzloch, dem Eingang zur Höhle. Dort erwartet einen schon der persönliche Führer der Gruppe, der einen durch die Höhle begleitet.

Selbst in den steilen Kalkwänden wachsen noch Farne und es beeindruckt die wuchernde Vegetation bis zum letzten Lichtstrahl, bevor man durch einen großen Eingang mit fossilen Tropfsteinen eine große Halle (ca. 50 m hoch) betritt. Die Lichteffekte beim Blick aus der dunklen Höhle in den gleißend hell scheinenden Eingang sind faszinierend (siehe Abbildung auf der vorderen Umschlagseite). Ein paar große Stalagmiten und wenig kleiner Tropfsteinschmuck sind zurückhaltend beleuchtet. Auf einem festen Betonweg mit ein paar Stationen, auf denen recht fachkundig etwas zur Größe und Entstehung der Höhle gesagt wird, durch-

<sup>1</sup> Nuclear Science Symposium - Medical Imaging Conference 2005: [www.nss-mic.org/2005](http://www.nss-mic.org/2005)



quert man die Durchgangshöhle zu einem zweiten Einbruchstrichter, auf dessen Grund man den Höhlenfluss sehen kann, der angeblich der drittlängste der Welt sein soll. Nach dem Weg zurück durch die Höhle steigt man draußen wieder in die Kleinbahn, die einen zu einem Aussichtspunkt an einem noch größeren Einsturzloch mit über 100 m Durchmesser und ca. 70 m Tiefe bringt. Von dort wird man dann wieder zum Ausgangspunkt gefahren.

Alles in allem waren die Rio Camuy Höhlen sehr schön und den Besuch wert, aber ich wäre doch gerne ein paar Meter mehr zu Fuß gegangen!

### Arecibo Observatory

So ähnlich wie in Effelsberg, entdeckt man das Radioteleskop trotz seiner Größe nicht schon von weitem. Lediglich die in großer Höhe über der Schüssel aufgehängte Empfängerkonstruktion sieht man zwischen den grünen Kuppen des Kegelkarsts durchblicken. Die Straße zum Teleskop ist sehr schmal, kurvenreich und hat starke Steigungen. Bis wenige hundert Meter vor dem Teleskop ist die Gegend auch noch relativ stark besiedelt. Die letzten Meter zum Besucherzentrum muss man bergauf zu Fuß gehen, was im Land der Autofahrer auch wieder mit Warnhinweisen, z. B. für Herzkrankte, versehen ist.

Wir hatten leider nur noch eine dreiviertel Stunde Zeit, aber die Ausstellung im Besucherzentrum war didaktisch sehr schön gemacht. Es gab einfache Versuche zu elektromagnetischen Wellen und es wurde erklärt, wie Radiostrahlung im Weltall entsteht und mit dem Teleskop aufgefangen wird.

Die Aussichtsplattform für die Besucher ist auf einem Felsen ca. 60 m hoch über dem Reflektorrand: der Anblick ist wirklich gigantisch, auch wenn man die wirkliche Größe sehr schwer schätzen kann. Der Primärreflektor ist im wesentlichen in eine natürliche Senke des Karstgebirges eingebaut, auch wenn man natürlich noch eine Menge Material bewegen musste. Zum Vergleich: das



Abb. 1: Reflektor mit Empfängerkonstruktion in 137 m Höhe. Die Kuppel (Gregorian dome) enthält den Sekundär- und Tertiärreflektor.



Radioteleskop in Effelsberg, das einige Leser schon besucht haben, hat 100 statt 305 m Durchmesser. Damit ist die Reflektorfläche mit ca. 73.000 m<sup>2</sup> und die primäre Empfindlichkeit von Arecibo rund zehnmal so groß wie die von Effelsberg! Der Nachteil von Arecibo ist natürlich die Unbeweglichkeit des Reflektors: die Ausrichtung auf eine Radioquelle geschieht mit der beweglichen Empfängerkonstruktion. Sie wiegt 630 t und hängt 137 m über der Schüssel an 3 Riesentürmen von 81 – 111 m Höhe. Diese halten den Empfänger auch bei Wind auf wenige Millimeter in Position. Das Teleskop kann damit Objekte am Himmel sehen, die ca. 20° entfernt vom Zenit stehen, d. h. von -1° Deklination bis +38°. Der Trick mit dem beweglichen Empfänger funktioniert nur, weil der Reflektor eine sphärische und keine Parabolform hat: damit sieht er von jeder entfernten



**Abb. 2:** Einer der Masten, die das Empfängersystem (630 t) tragen und auf Position halten. Direkt daneben befindet sich das Besucherzentrum.

Quelle aus gleich aus. Es gibt aber deshalb auch keinen echten Primärfokus, sondern nur ein teilfokussiertes Signal, das entweder mit einem ‚Line feed‘, einer 29 m langen linearen Antenne oder mit einem Sekundär- (22 m) und Tertiärreflektor (8 m), einem sogenannten ‚Gregorian feed‘ aufgefangen werden. Der ‚Gregorian dome‘ wurde im Jahr 1997 am beweglichen Azimutarm installiert.

Das Arecibo Observatory ist nicht nur ein Radioteleskop, sondern auch die weltgrößte Radaranlage! Die eigentliche Motivation zum Bau, und das war mir auch neu, kam von der Atmosphärenforschung. W. Gordon von der Cornell University wollte die Ionosphäre mit ihren komplizierten Winden und elektrischen Vorgängen mithilfe von Radar studieren und konzipierte dafür die Schüssel mit der Größe von 305 m. Arecibo wurde 1963 in Betrieb genommen und in zwei größeren Upgrades 1974 und 1997 verbessert. Zum einen wurde die Oberflächengenauigkeit des Reflektors auf 2,2 mm gesteigert, um auch die für die Radioastronomie wichtigen kleineren Wellenlängen bis hinunter zu wenigen Zentimetern zugänglich zu machen, zum anderen die Empfangstechnik (Gregorian, s.o., und Receiver) wesent-

lich verbessert. Es können jetzt Wellenlängen von 3 cm bis 6 m, entsprechend einer Frequenz von 10 GHz bis 50 MHz beobachtet werden. Beim 100 m Teleskop in Effelsberg ist die Oberfläche genauer als 0,5 mm, so dass hier Wellenlängen bis hinab zu 3,5 mm (96 GHz) noch gut reflektiert werden. Zu den langen Wellenlängen hin begrenzt die Absorption durch geladene Teilchen in der Ionosphäre der Erde das ‚Radiofenster zum Weltall‘.

Seit ein paar Jahren schützt ein 12 m hoher Metallzaun am Reflektorrang gegen irdische Störungen. Ab dem Besucherparkplatz sollen alle Mobiltelefone abgestellt werden, da diese wesentliche Beeinträchtigungen von Beobachtungen zur Folge haben können. Als Beispiel für die Empfindlichkeit von Radioteleskopen sollte man bedenken, dass ein sendendes Mobiltelefon auf dem Mond in 400.000 km Entfernung eine der hellsten Radioquellen am Himmel wäre.

Betrieben wird Arecibo von der Cornell University und dem National Astronomy and Ionosphere Center. Falls man einmal auf Puerto Rico ist, sollte man dieser beeindruckenden Stätte der Kultur und Technik einen Besuch abstatten!

<b>Zahlen und Fakten</b>		
Standort	Arecibo, Puerto Rico	
	Geographische Breite	18°20' N
	Geographische Länge	66°45' W
	Höhe über NN	497 m
	Baujahr	1963
Dimensionen	Durchmesser Reflektor	305 m
	Fläche Reflektor	73.000 m <sup>2</sup>
	Oberflächengenauigkeit	2.2 mm (RMS)
Beobachtungen	Frequenzbereich	50 MHz bis 10 GHz
	Wellenlängen	6 m bis 3 cm
	Deklinationbereich	- 1° bis + 38°
Hauptarbeitsgebiete	Atmosphäre der Erde	
	Radar im Sonnensystem	
	Radioastronomie	

Auch heute noch wird die Hauptforschungsarbeit in Arecibo auf drei Gebieten durchgeführt, die ich hier aber nur anhand von Stichpunkten und Beispielen vorstellen will.

**1) Atmosphärenforschung**

Ähnlich dem bekannten Regenradar werden Bestandteile und Dynamik der Atmosphäre durch reflektierte Radiowellen untersucht.

- Beobachtung aller Bestandteile der Lufthülle wie Ozon, Wasserdampf, Aerosole



- Vorgänge in der Ionosphäre (ab ca. 100 km Höhe), Wechselwirkung der Erde mit dem Sonnenwind und Meteoroiden

## 2) Radar im Sonnensystem

Auch hier wird der Reflektor im Radarbetrieb benutzt: ein bis zu 1 Megawatt starker Radiopuls wird in Richtung eines Objekts im Sonnensystem geschickt und das reflektierte Signal aufgefangen. Radar hat einige Vorteile gegenüber optischen Beobachtungen: 1. Radar durchdringt mühelos Wolkendecken, 2. die Reflektion von Radiowellen ist sehr empfindlich gegenüber der Oberflächenbeschaffenheit (Rauhigkeit), 3. die Teleskope sind extrem empfindlich für kleine Signalstärken und 4. die Laufzeitinformation kann sehr genau ausgewertet werden.

Einige Arbeiten zu diesem Thema:

- Entdeckung der nicht gebundenen Rotation des Merkur: Eigenrotation 59 Tage, Sonnenumlauf 88 Tage
- Entdeckung von Eisflächen in unbeleuchteten Kratern in Polgebieten von Merkur
- Kartierung der Venusoberfläche, die von einer für sichtbares Licht undurchdringlichen Wolkendecke verborgen ist; 1988: beste Venus-Gesamtkarte (ca. 2 km Auflösung) vor Ankunft der Raumsonden Pioneer und Magellan; einzige Möglichkeit der Oberflächenbeobachtung zur Zeit.
- Beobachtung von Asteroiden, insbesondere erdnahen und Erdbahnkreuzern.
- Kometen: geladene Teilchen in Koma und Schweif
- entferntestes Objekt im Sonnensystem waren bisher die Saturnringe

## 3) Radioastronomie

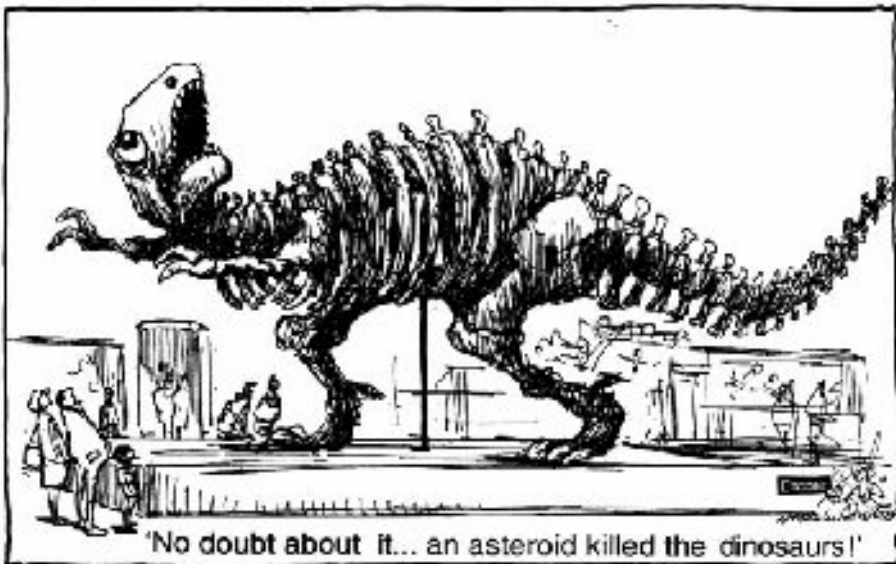
Hier ist Arecibo besonders wichtig in der Beobachtung von schwachen Einzelobjekten. Großräumige Untersuchungen, z. B. von Gaswolken in der Milchstraße sind wegen des eingeschränkten Gesichtsfeld weniger durchgeführt worden.

- Pulsare sind schnell rotierende Neutronensterne, die u.a. im Radiobereich strahlen. Die meisten Millisekunden-Pulsare wurden in Arecibo entdeckt. Zwei besonders berühmte:
  1. der Doppelpulsar PSR 1913+16 wurde von J. Taylor und R. Hulse im Jahr 1974 entdeckt. Die Abnahme der Bahnperiode der sich umkreisenden Neutronensterne entspricht genau der Erwartung der Allgemeinen Relativitätstheorie, die die Abstrahlung von Gravitationswellen vorhersagt. Für diesen indirekten Nachweis von Gravitationswellen erhielten Taylor und Hulse 1993 den Nobelpreis für Physik.
  2. der Pulsar 1257+12 zeigt periodische Schwankungen seiner Pulsperiode. Diese können am besten unter der Annahme erklärt werden, dass der Stern von drei Planeten von ca. Erdgröße umkreist wird. Dies war 1992 der erste Nachweis von extrasolaren Planeten, wenn auch in einem sehr exotischen System.

- Radiogalaxien und Quasare basieren auf aktiven Galaxienkernen mit massiven zentralen schwarzen Löchern in z. T. sehr großer Entfernung zur Erde. Deswegen sind für diese Beobachtungen sehr hohe Winkelauflösungen wünschenswert, die die Radioastronomie wegen der großen Wellenlänge so einfach nicht liefern kann: selbst der 305 m Reflektor erreicht bei 10 cm Wellenlänge nur 1' Auflösung. Dieses Problem wird durch Interferometrie gelöst. Bei der ‚Very Long Baseline Interferometry (VLBI)‘ zusammen mit anderen Radioteleskopen auf der ganzen Erde erreicht man eine Winkelauflösung von weniger als 0,0001". Arecibo spielt in diesem Netzwerk eine wichtige Rolle.
- Mit der Verbesserung der Reflektoroberfläche sind jetzt auch Beobachtungen von zahlreichen Molekülen im Weltall bei Wellenlängen von einigen Zentimetern möglich.
- Schließlich findet mithilfe von Arecibo auch die Suche nach extraterrestrischem Leben statt (SETI-Projekt). Man möchte ‚intelligente‘ Muster in den empfangenen Signalen aus dem Weltall finden. Bisher gab es keine signifikanten Ereignisse.

Weitere Informationen findet man auf der Homepage des Arecibo-Observatoriums:

<http://www.naic.edu>



## Wie entstehen Eiszeiten und Warmzeiten?

Erweiterte Fassung des Vortrages im Astronomischen  
Arbeitskreis Kassel am 16.9.05

von Roland Hedewig

### Woher weiß man etwas über Eiszeiten?

An vielen Stellen Norddeutschlands findet man große Steine, die Findlinge, obwohl weit und breit kein Felsen zu sehen ist, von dem sie stammen könnten. Als 1775 bekannt wurde, dass das gleiche Gesteinsmaterial in Schweden vorkommt, hielt man sie für vulkanische Bomben, die von Vulkanen in Schweden ausgeschleudert wurden.

Um 1800 hielt man sie für Gerölle einer früheren, gigantischen Schlammlut. Der Geologe Charles Lyell, ein Anhänger dieser Theorie, prägte deshalb den Begriff „Diluvium“ (Überschwemmung) für die Formation, die wir heute als Eiszeitalter oder Pleistozän bezeichnen. Man konnte sich einfach nicht vorstellen, dass Eis von Nordskandinavien über Tausende Kilometer bis nach Deutschland vorgedrungen war und diese Felsblöcke über eine so große Strecke transportiert hatte. 1832 äußerte als Erster R. Bernhard die Überzeugung, dass Findlinge und Geschiebe (mit Schrammspuren versehene Steine, geschobene Steine) vom nordischen Eis nach Deutschland verfrachtet wurden. Aber erst 1875 setzte sich bei Geologen die Erkenntnis durch, Findlinge als vom Eis transportierte Steine anzusehen (nach Vespermann 1999).

In den Alpen fiel es leichter, die in Alpentälern und im Alpenvorland liegenden Felsblöcke als Ablagerungen ehemaliger Gletscher zu erkennen, denn man kennt dort die auf den Gletschern liegenden Felsbrocken, die mit dem Gletscher abwärts bewegt werden und dann vor der Gletscherzunge in der Endmoräne liegen bleiben, die aus vielen Steinen unterschiedlicher Größe besteht. Weit unterhalb der heutigen Gletscherzungen liegen noch die Endmoränen des Gletschervorstoßes von 1850. Der Rückzug der Alpengletscher ist durch viele Fotos und Ansichtskarten dokumentiert. In den Bernina-Alpen stellte man im Tal des Morteratsch-Gletschers Schilder am Wegrand auf, die zeigen, an welchen Stellen die Gletscherzunge seit 1875 in bestimmten Jahren endete. Von 1875 bis 1981, also in 106 Jahren, war die Gletscherzunge um 1850 m zurückgegangen und Pionierpflanzen hatten sich im ehemaligen Gletscherbett angesiedelt. Dort, wo die Gletscherzunge 1970 endete, wuchs 1981 bereits eine Grünerle (Hedewig 1982, S. 3/4).

Solche ältere Endmoränen sind auch in anderen Hochgebirgen, z. B. im Himalaya, unterhalb der heutigen Gletscherzungen zu sehen (s. Dia von R. Hedewig aus Ladakh 1994 und Satellitenaufnahme bei Jauk 2003, S. 60). Der Gangotri-Gletscher, der als Quelle des Ganges gilt, ging seit 150 Jahren um fast 2 km zurück.

Als Nachweise früherer Vereisungen gelten heute die Geschiebe, also geglättete Steine mit Längsschrammen(im Gegensatz zu Geröllen der Bäche, die keine solchen Schrammen haben), Gletscherschliffe auf anstehendem Fels und Tillite. Das sind verfestigte Geschiebemergel aus fossilen Moränen mit eingelagerten gekritzten und geschrammten Geschieben. Die relative Datierung erfolgt durch Fossilien, die absolute Datierung durch die Bestimmung des Anteils bestimmter Elemente im Gestein, die durch radioaktiven Zerfall von Elementen, deren Halbwertszeit man kennt, entstanden, z. B. Uran-Blei-Methode.

## Das letzte Eiszeitalter - Pleistozän

Nach 1875 widmeten sich Geologen und Geographen intensiv der Erforschung eiszeitlicher Spuren in Mitteleuropa. 1909 veröffentlichten Penck und Brückner das dreibändige Standardwerk „Die Alpen im Eiszeitalter“. Hier wurde zum ersten Male die heute noch gültige vierteilige Untergliederung des Eiszeitalters vorgestellt, beruhend auf vier Gletschervorstößen. Die Bezeichnungen für diese glazialen Perioden leiteten die Autoren von kleineren Alpenflüssen ab: Günz, Mindel, Riß und Würm. Analog verfuhr K. Keilhack für Norddeutschland, indem er dort drei Eisvorstöße nachwies und diese als Elster, Saale- und Weichsel-Eiszeit bezeichnete, die den Eiszeiten Mindel, Riß und Würm entsprechen.

Den Eiszeiten des Pleistozäns ging in den gemäßigten Breiten der Nord- und Südhalbkugel eine allmähliche Abkühlung voraus, die während der ganzen Tertiärzeit anhielt. Man kann das sehr gut an der Nordgrenze der Palme verfolgen. Zu Beginn des Tertiärs war es auf der Nordhalbkugel so warm war, dass Wein in Grönland gedieh und Palmen noch in Nordsibirien wuchsen. Dann kühlte das Klima bis zum Ende des Tertiärs so stark ab, dass die Nordgrenze der Palmen mehrere Tausend Kilometer nach Süden rückte, bis nach Nord-Indien und Süd-China wo sie heute noch liegt. (s. Abb. 1).

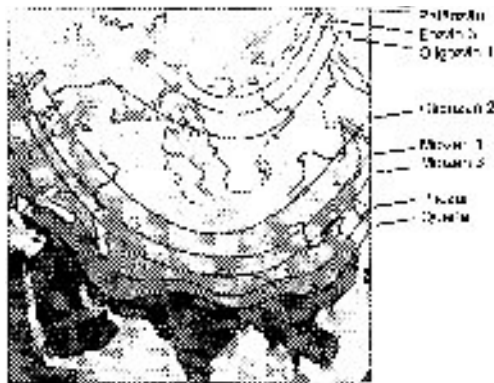


Abb. 1: Südverlagerung der Palmengrenze seit dem frühen Tertiär  
(aus Vespermann 1999, S. 44)

Der weiteste Eisvorstoß der skandinavischen Gletscher nach Deutschland erfolgte in der Elster-Eiszeit. Deren südlichster Eisrand ist nachweisbar durch die südlichsten Vorkommen der vom Eis mitgeführten Feuersteine, weshalb man diese Grenzlinie als „Feuersteinlinie“ bezeichnet. Sie verläuft am nördlichen Harzrand, biegt dann östlich vom Harz nach Süden um und verläuft von dort durch das Thüringer Becken (vgl. Karte bei Caspers et al. 1999, S. 78). Der nördliche Teil Thüringens war also damals vom Eis bedeckt, während Hessen im gesamten Eiszeitalter eisfrei blieb (s. Abb. 2). Das Schmelzwasser sammelte sich vor dem Eisrand in einem Urstromtal, in dem das Wasser zur Nordsee floss.

Bei jeder Vereisung lag der Meeresspiegel wesentlich tiefer als heute, weil viel Wasser als Eis auf den Kontinenten gebunden war (s. Abb. 3).

Die jüngste Eisdecke, die der Weichsel-Eiszeit (= Würm-Eiszeit), entstand vor etwa 30.000 Jahren und erreicht ihre maximale Ausdehnung vor ca. 20.000 Jahren. Damals waren 50 Millionen km<sup>3</sup>



Wasser als Inlandeis auf den Kontinenten gebunden. Der Meeresspiegel lag 120 m tiefer als heute. Der südliche Teil der Nordsee war Festland. Die Britischen Inseln waren durch eine breite Landbrücke mit dem Festland verbunden. Der Festlandsockel vor der Bretagne lag trocken.

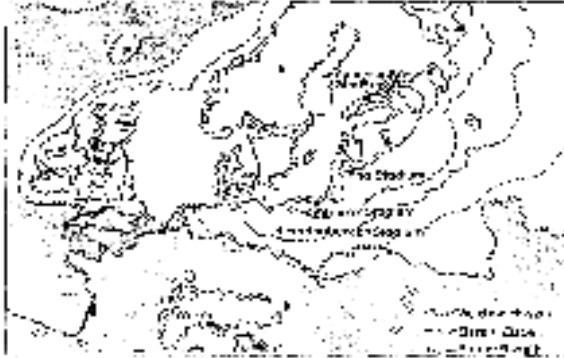


Abb. 2: Vereisungsgrenzen de Elster-, Saale- und Weichsel-Glazials (dieses mit Rückzugsstadien; aus Vespermann 1999, S. 74)

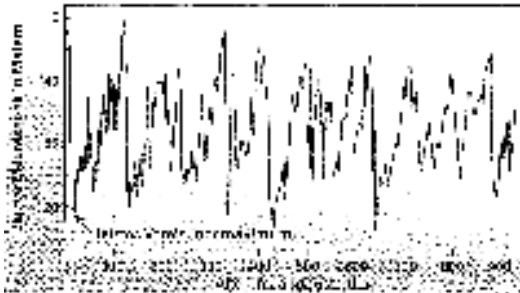


Abb. 3: Relative Meeresspiegelhöhen seit 950.000 Jahren (aus Duplessy 2003, S. 22)

Die Globaltemperatur lag 6°C tiefer als heute. Die Abkühlung erfasste vor allem den Nordatlantik-Raum und Japan. In den Tropen war sie geringer. Dicke Eisschilde bedeckten Kanada, Grönland, die Nordmeere und Nordeuropa. Wegen der niedrigen Temperatur waren Verdunstung und Niederschläge sehr gering. Die Atmosphäre war so trocken, dass sich überall auf den Kontinenten Wüsten ausbreiteten (Duplessy 2003).

Die Dicke des Eisschildes erreichte in Kanada und Nordeuropa 3-4 km Höhe. Diese Eismasse übte einen so starken Druck auf das kristalline Grundgebirge des Skandinavischen Schildes aus, dass dieses in den zähflüssigen Erdmantel, die Asthenosphäre, eingedrückt wurde und dabei um 800 m absank. Seit dem Abtauen des Eises hebt sich das Land wieder um einige Millimeter pro Jahr (isostatische Ausgleichsbewegung, Glazialisostasie). Diese Hebung, die viele tausend Jahre dauert, lässt sich anhand gehobener mariner Terrassen rekonstruieren. Wie Messungen ergeben, hält diese Hebung heute noch an.

Die letzte Eiszeit endete ziemlich plötzlich vor 11.500 Jahren. Die Hälfte der Erwärmung seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit, nämlich ein Temperaturanstieg von mehr als 10°C, erfolgte in nur einem Jahrzehnt (Alley 2005, S. 42).



Da das Abschmelzen der Gletscher am Ende der letzten Eiszeit viel schneller erfolgte, als die Hebung des entlasteten Landes, kam es nach der Eiszeit zur Überflutung weiter Gebiete (vgl. Lexikon der Geographie Bd. 2, 2002, S. 186).

Zwischen den vier Eiszeiten (Glaziale) bestanden Warmzeiten (Interglaziale). Die beiden Interglaziale der beiden letzten nördlichen Vereisungen werden als Holstein-Warmzeit und Eem-Warmzeit bezeichnet (s. Tabelle 1). In der Eem-Warmzeit, die von 128.000 bis 115.000 Jahre vor heute dauerte (Siegert u.a. 2005, S. 64), war die Globaltemperatur höher als heute und der Meeresspiegel lag 5 – 6 m höher als heute (Hansen 2005, S. 54). Gegenwärtig leben wir in der Flandrischen Warmzeit, an die sich in einigen tausend Jahren die nächste Eiszeit anschließen wird.

Gliederung des Quartärs		
Holozän		11.500 Jahre bis heute
	Weichsel-Kälte	118.000 - 11.500 Jahre
Pleistozän	Eem-Warmzeit	127.000 - 118.000 Jahre
	Würme	
Pleistozän	Saale-Eiszeit	80.000 - 12.000 Jahre
	Intertine	
	Holstein-Warmzeit	425.000 - 230.000 Jahre
	Eiszeit	500.000 - 425.000 Jahre
	Neanderthaler	730.000 - 600.000 Jahre
Pleistozän	Altpleistozän	7,4 Mio. - 230.000 Jahre

Tabelle 1: Gliederung des Quartärs (aus Vespermann 1999, S. 43)

Jede der drei bzw. vier Eiszeiten gliederte sich in Einzelvorstöße, die Stadien. Zwischen je zwei Stadien liegt ein Rückzugsphase, das Interstadial. So weiß man z. B., dass im Drenthestadium der Saale-Eiszeit vor etwa 245.000 Jahren die maximale Ausdehnung des Eises der Saale-Eiszeit erfolgte und das Inlandeis den Harzrand bei Seesen erreichte (s. Abb. bei Feldmann 1999, S. 100). Während der Weichsel-Eiszeit stießen die Gletscher dreimal vor und zogen sich wieder zurück.

### Wie ermittelt man Temperaturen vergangener Erdzeitalter?

In Deutschland betrug die mittlere Jahrestemperatur im Eozän 21°C, im Oligozän 18°C und im Pliozän 14°C. Heute beträgt sie 8-9°C. Woher weiß man das so genau? Die Bestimmung früherer Temperaturen ist möglich durch zwei Methoden:

#### 1. Nachweis kälteliebender und wärmeliebender Organismen

Die Paläontologen John Imbrie und Nilva Kipp (Universität Providence, USA) entwickelten eine Methode zur statistischen Analyse der fossilen Fauna in Bohrkernen. Sie registrierten in den einzelnen Sedimentschichten die Häufigkeit von Arten, von denen man weiß, ob sie im warmen oder kalten Wasser leben. Auf diese Weise konnten sie die Oberflächentemperatur des Meeres, in dem die Tiere gelebt hatten, bis auf rund 1 Grad genau bestimmen (Duplessy 2003).



## 2. Datierung von Vereisungen mit Sauerstoff-Isotopen

### 2.1 Sauerstoff-Isotope in Kalkskeletten fossiler Organismen

Organismen bauen Außenskelette aus Kalk auf (Kalziumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ ). Die hier eingebauten Sauerstoffmoleküle sind die Isotope  $^{18}\text{O}$  und  $^{16}\text{O}$ , die je nach Bildungstemperatur in einem bestimmten Verhältnis im Kalk vorliegen. Kennt man dieses Verhältnis, so hat man damit die Temperatur zum Zeitpunkt der Bildung der Kalkkristalle. Inzwischen liegen sehr viele Vergleichsdaten aus allen Teilen der Welt vor, die die oben genannten klimatischen Daten stützen (vgl. Vespermann 1999, S. 45).

### 2.2 Sauerstoff-Isotope in Eisbohrkernen

In den frühen 1990er Jahren zog man Eisbohrkerne aus dem Eisschild Grönlands, die aneinandergelagert fast 3 km lang sind und Informationen über das Klima der letzten 110.000 Jahre liefern. Durch später gezogene, noch längere Eisbohrkerne der Antarktis kann man das Klima der letzten 400.000 Jahre rekonstruieren. Im Eis kann man Jahresschichten unterscheiden. Aus dem Anteil der Sauerstoffisotope im Eis kann man die Temperatur ableiten, bei der es gebildet wurde. Aus der Dicke der Jahresschichten kann man auf die Jahresniederschläge schließen (vgl. Alley 2005).

Mit Hilfe der Sauerstoff-Isotopenbestimmung kann man heute für die letzten 1,8 Millionen Jahre etwa 30 Warmzeiten und 30 Kaltzeiten unterscheiden (Lexikon der Geographie Bd. 2, 2002, S. 298). Das heißt, dass man außer den 4 Glazialen auch deren Untergliederungen, die Stadien, kennt und darüber hinaus auch noch weniger extreme Kalt- und Warmzeiten vor den 4 Glazialen nachgewiesen hat. Innerhalb der letzten 600.000 Jahre dominierte ein Kaltzeit/ Warmzeit-Zyklus von 100.000 Jahren, davor dominierte ein 40.000-Jahreszyklus (a. a. O., S. 298). Die mit der Isotopenmethode ermittelten Temperaturschwankungen seit 420.000 Jahren zeigt Abb. 4.

## Wie weist man die Eismengen früherer Eiszeiten nach?

Nicholas Shackleton (Universität Cambridge) zeigte, dass das Mengenverhältnis zwischen Sauerstoffatomen der Massen 18 und 16 ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) in Foraminiferen (Einzeller mit poröser Kalkschale) vor allem davon abhängt, wie viel Wasser in Form von Eiskappen auf den Kontinenten gebunden ist. Wassermoleküle mit  $^{16}\text{O}$  verdunsten nämlich schneller als die mit  $^{18}\text{O}$ , weil sie leichter sind. Der Wasserdampf der Atmosphäre ist deshalb mit  $^{16}\text{O}$  angereichert – und damit auch der Schnee, der auf die Eiskappen fällt. Je mächtiger diese sind, desto weniger  $^{16}\text{O}$  und desto mehr  $^{18}\text{O}$  enthält das im Meer verbliebene Wasser. Die Isotopenverteilung im Meerwasser bestimmt aber – neben der Temperatur – das  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis der Schalen von Foraminiferen, die in diesem Wasser leben. Shackleton analysierte diese Schalen in Bohrkernen aus Regionen, wo die Wassertemperaturen nahe am Gefrierpunkt liegen und auch in der Vergangenheit nie höher gewesen sein dürften. Die erhaltenen Isotopenkurven spiegeln die Schwankungen des  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisses im Ozean und damit das jeweilige Volumen der Eiskappen wider (nach Duplessy 2003).

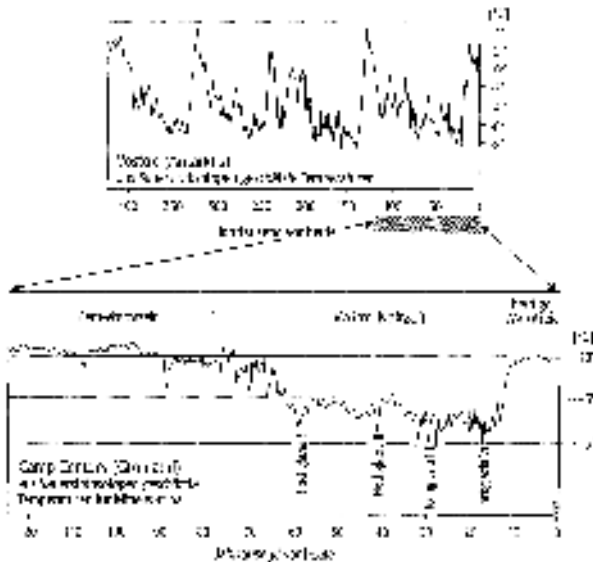


Abb. 4: Schwankungen der Temperaturen der letzten 420.000 Jahre nach Sauerstoff-Isotopenmessungen im Eis der Antarktis und Grönlands auf unterschiedlichen Zeitskalen (aus Lexikon der Geographie, Bd. 2, 2002, S. 236)

### Ältere Eiszeiten

In den meisten Erdzeitaltern waren die Polkappen eisfrei, und in den mittleren Breiten herrschte ein wärmeres Klima als heute. Eiszeiten stellen also nur relativ seltene Unterbrechungen der langen Warmphasen dar, haben aber eine große Bedeutung für die Evolution der Organismen, indem sie zum Aussterben zahlreicher Organismengruppen führen und dadurch anderen Gruppen, die an die Kälte besser angepasst sind, neue Entwicklungsmöglichkeiten bieten.

Man fand bisher Spuren von mindestens 5 Eiszeiten, die vor der letzten großen Eiszeit, der pleistozänen Eiszeit, lagen. Zur Einordnung dieser älteren Eiszeiten wird hier die Gliederung der Erdgeschichte wiedergegeben (Tabelle 2).

1. Die Gowganda-Eiszeit vor 2,2 Milliarden Jahren.

Die ältesten Vereisungsspuren fand man in der 2,2 Milliarden Jahre alten Gowganda-Serie in der Cobalt-Gruppe des Huron in Nordamerika. Nahezu gleichaltrig sind Tillite der Witwatersrand-Gruppe in Südafrika.

2. Die große Eiszeit am Ende des Präkambriums vor 750 – 580 Mill. Jahren

Sie betraf alle Kontinente und gliederte sich in 4 Teil-Eiszeiten. Auf ihrem Höhepunkt war die gesamte Erde von Eis überzogen. Man spricht deshalb von einer „Schneeball-Erde“. Sie wird im nächsten Abschnitt genauer dargestellt.



Gliederung der Erdgeschichte		
Kainozoikum	Quartär	2,1 - 100.000 Jahre v. heute
	tertiär	65 - 2,1 Mio. Jahre
Mesozoikum	Kreide	135 - 65 Mio. Jahre
	Jura	205 - 135 Mio. Jahre
	Trias	250 - 205 Mio. Jahre
	Perm	250 - 280 Mio. Jahre
Paläozoikum	Karbon	360 - 280 Mio. Jahre
	Devon	410 - 360 Mio. Jahre
	Silur	435 - 410 Mio. Jahre
	Ordovizium	470 - 435 Mio. Jahre
	Kambrium	570 - 470 Mio. Jahre
Präkambrium		580 - 570 Mio. Jahre
Einsiedlung der Erde 4,6 Milliarden Jahre v. heute		

Tabelle 2: Gliederung der Erdgeschichte (aus Vespermann 1999, S. 42)

### 3. Die Eiszeit im Ordovizium vor 450 Mill. Jahren

Spuren fand man in der Sahara und in Südafrika. Die Vereisung umfasste einen 2000 km breiten Gürtel mit einer Fläche von 8 Mill. km<sup>2</sup>. Afrika war damals Bestandteil des Gondwana-Kontinents, der außer Afrika auch Arabien, Indien, Südamerika, Antarktis, Indien und Australien umfasste und dessen Zentrum am Südpol lag (s. Abb. 5).

### 4. Die permokarbonische Eiszeit vor 300 Mill. Jahren

Sie ereignete sich am Übergang vom Karbon zum Perm im Gondwanaland, das innerhalb von 120 Mill. Jahren über den Südpol wanderte. Der Höhepunkt lag vor 280 Mill. Jahren. Ein großer Teil der vorher lebenden Tiere starb in dieser Eiszeit aus.

### 5. Die Eiszeit zu Beginn der Kreidezeit vor 130 Mill. Jahren

Diese Eiszeit beschränkt sich auf die polaren Regionen. Belege hierfür sind besondere Calcit-Kristalle, die man z. B. im arktischen Kanada fand. Wahrscheinlich war dies der einzige Zeitabschnitt im Mesozoikum, in dem die Polkappen vereist waren.

Generell war das Mesozoikum wärmer als die Gegenwart. Entsprechend üppig war der Pflanzenwuchs, der die Entwicklung sehr großer Dinosaurier begünstigte.

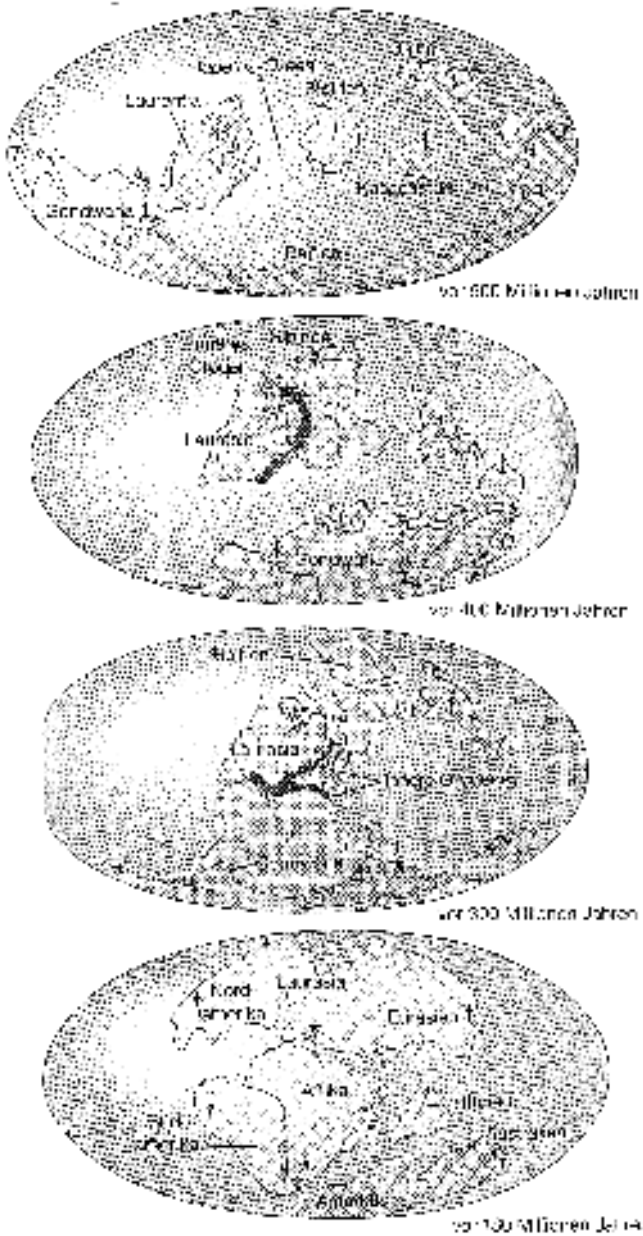


Abb. 5: Die Lage der Kontinente vor 500 bis 180 Millionen Jahren  
(aus Murphy/Nance 1992, S. 56/57)



## Theorien über die Entstehung von Eiszeiten und Warmzeiten

Die Suche nach Ursachen für den Wechsel von Eiszeiten und Warmzeiten gestaltete sich schwierig und ist noch nicht zu Ende. Deshalb wurden im Laufe der Zeit mehrere Hypothesen entwickelt:

### 1. Änderung der Strahlungsintensität der Sonne

Die Solarkonstante ist der außerhalb der Erdatmosphäre in der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne eintreffende, solare Strahlungsstrom. Sein langjähriges Mittel beträgt  $1,368 \text{ kW/m}^2$ . Im Verlauf von Tagen und Wochen schwankt dieser Wert unregelmäßig um 0,2 % des Mittelwertes. Eine Ursache dafür ist die wechselnde Bedeckung der Sonnenoberfläche mit Sonnenflecken, die kühlend wirken, und Fackeln, die die Temperatur erhöhen. Als Ursachen für Eiszeiten und Warmzeiten kommen diese kurzfristigen, kleinen Schwankungen nicht in Betracht.

Dagegen wirken sich langfristige Schwankungen der Sonnenaktivität sehr wohl auf das Klima aus. So ließ eine aktivere Sonne zwischen dem 9. und dem 14. Jahrhundert die Temperatur in Europa um bis zu einem Grad ansteigen (Mittelalter-Warmzeit). Die „Kleine Eiszeit“ von 1550 bis 1850 mit dem Kernbereich von 1600 bis 1800 beruht zu einem großen Teil auf einem Rückgang der solaren Aktivität. Die kühlende Wirkung dieses Rückganges wurde verstärkt durch Vulkanismus. Vulkanischer Staub in der Atmosphäre vermindert die Sonneneinstrahlung. Die Temperatur sank um ein Grad. Missernten führten zu Hungersnöten. Extrem kalte Winter ließen die Flüsse zufrieren (vgl. Körkel 2003, S. 8).

Bei zunehmender Sonnenaktivität verstärkt sich auch der Sonnenwind. Er besteht aus Protonen, Helium-Kerne und anderen Ionen sowie Elektronen und hat eine Geschwindigkeit von 400 km/s. Er wirkt sich zwar nicht direkt auf das Klima aus, weil ihn das Erdmagnetfeld in weitem Bogen um die Erde herumlenkt. Aber er beeinflusst die kosmische Strahlung aus dem Weltall. Diese besteht aus Atomkernen sowie freien Elektronen und Positronen. Die Atomkerne sind zu 87 % Protonen, zu 12 % Heliumkerne und zu 1 % Kerne schwererer Elemente. Die kosmische Strahlung stammt wahrscheinlich überwiegend von Supernovae und Pulsaren innerhalb und außerhalb unserer Galaxie.

Der Sonnenwind verdoppelte in den vergangenen hundert Jahren seine Stärke und reduzierte so die Intensität der auf die Erde auftreffenden kosmischen Strahlung um rund 15 %. Die kosmische Strahlung fördert in der unteren Troposphäre die Wolkenbildung durch Bildung von Kondensationskeimen für Wassertröpfchen. Wenn also die kosmische Strahlung abnimmt, ist die Wolkendecke dünner und hält weniger Sonnenlicht ab. Dadurch steigt die Temperatur an der Erdoberfläche.

Die kosmische Strahlung verändert sich langfristig noch aus einem zweiten Grund. Einer neuen Studie zufolge trifft seit einigen Jahrmillionen weniger kosmische Strahlung auf die Erde als vorher, weil unser Sonnensystem seit dieser Zeit ein relativ sternarmes Gebiet unserer Galaxie passiert. Wandert dagegen das Sonnensystem in das viel dichtere Zentrum eines Spiralarmes, dürfte sich angesichts der dort häufiger vorkommenden Supernovae die Intensität der kosmischen Strahlung verdoppeln. In der Erdatmosphäre entstehen dann mehr Wolken, so dass die Temperaturen am Boden stark sinken.

Die Untersuchung von 42 Eisenmeteoriten, auf denen man Spuren hochenergetischer Teilchen fand, deutet darauf hin, dass es einen Intensitätszyklus der kosmischen Strahlung

von rund 143 Millionen Jahren gibt. Diese Periode passt gut zusammen mit geologischen Erkenntnissen über die Periodizität der Eiszeiten auf der Erde (nach Körkel 2003, S. 9).

## 2. Durchgang des Sonnensystems durch interstellare Nebel

Beim Durchgang des Sonnensystems durch interstellare Nebel könnte sich eine stärkere Abschwächung der Solarkonstante ergeben. Solche Durchgänge sind aber noch nicht nachgewiesen.

## 3. Änderung der Erdbahnparameter

Diese Theorie entwickelte der serbische Geophysiker Milutin Milankovic 1941. Nach dieser Theorie beruhen Klimaänderungen auf periodischen Variationen der Erdumlaufbahn um die Sonne. Dabei spielen drei Faktoren eine Rolle (s. Abb. 6):

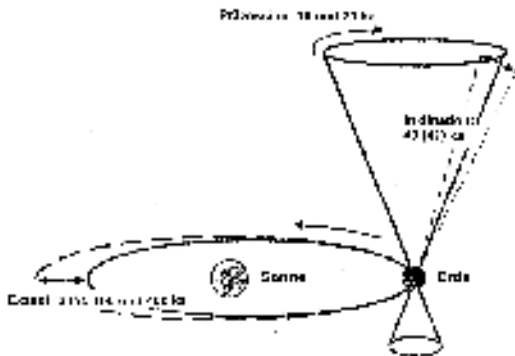


Abb. 6: Darstellung der Erdbahnparameter (aus Vespermann 1999, S. 45)

- 3.1 Formänderung der Erdbahn-Ellipse:** Unter dem Einfluss des Mondes und der anderen Planeten schwankt die Abweichung der Erdbahn von einer Kreisbahn in einem Rhythmus von etwa 100.000 Jahren zwischen 0,5 und 6 %. Starke Exzentrizität (also z. B. 6 %) führt zu starken Temperaturunterschieden zwischen Sommer und Winter auf beiden Halbkugeln.
- 3.2 Änderung der Neigung der Erdachse:** Die Neigung der Erdachse schwankt in einem Rhythmus von 41.000 Jahren zwischen  $22,1^\circ$  und  $24,5^\circ$ . Je geringer die Neigung ist, desto geringere Einstrahlung erhalten die Polarregionen auf beiden Halbkugeln.
- 3.3 Präzession:** Die Erdachse rotiert in einem Rhythmus von 21.000 Jahren um den Pol. Man bezeichnet dies als Präzession. Zusammen mit der Erdumlaufbahn bestimmt diese Bewegung, wann die Sonne am nächsten kommt (Perihel). Die Präzession verstärkt die Temperaturgegensätze auf einer Halbkugel und verringert sie auf der anderen.



Durch diese Schwankungen der Erdbahnparameter variiert – auch bei gleichbleibender Aktivität der Sonne – die pro Flächeneinheit aufgefangene Energiemenge auf der Nordhalbkugel im Sommer. Milankovic berechnete diese Variationen und erklärte sie zur Ursache von Klimaschwankungen. Allerdings hätten sich nach seiner Hypothese im Verlauf der letzten Jahrmillion zahlreiche Gletschervorstöße ereignen müssen. Man kannte damals aber nur die durch Moränen nachgewiesenen vier Vereisungen und die Rückzugsstadien der letzten Vereisung. Deshalb fand seine Theorie bis 1980 nur wenige Anhänger. Dann wurden zwischen 1970 und 1980 zwei wichtige Nachweismethoden entwickelt, nämlich der Nachweis früherer Oberflächentemperaturen der Weltmeere durch Bestimmung der Häufigkeit bestimmter fossiler einzelliger Organismen in Bohrkernen aus Meeres-sedimenten und die Datierung der Kalkschalen solcher Organismen mit der Sauerstoff-Isotopen-Methode (s. Abschnitt über Nachweismethoden).

Die Isotopenanalyse gab damit Aufschluss über Zeitpunkt und Dauer der Vereisungs-perioden. Auf diese Weise ließen sich 1978 etwa 10 große Vereisungen und noch mehr Gletschervorstöße geringeren Ausmaßes nachweisen (s. Abb. 7).

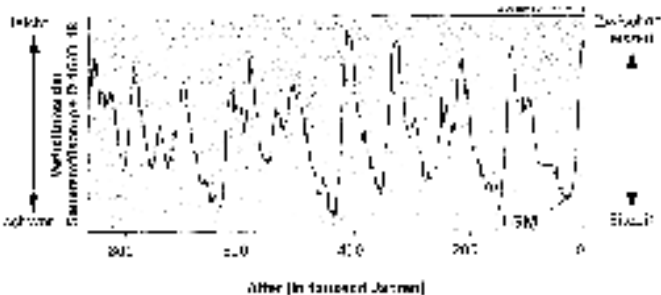


Abb. 7: Kalt- und Warmzeiten der Eiszeit des Pleistozäns nach Analyseder  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisse in Kalkschalen von Organismen des Meeresbodens.

LGM = letztes glaziales Minimum = Weichsel-Eiszeit (aus Siegert u. a. 2005, S. 64)

Ihre Chronologie stimmte gut mit den Berechnungen von Milankovic überein. Für die Glazialzeiten des Pleistozäns könnte die Theorie von Milankovic also zutreffen. Man fand nämlich Klimaänderungen in Abständen von 100.000 Jahren, entsprechend der Periode der Formänderung der Erdbahn (s. Abschnitt 3.1), 40.000 Jahren, wie die Periode der Änderung der Neigung der Erdachse (3.2) und 20.000 Jahren, wie die Periode der Präzession (3.3).

Wenn sich die Wirkungen von zwei oder drei Parametern zu einer bestimmten Zeit addieren, ist die entsprechende Klimaänderung (Abkühlung oder Erwärmung) stärker als wenn sie ganz oder teilweise entgegengesetzt wirken. Deshalb ist die Form der Klimakurve in Abb. 7 nicht so regelmäßig wie die Perioden der Erdbahnparameter zunächst erwarten lassen.

Allerdings sind die Schwankungen der Erdbahnparameter für sich betrachtet viel zu gering (nur wenige Prozente) um allein die bekannten Eiszeiten auszulösen. Wahrscheinlich tragen zwei Verstärkermechanismen dazu bei, dass aus kleinen Ursachen große Wirkungen werden:



1. Eis-Albedo-Feedback: Helle Flächen haben ein stärkeres Rückstrahlvermögen (Albedo) als dunkle. Schnee- und Eisflächen reflektieren einen großen Teil der Wärmestrahlung der Sonne und wirken deshalb kühlend auf die Atmosphäre. Dadurch vergrößern sich die Schnee- und Eisflächen, wodurch sich die Abkühlung weiter verstärkt.
2. Rückgang der Treibhauswirkung durch  $\text{CO}_2$ -Verminderung: Aus noch nicht ganz geklärten Gründen sinkt während der Kaltzeiten die Konzentration des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ . Ursache ist möglicherweise der bei niedrigen Temperaturen nur langsam laufende Abbau organischer Substanz durch Bakterien und Pilze. Dadurch wird weniger  $\text{CO}_2$  freigesetzt, als durch Photosynthese gebunden wird. Das zeigt die Vegetation in den kalten und kühl-gemäßigten Zonen der Erde. Dort läuft während der langen Tage in den Sommermonaten intensiv die Photosynthese, aber ein großer Teil der abgestorbenen Pflanzenteile verbleibt wegen der Kälte als nur teilweise abgebaute organische Substanz (Rohhumus, Torf) im Boden und häuft sich dort an, so dass nur wenig  $\text{CO}_2$  freigesetzt wird. In den gemäßigten Zonen werden dagegen am Boden Blätter in ca. 2 Jahren und Holz der Baumstämme in ca. 15 Jahren zersetzt. In den immerfeuchten, heißen Tropen erfolgt der Abbau von Blättern und Holz zu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  und Mineralstoffen sogar so schnell, dass sich das Zwischenprodukt Humus gar nicht bildet. Der Boden des tropischen Regenwaldes enthält deshalb keinen Humus. Und die Mineralstoffe des Bodens werden von den Pflanzen so schnell aufgesogen und in ihre organische Substanz eingebaut, dass der Boden, die Bleicherde, nur sehr wenig Mineralstoffe enthält.

Wenn sich also in kalten Regionen der  $\text{CO}_2$ -Gehalt vermindert, verringert sich dessen Treibhauseffekt, so dass die Abkühlung fortschreitet, bis sich  $\text{CO}_2$  aus anderen Quellen, z. B. aus Vulkanen in der Atmosphäre anreichert.

Die Schwankungen der Erdbahnelemente erfolgten ständig während der gesamten Erdgeschichte. In dieser kamen aber auch sehr lange Warmzeiten vor - ohne dazwischen liegende Eiszeiten - so z. B. während fast des ganzen Mesozoikums. Nach der relativ milden Eiszeit zu Beginn der Kreidezeit herrschte während der übrigen 65 Millionen Jahre der Kreidezeit ein tropisches Treibhausklima. Das kann die Theorie von Milankovic nicht erklären.

Man suchte deshalb auch nach terrestrischen Ursachen des Klimawandels.

#### 4. Terrestrische Ursachen

Mehrere Autoren gehen heute davon aus, dass die Eiszeiten überwiegend auf terrestrische Ursachen zurückgehen.

**4.1 Kontinentalverschiebung:** Wenn sich große Landmassen in Polnähe befinden, können sich dort große Eisschilde ausbilden. Wenn dagegen Meer die Polregion bedeckt, können Meeresströmungen wärmeres Wasser zuführen und kaltes abführen, so dass sich kein dauerhafter Eispanzer ausbildet. Schnee und Eis haben ein starkes Rückstrahlvermögen (Albedo). Große, mit Schnee bedeckte Eisschilde (wie auf der Antarktis und auf Grönland) kühlen deshalb die Atmosphäre ganz erheblich. Das ständige Abfließen von Eis mit Bildung großer Eisberge kühlt zusätzlich die umliegenden Ozeane.



**4.2 Entstehung von Hochgebirgen:** Die Entstehung von Hochgebirgen in Amerika, Europa und Asien seit dem Tertiär hat einen starken Einfluss auf die atmosphärische Zirkulation sowie auf die Verwitterung und Abtragung von Gestein. Je höher ein Gebirge aufragt, desto stärker steigen Luftmassen auf und desto stärker wird der Niederschlag, wenn die Luft vom Meer kommend genügend viel Wasserdampf enthält. Je höher ein Gebirge aufragt, desto schneller wirken auch Verwitterung und Abtragung in Verbindung mit entsprechend starken Niederschlägen. Verstärkte chemische Verwitterung könnte zu einer Reduzierung des atmosphärischen  $\text{CO}_2$  geführt haben, denn bei der chemischen Verwitterung werden Calcium-Ionen frei, die mit den aus  $\text{CO}_2$  und Wasser gebildeten Hydrogencarbonat-Ionen das schwerlösliche Calciumcarbonat (Kalk) bilden, das auf dem Meeresboden sedimentiert.

Man analysierte Luftproben, die in den Eisbohrkernen aus den polaren Eiskappen in kleinen Bläschen eingeschlossen sind. Dabei fand man, dass die Luft während der Eiszeiten viel weniger  $\text{CO}_2$  und Methan enthielt als während der Warmzeiten. Da beide Gase Treibhausgase sind, führt eine starke Verminderung dieser Gase in der Atmosphäre während der Eiszeiten zu einer zusätzlichen Abkühlung (Duplessy 2003, S. 22).

Der Übergang von einer Eiszeit zu einer Warmzeit lässt sich sowohl mit der Theorie von Milankovic als auch mit terrestrischen Theorien erklären.

Da während einer Vereisung die chemische Verwitterung nachlässt, wird damit auch weniger  $\text{CO}_2$  in den Kalkablagerungen der Meeressedimente gebunden. Die Vulkane stoßen aber unvermindert  $\text{CO}_2$  aus. Sobald dessen Konzentration in der Atmosphäre einen bestimmten Wert erreicht, wird die Treibhauswirkung so stark, dass das Abschmelzen der Gletscher beginnt. Beschleunigt wird dieser Prozess durch das Kleinerwerden der weißen Flächen, wodurch die von der Erde absorbierte Menge an Strahlungsenergie der Sonne ansteigt.

### 4.3 Der Einfluss von Meeresströmungen

In den Weltmeeren existiert ein weltumspannendes Zirkulationssystem, das wie ein gigantisches Förderband wirkt. Es verfrachtet warmes Oberflächenwasser in den Nordatlantik, wo es zur Erwärmung der Atmosphäre in ganz West- und Mitteleuropa beiträgt.

Warmes Oberflächenwasser strömt nach Norden, kühlt sich dabei ab und sinkt nördlich von Island in die Tiefe, wenn es auf  $4^\circ\text{C}$  abgekühlt ist, weil es bei  $4^\circ\text{C}$  seine größte Dichte hat und auf Grund seines Salzgehaltes, der größer ist als der des Polarwassers, schwerer als dieses bei gleicher Temperatur ist. Als Tiefenwasser strömt es wieder nach Süden bis zur Antarktis und in den Indischen und den westlichen Pazifischen Ozean, steigt dort auf, erwärmt sich, kehrt als Oberflächenströmung in die Südhalbkugel zurück, kühlt sich dabei ab, strömt als kalte Strömung an Südwestafrika vorbei in den Golf von Mexiko, erwärmt sich dort und strömt als warmer Golfstrom wieder in den Nordatlantik (s. Abb. 8).

Die Dichte von Meereswasser hängt von der Temperatur und vom Salzgehalt ab. Reines Wasser hat seine größte Dichte bei  $4^\circ\text{C}$  und  $1\text{ cm}^3$  Wasser wiegt dann genau  $1\text{ g}$ . Salzhaltiges Wasser ist schwerer als reines Wasser, hat also bei  $4^\circ\text{C}$  eine Dichte  $> 1$  und sinkt deshalb ab, wenn es durch eine Strömung über ebenso kaltes, aber salzärmeres Wasser gelangt.

Wenn salzhaltiges Wasser erwärmt wird, sinkt seine Dichte. So ist es möglich, dass Wasser mit einem bestimmten hohen Salzgehalt und einer bestimmten weit über 4°C liegenden Temperatur ebenso schwer ist wie Wasser eines bestimmten niedrigeren Salzgehaltes und einer niedrigeren Temperatur. In diesem Fall sinkt keines der beiden Wässer ab.

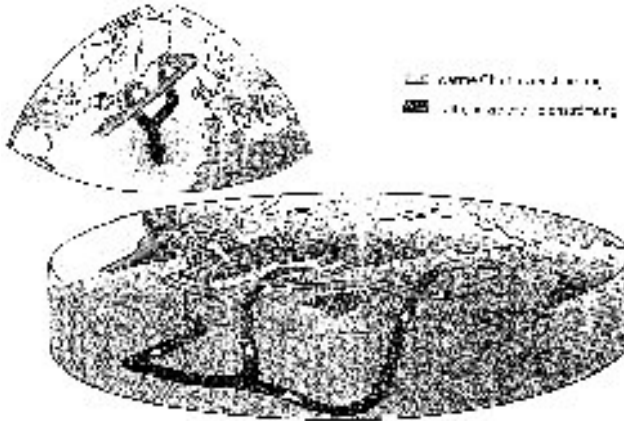


Abb. 8: Haupt-Meereströmungen an der Oberfläche und in den Tiefen der Ozeane (aus Duplessy 2003, S. 24)

Es stellt sich die Frage, ob der Golfstrom in den Eiszeiten schwächer war oder gar nicht existierte. Der Paläoklimatologe Duplessy und seine Mitarbeiter fanden eine Methode, um das nachzuweisen. Meereswasser enthält an der Oberfläche  $\text{CO}_2$  mit einem bestimmten Verhältnis der beiden Kohlenstoff-Isotope  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ . Nach dem Absinken im Nordatlantik strömt es durch sämtliche Weltmeere und nimmt dabei organische Reste aus abgestorbenem Plankton auf, die von oben herab rieseln. In deren Kohlenstoff ist das Verhältnis  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  zugunsten von  $^{12}\text{C}$  verändert, weil Photosynthese treibende Organismen (Algen, grüne Pflanzen) bevorzugt  $\text{CO}_2$  mit  $^{12}\text{C}$  aufnehmen. Beim Abbau der organischen Reste (Detritus) durch Bakterien wird  $\text{CO}_2$  frei, das folglich relativ wenig  $^{13}\text{C}$  enthält. Je weiter sich das Tiefenwasser von seinem Ursprungsort entfernt, desto mehr Detritus nimmt es auf und desto tiefer sinkt der  $^{13}\text{C}$ -Gehalt des gelösten  $\text{CO}_2$ . Foraminiferen der Tiefsee, die auf dem Meeresgrund leben, bauen aus diesem  $\text{CO}_2$  und Calcium-Ionen ihre Kalkschalen auf und konservieren so das momentane  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis dieses Kohlendioxids. Analysiert man das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis fossiler Kalkschalen der Foraminiferen in Bohrkernen des Meeresbodens, kann man die frühere weltweite Meereswasserzirkulation rekonstruieren. Diese Rekonstruktionen zeigen, dass in Kaltzeiten das Meerwasser-Förderband nur sehr abgeschwächt funktionierte. Obwohl weiterhin im Nordatlantik Wasser absank, nahm seine Menge während der letzten Vereisungsperiode (Weichsel-Eiszeit) um etwa die Hälfte ab.

Ursache dieser Abnahme ist die geringere Dichte des Oberflächenwassers, das wegen der tieferen Temperaturen weniger verdunstete, so dass der Salzgehalt relativ niedrig blieb. Bei nachlassendem Förderband versiegte auch der Wärmestrom Richtung Nordatlantik, was zu den niedrigen Temperaturen auf der Nordhalbkugel beitrug (Duplessy 2003, S. 23).



## Wie entstanden die schnellen Temperaturwechsel in der letzten Eiszeit?

Eine 1993 in Grönland durchgeführte Bohrung zeigte, dass sich die Jahresmitteltemperatur der Luft an einem Ort manchmal in weniger als einem Jahrhundert um 10° bis 20°C ändern kann. Diese Sprünge erfolgen in Zyklen: Auf eine schnelle, zunehmende Abkühlung folgt eine Phase extremer Kälte und nach höchstens einigen Jahrtausenden eine ebenso rasche Erwärmung. Mehr als ein Dutzend solcher großen Oszillationen traten während der letzten Vereisung auf.

Die Ursache wurde erst 1998 von Gerard Bond und Mitarbeitern (Columbia-Universität in New York) und Labeyrie (Frankreich) gefunden: Die großen Gletscher Europas und Nordamerikas setzten in gewissen Zeitabständen große Mengen Eisberge frei. Diese schmolzen und ließen auf ihrer Zugbahn den mitgeführten Gesteinsschutt zurück. Er bildet heute noch durchgängige Schichten in den Sedimenten des Nordatlantiks. Die schmelzenden Eismassen hinterließen eine salzarme Wasserschicht, die im Nordatlantik das salzigere und damit dichtere Meerwasser überdeckte und dessen Absinken behinderte. Dadurch verlangsamte sich das Förderband der Meeresströmungen und kam sogar vorübergehend zum Stillstand. Das führte zu einem dramatischen Kälteeinbruch. Sobald sich das Schmelzwasser mit dem Meerwasser vermischt hatte, setzte die ozeanische Zirkulation wieder ein. Dann strömten wieder tropische Wassermassen nach Norden und sorgten für rasch steigende Temperaturen in Europa, Grönland und Nordamerika (nach Duplessy 2003).

Ungeklärt ist noch, weshalb zu Beginn der Vereisungen jeweils so reichlich Schnee fiel, dass sich in weniger als 10.000 Jahren so gewaltige Eismassen auf der Nordhalbkugel ansammeln konnten.

## Die Schneeball-Erde vor 600 Millionen Jahren

In der Zeit von 750 bis 580 Millionen Jahren vor heute, also im jüngeren Präkambrium (Neoproterozoikum), war die gesamte Erde von einem Eispanzer bedeckt, der auf den Kontinenten mehrere Kilometer dick war und auch die Ozeane völlig bedeckte (s. Abb. bei Hoffmann/Schrag 2000, S. 62/63).

Die mittlere Oberflächentemperatur der Erde, die heute 15°C beträgt, lag damals bei -50°C. Diese Eiszeit war die schwerste der gesamten Erdgeschichte. Niemals vorher oder nachher gab es eine derart extreme Vereisung (vgl. Hoffmann/Schrag 2000). Diese Erkenntnis ist inzwischen allgemein anerkannt (vgl. Campbell/Reece 2003, S. 612, Duplessy 2003, S. 25).

Vor dieser Vereisung waren die Gewässer der Erde fast überall besiedelt mit Bakterien, darunter die Photosynthese betreibenden Cyanobakterien („Blualgen“), Archebakterien und seit 2,2 Milliarden Jahren auch mit eukaryotischen Einzellern, darunter vor allem Algen. Vor 1,2 Milliarden Jahren traten die ersten mehrzelligen Organismen auf (vgl. KORONA 98, S. 30). Aber dann setzte mit dieser Globalvereisung das große Sterben von Organismen ein. Das Eis war an den meisten Stellen so dick, dass das Sonnenlicht nicht das darunter liegende Wasser der Ozeane oder der tiefen Binnenseen erreichte, so dass die Photosynthese wohl nur an wenigen Stellen mit dünnerer Eisbedeckung und auch dort nur „auf Sparflamme“ stattfinden konnte. Von Algen, die die Eiszeit an diesen Stellen überlebten, dürften alle heute auf der Erde lebenden grünen Pflanzen abstammen.

An den meisten Stellen der Ozeane bildeten die wenigen Bakterienarten, die zur Chemosynthese fähig waren, also durch Spaltung anorganischer Verbindungen Energie gewinnen konnten, den Anfang des Nahrungsnetzes. Wegen der niedrigen Wassertemperaturen von  $-1^{\circ}\text{C}$  unter dem Eis bis  $+4^{\circ}\text{C}$  in der Tiefe erfolgte ihr Wachstum nur langsam.

Am besten gediehen wohl Organismen in der Nähe der wenigen untermeerischen heißen Quellen und Vulkanschlote, der „schwarzen Raucher“, die das Wasser der Tiefsee in einem kleinen Bereich bis auf  $300^{\circ}\text{C}$  aufheizen. Von der Schlotmitte bis zu einer Entfernung von mehreren Metern oder Dekametern (je nach Schlotgröße) sinkt dann die Wassertemperatur von  $300^{\circ}\text{C}$  bis auf  $4^{\circ}\text{C}$  ab. Seit den 1970er Jahren fand man thermophile Bakterien, die in der Nähe solcher heißen Stellen bei Temperaturen bis  $125^{\circ}\text{C}$  leben. Sie erreichen bei  $100^{\circ}\text{C}$  ihre höchste Produktivität.

Wenn solche Bakterien in die etwas kühlere Umgebung abgetrieben werden, können sie dort von zahlreichen Einzellern als Nahrung aufgenommen werden. Von solchen Einzellern leben dann kleine mehrzellige Tiere. Da aber solche Produktionszonen nur winzige Lebensinseln in den vereisten Ozeanen bildeten, war die produzierte Biomasse insgesamt äußerst gering, so dass sich größere Organismen nicht bilden konnten. Die Evolution wurde also während der gesamten Eiszeit stark eingeschränkt. Nur die wenigen Mutanten überlebten, die an die extremen Bedingungen angepasst waren.

Woher weiß man das alles? Erste Hinweise auf diese Eiszeit veröffentlichte W. B. Harland von der Universität Cambridge 1964. Er wies darauf hin, dass Gletscherschutt-Ablagerungen im neoproterozoischen Gestein aller Kontinente vorkommen. Seit 1992 fanden Hoffmann und Schrag an den Felsklippen der Küste Namibias weitere Indizien, mit deren Hilfe man die Klimageschichte des Neoproterozoikums genauer rekonstruieren kann:

1. Aus der magnetischen Ausrichtung der Mineralkörner der proterozoischen Sediment-Gesteine kann man schließen, dass damals alle Kontinente in der Nähe des Äquators lagen. Gletscherabraum dieser tropischen Kontinente fand man bis in Höhe des damaligen Meeresspiegels. In der letzten Eiszeit gingen dagegen die Tropengletscher nur bis auf 4000 m Höhe herab, auf dem Kilimandscharo liegen sie heute in 5600 – 5895 m Höhe.
2. Der Gletscherschutt ist mit Eisenbändertonen vermischt, die sich nur bilden konnten, wenn Ozeane im Neoproterozoikum wenig oder gar keinen Sauerstoff enthielten. Die Photosynthese war also in dieser Zeit unter dem Eis zum Erliegen gekommen.
3. Kohlenstoff-Isotope in den Gesteinen weisen darauf hin, dass die biologische Produktivität damals minimal war und in weiten Bereichen ganz fehlte.  $\text{CO}_2$ , das aus Vulkanen ins Meer gelangt, enthält nur 1 % Kohlenstoff 13 und 99 % Kohlenstoff 12.
4. Bei der Photosynthese wird das Isotop  $^{12}\text{C}$  gegenüber  $^{13}\text{C}$  bevorzugt. Folglich hat der verbleibende Kohlenstoff, der für die Carbonat-Bildung zur Verfügung steht, in einem belebten Ozean ein höheres Verhältnis von  $^{13}\text{C}$  zu  $^{12}\text{C}$  als frisch aus Vulkanen freigesetztes  $\text{CO}_2$ . In Namibia sinkt der Gehalt an  $^{13}\text{C}$  auf den typischen Wert für  $\text{CO}_2$  vulkanischen Ursprungs. Das zeigt, dass die biologische Produktivität stark zurück ging, weil sich die Ozeane in hohen Breiten mit Eis bedeckten.



Während das Entstehen dieser Eiszeit ein allmählicher Prozess war, erfolgte ihr Ende sehr schnell. Das schließt man aus der Tatsache, dass unmittelbar über dem Eiszeitschutt an den Felsklippen Namibias Sedimente lagern, in denen Calcium- und Magnesiumcarbonate dominieren. Solche Sedimente bilden sich aber nur in warmen Flachmeeren. Sie sind die einzigen Gesteine aus dem Neoproterozoikum, die große Fächer aus Aragonit-Kristallen aufweisen, wie sie bei schneller Carbonat-Ablagerung entstehen (s. Farbfoto in Hoffmann/Schrag 2000, S. 61). Die große Mächtigkeit der Carbonat-Schichten deuten Hoffmann und Schrag als Hinweis auf extreme Treibhausbedingungen, die sich nach der extremen Eiszeit einstellten. Zeitweilig sollen die Oberflächentemperaturen +50°C erreicht haben. Gewisse Strukturen, die sich in den Carbonat-Decken Namibias erhalten haben deuten darauf hin, dass deren Sedimentation vielleicht nur wenige tausend Jahre beanspruchte. Dies deutet darauf hin, dass danach das extreme Treibhausklima durch ein Klima mit mittleren Temperaturen, wie wir sie heute vorfinden, abgelöst wurde.

**Wie kam es zur kambrischen Explosion der Tierwelt?**

Die extreme Eiszeit mit einer anschließenden extremen Warmzeit erklärt auch, weshalb bis zum Ende des Präkambriums nur wenige Formen mehrzelliger Organismen existierten, während zu Beginn des Kambriums eine explosionsartige Vermehrung der Formenvielfalt der Organismen, besonders der Tiere erfolgte, die man deshalb als "kambrische Explosion" bezeichnet. Alle 11 Tierstämme entstanden in der relativ kurzen Zeit von 50 Millionen Jahren (s. Abb. 9).

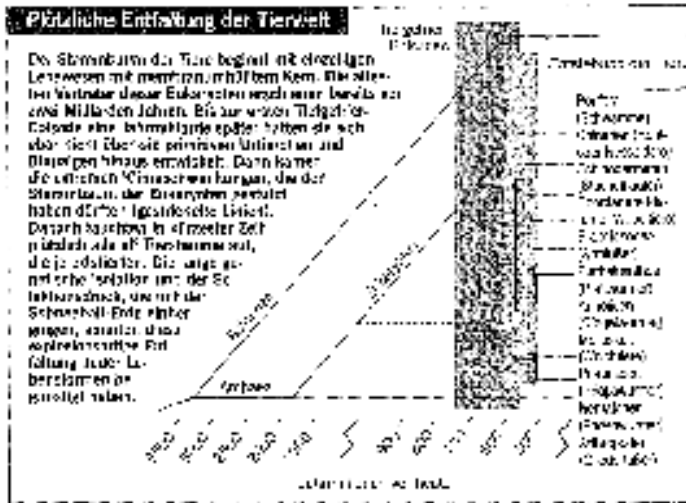


Abb. 9: Die plötzliche Entfaltung der Tierwelt im Kambrium nach der strengen Eiszeit am Ende des Präkambriums (aus Hoffmann/Schrag 2000, S. 64)

Zusätzlich entstanden weitere Tiergruppen, die überwiegend noch im Kambrium wieder ausstarben. „Die kambrische Explosion“ vor rund 570 bis 520 Mio. Jahren stellt die wohl dramatischste Veränderung der Organismenwelt in der gesamten Erdgeschichte dar.“ (Lexikon der Geographie Bd. 2, 2002, S. 196).

Offensichtlich erfolgten während der extremen Vereisung bei den bis dahin noch sehr einfach gebauten und sehr kleinen Organismen zahlreiche Mutationen. Aber nur die am besten an die extremen Bedingungen, also an die Eiseskälte und an die extreme Hitze an einigen untermeerischen, heißen Schloten angepassten Organismen blieben erhalten. Lebensformen, die während der Tiefkühlphase an weit voneinander entfernten heißen Quellen am Meeresgrund überlebten, konnten sich über Jahrtausende weit auseinander entwickeln. Als dann das Klima schnell extrem warm wurde, erhöhte sich die Produktion von Biomasse sehr schnell, denn bei Erhöhung der Temperatur um 10°C verdoppelt sich die Reaktionsgeschwindigkeit. Folglich kam es zu einer Massenvermehrung und damit auch zu zahlreichen Mutanten, von denen sehr viele wegen der günstigen Bedingungen erhalten blieben. Die Formenexplosion ging dann, als das extrem heiße Klima in ein gemäßigttes Klima überging, in die langsame Evolution über, die wir von Zeiten mit gemäßigttem Klima kennen. Allerdings wurde sie noch mehrfach durch Warmzeiten beschleunigt und durch Eiszeiten weniger extremen Ausmaßes sowie durch den Asteroideneinschlag vor 65 Millionen Jahren, in dessen Folge die Dinosaurier ausstarben, verzögert.

### Wo liegen die Ursachen der extremen Vereisung?

Hoffmann und Schrag (2000) nehmen an, dass der Auslöser der neoprotozoischen Eiszeit die Anordnung aller damaligen Kontinente in Äquatornähe war.

Die Kontinente schlossen sich auf Grund der Kontinentalverschiebung wahrscheinlich alle 500 Millionen Jahre zu einem Superkontinent zusammen, der 100 Millionen Jahre lang besteht und dann wieder in Einzelkontinente zerfällt, die nach 400 Millionen Jahren wieder einen Superkontinent bilden (vgl. Murphy/Nance 1992). Diese Zahlen sind grobe Mittelwerte, die sich mit dem Fortschreiten der Forschung noch ändern können. Der letzte Superkontinent Pangäa begann vor 200 Millionen Jahren in die heutigen Kontinente zu zerfallen. Der vorletzte Superkontinent zerfiel offensichtlich vor über 800 Millionen Jahren in Kontinente, die sich allmählich in Äquatornähe anordneten (s. Abb. 10).

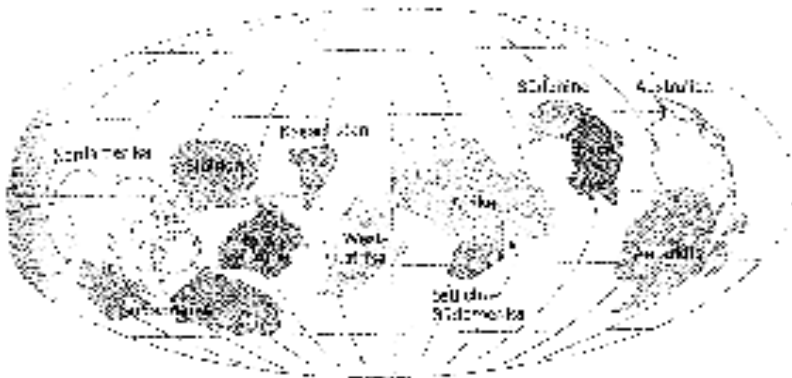


Abb. 10: Die Verteilung der Landmassen während der globalen Vereisung vor 600 Millionen Jahren (aus Hoffmann/Schrag 2000, S. 61)



Hoffmann und Schrag stellen nun folgende Theorie zur Entstehung der extremen Eiszeit und zu ihrem plötzlichen Ende vor:

1. Als der vorletzte Superkontinent noch bestand, waren die Niederschläge über der großen Landmasse relativ gering. Es wurde deshalb nur wenig von dem  $\text{CO}_2$ , das Vulkane emittieren, ausgewaschen und ins Meer geführt. Nur die Polgenden waren vereist. Die Sonneneinstrahlung war 7 % geringer als heute, aber der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre war höher als heute, so dass das  $\text{CO}_2$  durch seine Treibhauswirkung die geringere Solarkonstante kompensierte.
2. Als dann der Superkontinent vor 770 Mill. Jahren in mehrere Kontinente zerfiel, die sich in Äquatornähe anordneten, erhöhte sich wegen der kürzeren Entfernungen zu den Küsten der tropische Niederschlag über den Kontinenten. Verstärkte Niederschläge wuschen mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre aus und lassen die kontinentalen Gesteine schneller verwittern. Infolgedessen sinken die Temperaturen weltweit und dicke Eisschichten überziehen die polnahen Ozeane. Das weiße Eis und der das Eis bedeckende Schnee haben eine viel höhere Albedo, reflektieren also mehr Sonnenstrahlung als das dunkle Meerwasser, so dass die Temperatur weiter sinkt.
3. Je weiter die Gletscher in Richtung Äquator vorrücken, desto schneller steigt die Albedo der Erde, da die direkte Sonneneinstrahlung mit zunehmendem Abstand von den Polen eine immer größere eisbedeckte Landfläche je Breitengrad überstreicht.
4. Da aber die äquatornahen Kontinente weiterhin eisfrei waren, lief die Bindung des  $\text{CO}_2$  und die Ableitung des Hydrogencarbonats in die Ozeane weiter. Das heißt, der vom  $\text{CO}_2$  verursachte Anteil an der Treibhauswirkung der Atmosphäre blieb gering. Der vom Wasserdampf verursachte Anteil wurde in dem Maße geringer, in dem die Verdunstung von den eisfreien Flächen der Ozeane zurück ging, weil diese kleiner wurden und abkühlten.
5. Der Geophysiker Michail Bodyko (St. Petersburg) berechnete, dass bei einer Vereisung ab dem 30. Breitengrad die Rückkopplung so stark wurde, dass die Oberflächentemperaturen rapide absanken und der ganze Planet innerhalb von 1000 Jahren zufror. (Hoffmann/Schrag 2000, S. 62)

### **Wie kam es nach der Eiszeit zur starken Erwärmung?**

Während der Vereisung hielt der Vulkanismus an, da er von heißem Magma im Erdmantel gespeist wird. Tätige Vulkane durchdrangen stets die Eisdecke und gaben dabei viel  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre ab. Normalerweise wird dieser ständige  $\text{CO}_2$ -Eintrag in die Atmosphäre kompensiert durch die Erosion von Silikat-Gestein. Dieses nimmt bei seiner Verwitterung das in Regenwasser gelöste  $\text{CO}_2$  der Luft auf und bildet mit diesem lösliches Hydrogencarbonat, das von den Flüssen in die Ozeane gespült wird. Dort verbinden sich die Hydrogencarbonat-Ionen mit den Calcium- und Magnesium-Ionen zu schwer löslichem Carbonat, das sich als Sediment (Kalk und Dolomit) auf dem Meeresboden ablagert. Da aber während der Vereisung das  $\text{CO}_2$  nicht durch Regen ausgewaschen wurde und auch kein



Hydrogencarbonat bildete, das durch Flüsse in Ozeane geführt wird, reicherte es sich in der Atmosphäre an. Dabei erreichte es die Konzentrationen von 10 % (im Gegensatz zu 0,03 % heute) und damit einen so großen Treibhauseffekt, dass sich die Atmosphäre stark erwärmte und dadurch der Planet wieder auftaute. Da das Eis wegen der dort geringeren Dicke zuerst auf den äquatornahen Ozeanen verschwand, diese aber von den noch mit Eis bedeckten Kontinenten kein Hydrogencarbonat erhielten, blieb der CO<sub>2</sub>-Gehalt zunächst noch hoch. Jetzt begann ein neuer Rückkopplungsprozess: Je kleiner die mit Schnee und Eis bedeckte Fläche wurde, desto mehr Sonnenenergie blieb in der Erdatmosphäre. Der hohe CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre und die immer geringer werdende Albedo bewirkten eine schnelle Aufheizung der Atmosphäre und ein immer schnelleres Abschmelzen aller Gletscher, bis die Globaltemperatur schließlich +50°C erreichte. Das Auftauen der dicken Eisdecken soll wegen der hohen Atmosphärentemperatur nur einige hundert Jahre gedauert haben. Das zeigt der abrupte Wechsel von Gletscherschutt zur Carbonat-Schicht (Hoffmann/Schrag 2000, S. 58, 62). Karbonatsedimente in Felswänden in Namibia zeigen, dass die Tiefgefrierphase das erste mal vor 700 Mill. Jahren erfolgte (a.a.O. S. 60).

Dann setzte die Gegenreaktion ein, denn die Flüsse führten jetzt wieder viel Hydrogencarbonat ins Meer, so dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt auf den Wert vor der Vereisung sank und die Atmosphäre sich wieder auf den Wert vor der Vereisung abkühlte. Anschließend begann der beschriebene Prozess von neuem. Während der Zeit von 750 bis 580 Millionen Jahren soll sich dieser Wechsel von extremer Eiszeit und extremer Warmzeit viermal vollzogen haben (Hoffmann/Schrag 2000, S. 59).

Dass sich dieser Wechsel nicht endlos wiederholte geht darauf zurück, dass die Kontinente nicht in Äquatornähe blieben, sondern sich allmählich auf große Teile der Erdoberfläche verteilten, bis sie schließlich vor 300 Millionen Jahren zum nächsten Superkontinent Pangäa zusammen geschoben wurden. Die vor 200 Mill. Jahren beim Zerfall von Pangäa abdriftenden Kontinente sammelten sich nicht in Äquatornähe, sondern verteilten sich so, dass das heutige Bild der Kontinentverteilung entstand. Deshalb verliefen die nach der Aufteilung von Pangäa aufgetretenen Eiszeiten viel weniger dramatisch als die des Neoproterozoikums vor 750 bis 580 Millionen Jahren.

Die Gletscher der letzten Eiszeit erreichten selbst bei ihrem weitesten Vorstoß vor 20.000 Jahren nicht annähernd die kritische Grenze, an der die Erde in den Schneeballzustand abrutscht. Die nächste Eiszeit wird in einigen tausend Jahren einsetzen. Vom Höhepunkt der nächsten Eiszeit sind wir noch etwa 80.000 Jahre entfernt (Hoffmann/Schrag 2000, S. 66).

Während das Auftreten der extremen Vereisung im Neoproterozoikum allgemein anerkannt ist, trifft das für die Hypothese von Hoffmann /Schrag über die Ursachen dieser Vereisung nicht zu. So schreibt z. B. der Klimatologe Duplessy (2003, S. 25), dass diese Ursachen noch nicht bekannt seien.

## Die Warmphase zur Römerzeit

Gletscher nehmen oberhalb der Schneegrenze, im Nährgebiet, durch Schnee an Masse zu, während sie unterhalb der Schneegrenze, im Zehrgebiet, durch Abschmelzen im Sommer Masse verlieren. Dabei treten auch Gegenstände wieder ans Tageslicht, die im Nährgebiet in den Schnee



oder weiter unterhalb in Gletscherspalten gefallen sind. Der spektakulärste Fund des letzten Jahrzehnts war der Gletschermann Ötzi, der an einer Stelle geringer Gletscherbewegung 5000 Jahre lang im Eis lag.

Inzwischen findet man zahlreiche Hölzer, deren Jahresring-Datierung ergab, dass sie aus der Römerzeit stammen und zu Bäumen gehören, die damals weit oberhalb der heutigen Baumgrenze wuchsen. Folglich muss das Klima der Alpen zur Römerzeit wesentlich wärmer gewesen sein als heute. Geologen der Universität Bern rekonstruierten 2004/2005 nach Holz- und Torffunden aus Alpengletschern eine Folge von Warmphasen seit Ende der letzten Eiszeit (s. Abb. 11).

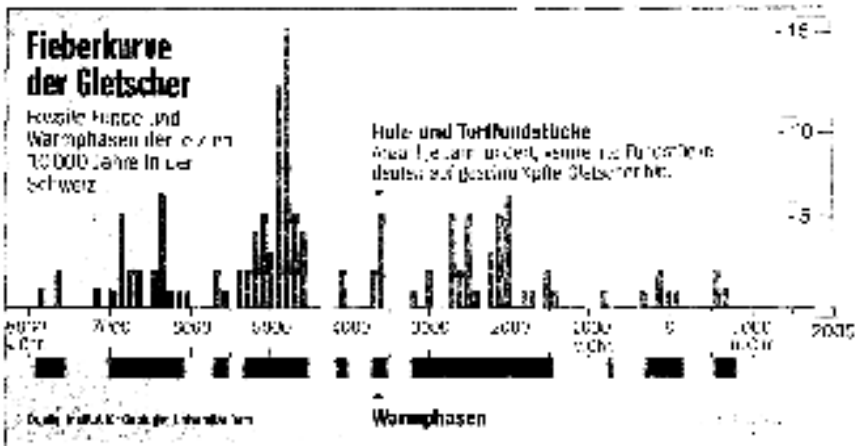


Abb. 11: Fossile Holz- und Torffunde und Warmphasen der letzten 10.000 Jahre in der Schweiz (nach Schlüchter, Institut für Geologie der Universität Bern, aus Schmundt 2005, S. 168)

Diese Folge stimmt weitgehend überein mit der Klimakurve, die man aus dem Vorkommen bestimmter Bäume aufgrund von Pollenanalysen ableitete. Man ermittelt dabei die Art und Häufigkeit von Baumpollen in bestimmten Torfschichten von Mooren, deren Alter man mit der Isotopenmethode bestimmen kann.

Für das Tal am Sustenpass, in dem heute ein Gletscher in einen See mündet, rekonstruierte der Klimatologe Christian Schlüchter ein Landschaftsbild zu Römerzeit. Danach war das gesamte Tal vor 2000 Jahren eisfrei und an den Hängen bis in 2500 m Höhe teilweise bewaldet. Nur auf den oberhalb von 3000 m Höhe gelegenen Berghängen und Mulden lagen Schnee und Eis (s. Abb. bei Schmundt 2005, S. 167 ). Vielleicht wurde die Alpenüberquerung des karthagischen Feldherrn Hannibal im Jahre 218 v. Chr. mit 50.000 Soldaten und 37 Kriegselefanten vom Isère-Tal in Frankreich über den Kleinen St. Bernhard nach Italien durch die damals geringe Vergletscherung der Alpen begünstigt.

Die Analyse der Holzfunde ergab auch, dass vor 7000 Jahren die Alpengletscher fast ganz fehlten. Eine weitere Warmphase lässt sich aus den Holz- und Torffunden für den Beginn des Mittelalters im 6.-8. Jahrhundert ableiten (s. Abb. 11 und Schmundt 2005).

**Das Klima der letzten 1000 Jahre**

Nach neuen Untersuchungen waren die Klimaschwankungen im letzten Jahrtausend doppelt so stark wie bisher angenommen. Das geht aus Untersuchungen eines schwedisch-russischen Teams hervor, das mit einem neuartigen Verfahren die Klimaarchive der Natur kombinierte, um den Temperaturverlauf auf der Nordhemisphäre zu rekonstruieren (Nature 433, S. 613; Titz 2005, S. 22).

In der populär gewordenen, aber umstrittenen Studie von M. E. Mann, R. S. Bradley und M. K. Hughes aus dem Jahr 1998 (Nature 392, S. 779) nahm die Temperatur bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts einen weitgehend gleichförmigen Verlauf, stieg danach aber steil an, so dass die Kurve die Form eines Hockeyschlägers erhält (s. Abb.12).



Abb. 12: Temperaturveränderungen im letzten Jahrtausend. Gemittelte Schwankung auf der Nordhalbkugel („Hockeyschlägerform“; überholte Darstellung nach Mann/Bradley/Hughes 1998, aus: Der Spiegel 29/2001, S. 22)

Während in dieser Studie die Amplitude Temperaturschwingung in den vergangenen 1000 Jahren nur 0,5°C betrug, beträgt sie nach den neuen Untersuchungen 1°C.

Der neuen Analyse zufolge lagen die Temperaturen auf dem Höhepunkt der kleinen Eiszeit – um das Jahr 1600 – ca. 0,7°C unter dem hochmittelalterlichen Niveau. Seit 150 Jahren ist es nach Temperaturmessungen auf der Nordhalbkugel um ca. 0,8°C wärmer geworden (s. Abb. 13). Die nach der Sauerstoff-Isotopen-Methode ermittelte Temperaturkurve zeigt eine ähnliche Tendenz (s. Abb.14).

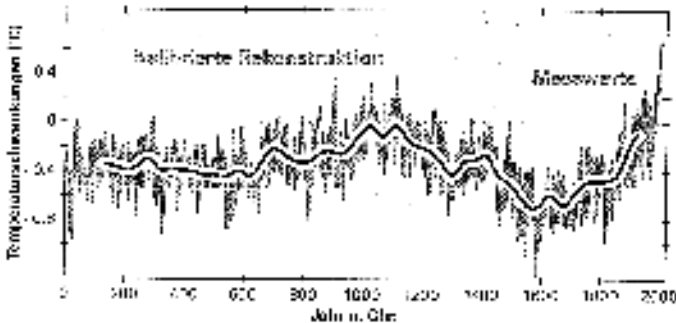


Abb. 13: Temperaturschwankungen auf der Nordhalbkugel vom Jahre 0 bis 2000. Bis 1850 Rekonstruktion nach der Analyse von Baumringen, Eisbohrkernen und Fossilien in Sedimenten, ab 1850 nach Temperaturmessungen (aus Titz 2005, S. 24)



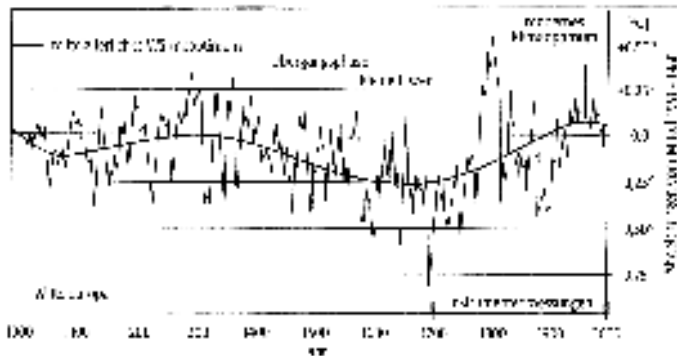


Abb. 14: Temperaturschwankungen in Mitteleuropa vom Jahre 1000 bis 2000, abgeleitet aus der Analyse von Sauerstoff-Isotopen im Inlandeis Grönlands (Camp Century, aus: Lexikon der Geographie, Bd. 2, 2002, S. 236)

Die von Titz (2005) beschriebene Methode geht zurück auf die Analyse der Jahresringe von Bäumen, der Wachstumsschichten von Stalagmiten in Tropfsteinhöhlen und der in Sedimenten von Meeren und Seen gefundenen fossilen Foraminiferen, Kieselalgen, Muscheln und Pollen. Mit Hilfe einer sogenannten Wavelet-Transformation kombinierte das schwedisch-russische Team die Daten und gewichtete sie je nach der Zeitskala, auf der sie mutmaßlich mit der Temperatur zusammenhängen. Entsprechend wurden die Baumringe nur für kurzfristige Schwankungen, aber die anderen Daten für die langfristigen Fluktuationen verwendet.

Auf eine Warmphase im Mittelalter folgte nach einer Übergangsphase die „kleine Eiszeit“ des 16.-18. Jahrhunderts, an die sich ab 1800 die Warmphase anschloss, in der wir uns jetzt befinden. Die kleine Eiszeit äußerte sich in den Alpen in Gletschervorstößen bis 1850, da Gletscher erst mit einer Verzögerung von einigen Jahrzehnten auf Klimaänderungen reagieren. Die um 1800 beginnende aktuelle Warmphase zeigt sich in den Alpen in starken Gletscherrückgängen seit 1850.

### Die aktuelle globale Erwärmung

Seit dem Jahre 1900 stieg die Globaltemperatur um  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Dieser Anstieg erfolgte aber nicht kontinuierlich. Zunächst sank die Temperatur nach 1900 um fast  $0,2^{\circ}$ , von 1910 bis 1941 stieg sie um  $0,45^{\circ}$  an, sank dann wieder um  $0,2^{\circ}$  und stieg von 1978 bis heute wieder an. (s. Abb. 15).

Auch regional gibt es große Unterschiede. So ist es an der Süd- und Südwestküste Grönlands heute  $1,3^{\circ}\text{C}$  kälter als vor 40 Jahren. Auch die Oberflächentemperatur der Labradorsee in Kanada ist in diesem Zeitraum deutlich gesunken (Spiegel 12/2003, S. 147).

Wie Satellitenbilder zu Zeiten der jeweils minimalen Eisfläche eines Jahres zeigen, hat sich aber die gesamte Meer-Eisdecke der Arktis in den letzten 30 Jahren um 9 % verkleinert. Sie schrumpfte stark nördlich von Ostsibirien und Alaska, während sie sich nördlich Westsibirien etwas vergrößerte. Die Grönlandeisdecke blieb in dieser Zeit gleich groß (Abb. in Spektrum Dezember 2003, S. 13).

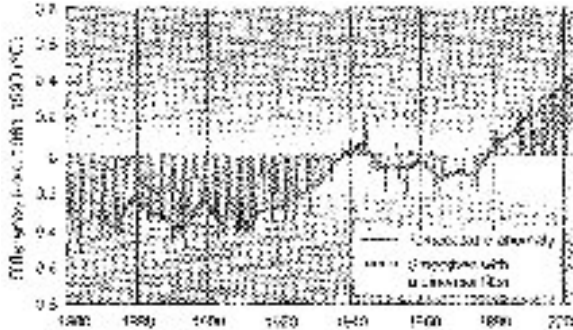


Abb. 15: Die globale Mitteltemperatur der Erde seit 1860. Die Werte sind Abweichungen vom Mittelwert der Jahre 1961-1990 (aus Latif 2005, S. 284)

Das Inlandeis der Antarktis, das fast 90% des weltweiten Vorkommens ausmacht, und dessen Dicke maximal 4776 m erreicht (im Wilkes-Land bei 135°O/70°S), ist in den letzten Jahrzehnten nicht geschrumpft. Ursache ist der Zirkumpolarstrom, der, von Westwinden angetrieben, das Meerwasser im Uhrzeigersinn um die Antarktis treibt und den Kontinent von warmen Wettergebieten und Meeresströmungen aus dem Norden abschirmt. (Traufetter 2003, S. 122).

Die globale Erwärmung führt zu stärkerer Verdunstung und einer Zunahme des Niederschlags über Landgebieten. Dabei fällt generell mehr Niederschlag in hohen Breiten und in Teilen der Tropen, während die regenärmeren Subtropen nochweiter austrocknen.

Die Voraussagen für die Klimaentwicklung bis zum Ende dieses Jahrhunderts hängen ab von den Vermutungen über die Ursachen der globalen Erwärmung.

Man nimmt an, dass von der Erwärmung um 0,6° ein Drittel, also 0,2°, auf die Erhöhung der Solarkonstante um 0,25 % seit 1900 zurückgeht. In den letzten 20 Jahren soll durch die verringerte kosmische Strahlung ein Drittel des gemessenen Temperaturanstiegs der Erdoberfläche entstanden sein (Körkel 2003, S. 9). Zwei Drittel der Erwärmung, also 0,4° sollen nach Schätzungen von Klimatologen auf die Zunahme von Treibhausgasen zurückgehen (Latif 2005).

Treibhausgase sind Wasserdampf, CO<sub>2</sub>, Methan und in geringem Maße noch andere Gase. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre beträgt nur 0,03 %. In die Atmosphäre gelangendes CO<sub>2</sub>, z. B. von Vulkanen, wird im Laufe der Zeit vom Wasser der Ozeane aufgenommen und bildet dort zusammen mit Calcium-Ionen Calciumcarbonat, also Kalk, der am Meeresboden sedimentiert. Durch verstärkte Emission von CO<sub>2</sub> aus Industrie-, Hausbrand- und Autoabgasen stieg der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre von 1900 bis 2000 von 0,029 % auf 0,037 %, weil die Emission des CO<sub>2</sub> etwas schneller als dessen Bindung im Meerwasser erfolgte.

Ohne die natürlichen Treibhausgase läge die Globaltemperatur bei -18°C. Diese Gase bewirken zusammen eine Temperaturerhöhung um 33°, so dass die Globaltemperatur bei +15°C liegt. Den größten Anteil an dieser Temperaturerhöhung hat der Wasserdampf, in großem Abstand gefolgt vom CO<sub>2</sub> (s. Tabelle 2).



	Anteil an der Erwärmung	
Wasserdampf	20,6°C	62,4%
Kohlendioxid, CO <sub>2</sub>	7,2°C	21,8%
Ozon, O <sub>3</sub>	2,4°C	7,2%
Distickstoffoxid, N <sub>2</sub> O	1,4°C	4,2%
Methan, CH <sub>4</sub>	0,8°C	2,4%
andere Gase	0,6°C	1,8%
Summe:	33,0°C	100,0%

Tabelle 3: Anteile der Treibhausgase an der Erwärmung der Erdatmosphäre  
(aus Maxeiner/Miersch 2000, S. 150)

Der Anteil des gesamten CO<sub>2</sub> an der Atmosphäre beträgt gegenwärtig 0,037 %. Darin ist der vom Menschen verursachte Anteil von 0,008 % enthalten. Diese Zahl ergibt sich aus der Differenz zwischen dem aktuellen Gesamtwert von 0,037 % und dem natürlichen CO<sub>2</sub>-Anteil der Atmosphäre, nämlich 0,029 %. Der vom Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Anteil von 0,008 % würde 1,4°C Erwärmung (d. h. 4,8 % der Gesamttreibhauswirkung der Atmosphäre) bewirken.

Da aber die Globaltemperatur seit 100 Jahren nur um 0,6° anstieg und davon 0,2° auf die Zunahme der Solarkonstante entfallen, verbleiben 0,4° als vom Menschen verursacht (nach Latif 2005).

Das stimmt nicht mit der Temperaturerhöhung um 1,6°, die durch den vom Menschen emittierten Anteil des CO<sub>2</sub> verursacht werden soll, überein, zumal auch noch andere Treibhausgase (z. B. Methan), deren Konzentration vom Menschen erhöht wurde, an der Temperaturerhöhung um 0,4° mitwirken, so dass nur eine Temperaturerhöhung um ca. 0,3° auf das vom Menschen emittierte CO<sub>2</sub> entfallen.

Nach einer Mitteilung der Max-Planck-Gesellschaft vom August 2005 produzieren Mikroorganismen in den Böden gefluteter Reisfelder 10 bis 25 % des weltweiten Methan-Ausstoßes (HNA 13.8.2005).

Einige vom Menschen emittierte Stoffe wirken kühlend. Das sind vor allem reflektierende Aerosole (s. Abb. 16).

Verschiedene Modellrechnungen ergeben für die Zeit bis 2100 eine Erhöhung der Globaltemperatur um mehrere Grade, wenn der vom Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoß weiter so ansteigt wie bisher. All diese Modellrechnungen sind unsicher, weil das Klima von zahlreichen Faktoren, vor allem auch von Meeresströmungen abhängt.

Die Temperatursenkung an der südwestlichen Küste Grönlands und in der Labradorsee in den letzten 40 Jahren und das Absinken der Globaltemperatur von 1942 bis 1978 trotz Anstiegs des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in dieser Zeit zeigen, dass andere Prozesse in den letzten 100 Jahren offensichtlich das Klima stärker beeinflusst haben als die Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre von 0,029 % auf 0,037 %.

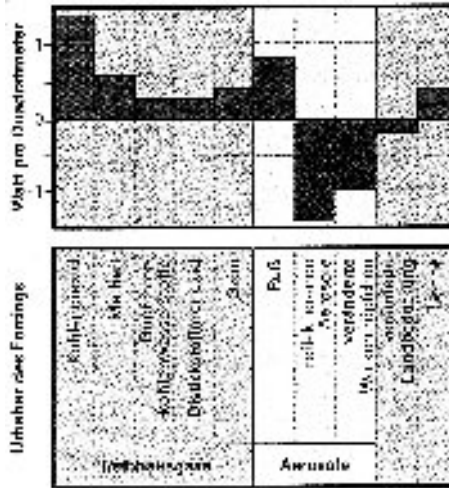


Abb. 16: Ausmaß der Erhöhung oder Senkung der Globaltemperatur durch klimawirksame Faktoren (Schätzungen, aus Hansen 2005, S. 53)

Zu erinnern ist auch an die Tatsache, dass wir in einer Zwischeneiszeit leben und in der letzten Zwischeneiszeit (Eem-Warmzeit) die Globaltemperatur höher war als heute und der Meeresspiegel 5 – 6 m über dem heutigen Niveau lag (Hansen 2005, S. 54). Es ist also möglich, dass die Erwärmung seit der kleinen Eiszeit im 16.-18. Jahrhundert so wie die Erwärmung in der Eem-Warmzeit natürliche Ursachen hat.

Trotz dieser Unklarheiten ist es sinnvoll, die Emission von CO<sub>2</sub>, Methan und anderer Treibhausgase zu reduzieren, da nicht sicher ist, ob von einer bestimmten Konzentration an ein sich selbst verstärkender Mechanismus in Gang kommt, der zu einer weiteren Erwärmung führt.

**Der Klimamotor in der Antarktis**

In der Antarktis arbeiten Forschungsstationen mehrerer Länder. Die drei deutschen Stationen sind „Gondwana“ an der West-Küste des Ross-Meeress, „Kohnen“ auf dem Inlandeis der Ost-Antarktis bei 0° Länge und „Neumayer“ auf dem Schelfeis vor der Ostküste des Weddell-Meeress bei 10° westlicher Länge. Die Stationen Kohnen sowie Amundsen/Scott auf dem Südpol (USA, Temperaturen –20° bis –60°), Wostok bei 105° O/78°S (Russland, Temperaturen bis –89°C) und Dome Concordia bei 120° O/75°S (Frankreich) führen Eisbohrungen bis in große Tiefe durch.

Die deutsche Station Kohnen, die u.a. eine 60 m lange Halle für Arbeiten unter dem Eis besitzt, ist im Winter mit 500 und im Sommer mit bis zu 4000 Mitarbeitern besetzt. Sie wird vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven betrieben. Mit den Eisbohrungen gewinnt man Bohrkerne, deren Eis-Alter bei der tiefsten Bohrung (Station Wostok) von 400.000 Jahren vor heute bis zur Gegenwart reicht. Die Analyse der Bohrkerne liefert Informationen über die Schneemenge, das



Isotopenverhältnis  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  der Wasser-Moleküle des Eises und über Beimengungen wie z. B. Schwefelausscheidungen von Vulkanen sowie die in den Luftblasen eingeschlossenen Gase, darunter  $\text{CO}_2$  und Methan, aus den jeweiligen Jahren.

Auf einer Linie von der Südspitze Afrikas bis zur Antarktis hat das Bremerhavener Institut im Jahre 2000/2001 eine Reihe von Mess-Stationen verankert. Die auf dem Meeresboden bis in 5000 m Tiefe liegenden Geräte zeichnen die Tiefenströmung auf. Zusätzlich schwimmen unter der Meeresoberfläche Mess-Stationen, zu denen Funkverbindung über Satellit besteht. Ziel der Arbeit mit diesen Geräten ist die Bilanzierung des Wärmetransports der Ozeanströmungen.

Die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit der Antarktis-Stationen und der Messgeräte im Ozean sind (nach Traufetter 2003):

1. Im pleistozänen Eiszeitalter gab es alle 100.000 Jahre einen Wechsel von einer Kaltzeit zu einer Warmzeit. Die Warmzeiten dauerten nur jeweils 10.000 bis 20.000 Jahre.
2. Für den untersuchten Zeitraum (400.000 Jahre vor heute bis zur Gegenwart) ist eine bipolare Klimaschaukel nachgewiesen: Wird es im Norden wärmer, kühlt der Süden ab und umgekehrt.
3. In Kaltzeiten ist der  $\text{CO}_2$ - und Methan-Gehalt der Atmosphäre niedrig, in Warmzeiten ist er hoch.
4. Bohrkernanalysen zeigen, dass es abrupte Erwärmungen gab, bei denen die Temperatur in wenigen Jahren um fast  $10^\circ\text{C}$  stieg.
5. Der mehrere Kilometer dicke Eispanzer der Ostantarktis wird noch viele Jahrtausende intakt bleiben. An vielen Stellen breitet er sich aus. Horrorszenarien von demnächst abschmelzenden Polkappen entbehren jeder Grundlage (Traufetter 2003, S. 127).
6. Die Massenbilanz des Eises der kleineren West-Antarktis ist dagegen negativ. Seit 50 Jahren stieg die Temperatur um  $2,5^\circ$  an. Dabei könnte es sich um natürliche Temperaturzyklen handeln. Die dortigen Eisabbrüche führen nicht zu einer Erhöhung des Meeresspiegels, weil es sich um Schelfeis handelt, das bereits vorher auf dem Wasser schwimmt.
7. Die Impulse früherer globaler Klimaumschwünge gingen wahrscheinlich von der Antarktis aus. Wichtigste Einflussgröße für die Temperatur im Norden ist der Grad der Meereisbedeckung vor der antarktischen Küste.
8. Die Hauptrolle spielt das Schelfeis des Weddell-Meeress, dessen Fläche 8 Mill.  $\text{km}^2$  groß ist. Das Schelfeis kühlt das darunter liegende Meerwasser auf  $-2.7^\circ\text{C}$ , das bei dieser Kälte wegen des Salzgehaltes noch nicht gefriert. Dies ist der kälteste Bereich der Weltmeere. Pro Sekunde sinken dort 4 bis 6 Mill.  $\text{m}^3$  kaltes Wasser in die Tiefe. Dieses Absinken wirkt wie eine gigantische Pumpe, durch die Meeresströmungen angetrieben werden, die nach Norden führen, wo das Wasser dann aufsteigt, sich in der Tropenzone erwärmt und im Nordatlantik als warme Oberflächenströmung des Golfstromes Wärme in den Norden transportiert.



## Ist die globale Erwärmung schuld am Hurrikan von New Orleans?

Ende August 2005 fegte der starke Hurrikan „Katrina“ über den Golf von Mexiko und die Stadt New Orleans. Eine Sturmflut mit Hochwasser war die Folge. Die Deiche brachen an drei Stellen. Das Wasser überflutete große Teile der Stadt, die bis zu 1,6 m unter dem Meeresspiegel liegt und zerstörte zahlreiche Häuser. Bundesumweltminister Trittin und andere Personen gaben dem hohen Energieverbrauch der US-Amerikaner eine Mitschuld an der Katastrophe, weil die starke CO<sub>2</sub>-Emission zur globalen Erwärmung beitrage und eine Zunahme starker Hurrikane zur Folge habe. Hierzu äußerten sich der Meteorologe und Hurrikan-Spezialist Stanley Goldenberg von der „National Oceanic and Atmospheric Administration“. Er untersuchte die Hurrikan-Aktivität im 20. Jahrhundert. Demnach war diese zwischen 1920 und 1960 schon einmal sehr stark. Sie nahm dann bis Mitte der 1990er Jahre deutlich ab und nimmt seitdem wieder spürbar zu. Dieser Zyklus mit einem Wechsel starker und schwacher Hurrikanaktivität läuft nicht parallel mit dem CO<sub>2</sub>-Anstieg und der globalen Erwärmung. Er sagt über den Hurrikan „Katrina“ wörtlich: „Wer glaubt, dass man den Sturm mit einer anderen Energiepolitik hätte verhindern können, hat von Wissenschaft rein gar nichts verstanden.“ (Trautfetter 2005, S. 124). Und der Klimaexperte Roger Pielke von der University of Colorado in Boulder schreibt: „Ein Zusammenhang zwischen Treibhauseffekt und Hurrikanen ist bislang nicht bewiesen.“ (Trautfetter 2005, S. 125).

Für die Entstehung von Hurrikanen müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein.

- Die Temperatur des Ozeans muss über 26°C liegen, damit der Sturm genug Wasserdampf aufsaugen kann.
- Die Atmosphäre über dem Meerwasser muss frei von vertikalen Scherwinden sein, die sonst die schnelle horizontale Rotation unterbinden, in die die Luftmassen in einem Hurrikan geraten.

Ausgelöst wird die Entstehung von Hurrikanen des Nordatlantiks häufig durch kleine Windwirbel, die an der Flanke des südägyptischen Hoggar-Gebirges entstehen. „Die meisten Klimamodelle versagen angesichts dieser Komplexität“ sagt der Klimatologe Lennart Bengtson vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg (Trautfetter 2005, S. 125).

## Reaktionen des Menschen auf Veränderungen in der Natur?

Der Normalfall in der Natur ist nicht Stagnation, sondern Veränderung. Das zeigt sich auf der Erde in der Kontinentalverschiebung, in Klimaänderungen, bei der Verlegung von Flussläufen, in der Verlandung von Seen, bei Küstenveränderungen durch Sturmfluten und in Meeresspiegelschwankungen.

Die Geologische Zeittafel aus dem Lexikon der Geographie (2002) zeigt mit einer roten Linie Meeresspiegelschwankungen vom Beginn des Kambriums bis zur Gegenwart. Daraus geht hervor, dass der Meeresspiegel zeitweilig, z. B. in den letzten Eiszeiten, bis zu 120 m tiefer lag als heute, während er zu anderen Zeiten, z. B. in einer Warmphase am Ende der Kreidezeit, 200 m über dem heutigen Niveau lag. Die Amplitude der natürlichen Meeresspiegelschwankungen beträgt also 320 m.



Menschen der Altsteinzeit waren Jäger und Sammler ohne festen Wohnsitz. Sie wanderten dorthin, wo sie ausreichende Lebensbedingungen fanden. Insofern störte sie ein Ansteigen oder Absinken des Meeresspiegels gar nicht. Das gleiche gilt für Menschen der Mittleren Steinzeit, die als Viehzüchter ebenfalls als Nomaden ohne festen Wohnsitz lebten. Als aber Menschen zu Beginn der Jungsteinzeit neben Jagd und Viehzucht auch Ackerbau betrieben, wurden sie sesshaft und bauten Holzhäuser für Wohnzwecke und Aufbewahrung von Nahrung, Ställe für das Vieh im Winter und Scheunen für Futter-Vorräte. Jetzt war es Menschen nicht mehr gleichgültig, ob sich die Natur in ihrer Umgebung veränderte. Jede gravierende Veränderung in der Umgebung ihrer Häuser bedrohte ihre Existenz. Sie konnten schließlich nicht bei Überschwemmungen, Vereisungen oder Dürre mit ihren Häusern und Äckern so wie Nomaden in bessere Gegenden wandern.

So erfolgte der Untergang der Maya-Kultur vor etwa 1100 Jahren vor allem als Folge einer jahrelangen extremen Dürre. Diese Dürre konnte man nachweisen durch das Sauerstoff-Isotopenverhältnis fossiler Muschelschalen aus Seesedimenten der Halbinsel Yucatan in Mexiko (Alley 2005, s. Abb. 17).

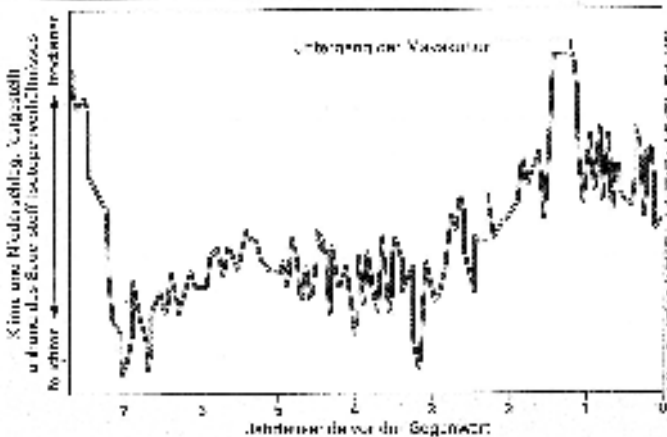


Abb. 17: Feucht- und Trockenzeiten seit 7700 Jahren auf Yucatan (Mexiko), ermittelt durch das Sauerstoff-Isotopenverhältnis fossiler Muschelschalen (aus Alley 2005, S. 45)

Ein Beispiel aus dem Mittelalter zeigt, dass sich manche Völker an einen Kälteeinbruch anpassen können, andere aber nicht. Im Mittelalter siedelten Wikinger an der damals warmen Südküste Grönlands, das sie Grönland (= Grünland) nannten, weil ein breiter Küstenstreifen durch den Pflanzenwuchs grün war. Reste ihrer Steinhäuser sind dort heute noch zu sehen. Dann folgte nach dem Mittelalter die kleine Eiszeit mit langer Schneebedeckung der Grönlandküste, die Landwirtschaft dort unmöglich machte. Die Wikinger konnten sich nicht anpassen und ihre Ernährung auf den Fang von Robben und Fischen umstellen und wanderten deshalb aus. Den Thule-Eskimos gelang diese Umstellung, und sie wohnen bis heute an der Westküste Grönlands.

Sturmfluten seit dem Mittelalter zerrissen die friesische Küste und lösten sie in Inseln auf. Hochwassermarken an alten Häusern und an Brücken zeigen, dass es schon seit Jahrhunderten Hochwässer in der Größenordnung derjenigen der letzten Jahre gab.

Die Holländer haben sich an diese regelmäßig kommenden Sturmfluten durch den Bau hoher und sicherer Dämme angepasst.

Aber die leichtsinnige Wahl des Wohnsitzes, etwa unterhalb einer Lawinenbahn, am Hang eines Vulkans, in einem Erdbebengebiet, oder an einer durch Sturmfluten gefährdeten Küste ohne ausreichende Sicherung verstärken die Existenzbedrohung. In New Orleans baute man eine Millionenstadt in einer Senke, die z. T. unter dem Meeresspiegel liegt und nur durch hohe Dämme und ständiges Abpumpen von Wasser vor der Überflutung geschützt werden kann. Noch dazu wurden Schutzmaßnahmen, die etwa in Holland selbstverständlich sind, über Jahrzehnte sträflich vernachlässigt.

Es wird in Zukunft weitere starke Veränderungen durch Naturkräfte geben, an die sich der Mensch anpassen muss, indem er entweder gefährliche Wohnsitze meidet oder an solchen Stellen viel für seine Sicherheit investieren muss.

**Wann kommt die nächste Eiszeit?**

Wir leben seit 11.500 Jahren in einer Warmzeit (Interglazial) zwischen zwei Eiszeiten. Die Warmzeiten (Interglaziale) des Pleistozäns dauerten jeweils nur 10.000 bis 20.000 Jahre. Daraus schließen Klimatologen, dass die nächste Eiszeit schon in wenigen Jahrtausenden beginnt. Diese Eiszeit brauchen wir nicht zu fürchten. Da die Menschen der Altsteinzeit die Eiszeiten der letzten 1,5 Millionen Jahre überstanden haben, werden wir sie mit Hilfe moderner Technik noch viel besser überstehen. Sie wird mit einer über Jahrhunderte laufenden, langsamen Abkühlung beginnen. Die Klimazonen der Nordhalbkugel rücken um 1000 bis 2000 km nach Süden. Siedlungsgebiete die in Nordeuropa durch Eisbedeckung vorübergehend verloren gehen, können in Südeuropa und Nordafrika durch dort absinkende Temperaturen hinzu gewonnen werden. Die durch den Verlust landwirtschaftlicher Nutzfläche entstehende Verluste an Nahrungsmitteln können durch Produktionssteigerungen in anderen Weltteilen und entsprechende Importe ausgeglichen werden.

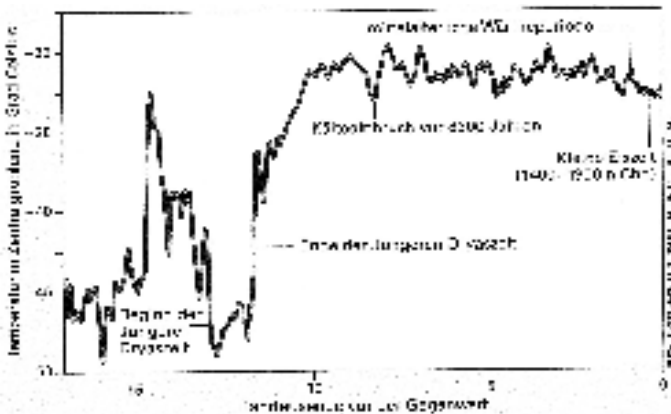


Abb. 18: Temperatur in Zentralgrönland seit 17.000 Jahren, ermittelt durch Analyse von Eisbohrkernen (aus Alley 2005, S. 44)



Im Spektrum 3/2005 veröffentlichte der Geowissenschaftler Richard B. Alley (Pennsylvania State University) eine Theorie, nach der eine neue Eiszeit schon früher als erst in einigen tausend Jahren einsetzen könnte. Er geht von der Erkenntnis aus, dass in der Vergangenheit mehrfach Temperatursprünge eine längere Kaltzeit einleiteten, die dann wiederum durch einen Temperatursprung in eine längere Warmzeit übergang. So gab es in Zentralgrönland extreme Kälteeinbrüche, bei denen die Mitteltemperatur innerhalb weniger Jahre um bis zu 6°C absank. Und vor 11.500 Jahren begann die Warmzeit mit einem Temperatursprung von mehr als 10°C in nur einem Jahrzehnt (s. Abb. 18).

Wie die Analyse von Eisbohrkernen zeigt, gab es in Grönland in den vergangenen 110.000 Jahren über 20 starke, plötzliche Erwärmungen. Das mildere Klima hielt dann jeweils einige Jahrhunderte bis Jahrtausende an, bevor eine allmähliche Abkühlung einsetzte, die in einem Temperatursturz innerhalb nur eines Jahrhunderts gipfelte. Dann begann der Zyklus von Neuem – mit einer Erwärmung innerhalb nur weniger Jahre.

Alley erklärt die Kälteeinbrüche so: Aus den Eisbohrkernen geht hervor, dass Kälteeinbrüche dann auftraten, wenn das Oberflächenwasser im Nordatlantik salzärmer geworden war, vielleicht, weil sich viel Gletscherschmelzwasser, also Süßwasser, ins Meer ergoss. Dadurch verminderte sich der Salzgehalt des im Nordatlantik ankommenden Golfstromes so sehr, dass dessen Wasser nicht mehr schwerer als das übrige Nordatlantikwasser war und deshalb nicht mehr absank. Dadurch wurde das Förderband der Meeresströmungen, das warmes Oberflächenwasser nach Norden und kaltes Wasser vom Norden in der Tiefe nach Süden führt verlangsamt und schließlich ganz zu Stillstand gebracht. Die Folge war ein Temperatursprung nach unten mit entsprechender Vereisung in Nordamerika und Nordeuropa.

Solche Sprünge sind nachgewiesen für das Eiszeitalter des Pleistozäns mit seinem Wechsel von Kalt- und Warmzeiten. Kaltzeiten können sich aber auch sehr langsam anbahnen. So dauerte die Abkühlung vom Tropenklima im frühen Tertiär auf der Nordhalbkugel bis zum Beginn der Eiszeit 60 Mio. Jahre, wie das die Südverlagerung der Palmengrenze im Tertiär zeigt (s. Abb. 1).

Da wir uns in einer Zwischeneiszeit befinden, könnte es aber nach Alley so sein, dass die nächste Eiszeit irgendwann mit einem Temperatursprung innerhalb weniger Jahre einsetzt. Weil das seit 150 Jahre stattfindende starke Abschmelzen der Gletscher dem Nordatlantik viel Süßwasser zuführt, könnte sich der Salzgehalt des Golfstroms in absehbarer Zukunft so stark vermindern, dass das Förderband der Meeresströmungen zum Stillstand kommt und dann schnell eine neue Eiszeit einsetzt. Ob die ansteigende Globaltemperatur einen Wert erreicht, bei dem das Klima kippt und die Abkühlung einsetzt, und wann dies vielleicht geschieht, kann heute niemand voraussagen.

Wichtig ist, dass rechtzeitig vorher die vollständige Umstellung der Energiegewinnung von der Nutzung fossiler Energieträger auf die Nutzung der Solarenergie und anderer regenerativer Energien erfolgt ist. Wahrscheinlich wird dann auch die kontrollierte Kernfusion zur Energiegewinnung eingesetzt.

Die mit einer Eiszeit verbundenen technischen Probleme sind lösbar. Es muss aber noch viel getan werden, um die Verteilung der Ressourcen so zu organisieren, dass alle Menschen dieser Erde jetzt und in Zukunft menschenwürdig leben können.

**Literatur:**

- Alley, R. B.: Das sprunghafte Klima. Spektrum 3/2005, S. 42-49
- Campbell, N. A./ Reece, J. B.: Biologie. Spektrum, Heidelberg/Berlin, 6. Aufl. 2003
- Caspers, G./ Freund, H./Kleinmann, A./ Merkt, J.: Das Klima im Quartär. In: EisZeit. Thorbecke, Stuttgart 1999, S. 77-94
- Duplessy, J.-C.: Klarheit über das Klima. Spektrum, April 2003, S. 20-25
- Feldmann, L.: Hildesheim im Eiszeitalter. In: EisZeit. Thorbecke, Stuttgart 1999, S. 95-106
- Hansen, J. E.: Lässt sich die Klima-Zeitbombe entschärfen? Spektrum 1/2005, S. 50-58
- Hedewig, R.: Hochgebirge. Unterricht Biologie, Heft 69, Mai 1982, S. 2-13
- Hedewig, R.: Bioplanet Erde. Korona 98, April 2005, S. 21-46
- Herbig, H.-G., Tragelehn, H., Grigo, M.: Geologische Zeittafel (mit Meeresspiegelkurve, Vereisungsphasen, Verteilung der Kontinente und Orogenesen seit dem Kambrium). Beilage zu „Lexikon der Geographie“ Bd. 2, Spektrum, Heidelberg/Berlin 2002
- Hoffmann, P. F./Schrag, D. R.: Als die Erde ein Eisklumpen war. Spektrum, April 2000, S. 58-66
- Jauk, G.: Gletscherschwund im Himalaya. Spektrum August 2003, S. 58-65
- Körkel, T.: Beeinflusst die kosmische Strahlung das Klima? Spektrum 1/2003, S. 8-9
- Lexikon der Geographie. Hrsg.: Brunotte, E./ Gebhardt, H./ Meurer, M./ Meusburger, P./ Nipper, J. Band 2, Spektrum, Heidelberg/Berlin 2002
- Latif, M.: Verändert der Mensch das Klima? MNU 58 (2005), H. 5, S. 282-286
- Maxeiner, D./ Miersch, M.: Lexikon der Öko-Irrtümer. Piper, München 2000
- Murphy, J. B./ Nance, R. D.: Gebirgsgürtel und der Superkontinent-Zyklus. Spektrum, Juni 1992, S. 52-60
- Rahmstorf, S.: Warum das Eiszeitklima Kapriolen schlug. Spektrum, September 2001, S. 12-15
- Schmundt, H.: Klimaforschung. Puzzle aus dem Eis. Der Spiegel 21/2005, S. 166-168
- Siegert, M. J./ Dowdeswell, J. A./Svendsen, J.-I./ Elverhoi, A.: Das Ende der letzten Eiszeit. Spektrum, Mai 2005, S. 60-67
- Titz, S.: Historische Temperaturwellen. Spektrum, April 2005, S. 22-24
- Traufetter, G.: Botschaften aus der Eishölle (Bericht über die Arbeit deutscher Forschungsstationen in der Antarktis). Der Spiegel 4/2003, S. 118-131
- Traufetter, G.: Achterbahn der Monsterstürme. Zahl und Stärke der Hurrikane nehmen zu – doch mit der globalen Erwärmung hat das nichts zu tun. Der Spiegel 36/2005, S. 124-125
- Vespermann, J.: Geologie und Paläontologie des Eiszeitalters. In: EisZeit. Thorbecke, Stuttgart 1999, S. 40-76
- Weisker, Chr.: Was vom Eiszeitalter blieb... Eine Spurensuche in der Landschaft und Kulturgeschichte. In: EisZeit. Thorbecke, Stuttgart 1999, S. 252-270



## Frauen in der Astronomie

Roland Hedewig

Frauen sind heute an den Universitäten stark vertreten, besonders in den Sprach-Literatur- und Sozialwissenschaften, in der Lehrerbildung, in der Biologie und in der Medizin. Weniger häufig wählen Frauen die Studienfächer Mathematik und Chemie, seltener Ingenieurwissenschaften, Geologie, Physik oder gar Astronomie.

Die Studienfachwahl spiegelt die Tendenz wieder, dass Frauen stärker an personenbezogenen als an naturwissenschaftlichen und technischen Themen interessiert sind. Auch traditionelle Rollenmuster über „männliche und weibliche Berufe“ mögen bei der Studienfach- und Berufswahl noch eine Rolle spielen.

Hinzu kommen Vorurteile über eine angeblich mindere geistige Leistungsfähigkeit von Frauen, die bis in die Antike zurück reichen. Bei Aristoteles galt die Frau als Mangelwesen, als unterlegene Version des götternahen, sonnengleichen Mannes. Frauen dagegen seien kaum fähig, rational zu denken. Noch Charles Darwin (1809-1882) schrieb „Ob es nun tiefes Denken verlangt, Vernunft oder Phantasie, oder lediglich den Gebrauch der Sinne und Hände, werden Männer höhere Ehren erlangen, als Frauen es vermögen.“ (nach v. Bredow 2005, S. 155)

In der Vergangenheit gab es für Frauen auch bürokratische Barrieren bei der Wahl einer akademischen Laufbahn. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurden Frauen in Deutschland an den Universitäten gar nicht zum Studium zugelassen. Und bis zum 1. Weltkrieg war es Frauen in Deutschland kaum möglich, eine Professur an einer Universität zu erhalten. So gab es im Jahre 1906 an der Universität Leipzig unter den zahlreichen Professoren keine einzige Frau, auch nicht in der Medizin. Die Gymnasien und die Realgymnasien wurden nur von männlichen Schülern besucht. Dort gab es auch keine Lehrerinnen. Höhere Schulen für Mädchen waren nur die „höheren Töchterschulen“. Nur dort waren, mit einem Anteil von 40 bis 50 %, auch Lehrerinnen im höheren Schuldienst tätig. (Handbuch der Schulstatistik für das Königreich Sachsen. Dresden 1906).

In Frankreich war das Bildungswesen nach der Konstituierung der 3. Republik im Jahre 1871 und der Neuordnung des Bildungswesens nach 1879 viel fortschrittlicher als in Deutschland. Frauen durften an Universitäten studieren und konnten bis zur Professorin aufsteigen. Ein Musterbeispiel ist Marie Curie (1867-1934). Sie hieß ursprünglich Marya Skłodowska, stammte aus Warschau und studierte in Paris Physik und Chemie. Sie heiratete den Physiker Pierre Curie und lehrte als Professorin an der Sorbonne in Paris. 1903 erhielt sie zusammen mit ihrem Mann Pierre Curie und ihrem Lehrer A. H. Becquerel für die Untersuchung radioaktiver Strahlung den Nobelpreis für Physik und 1911 für Ihre grundlegenden Arbeiten auf dem Gebiet der Radiochemie den Nobelpreis für Chemie.

Angesichts der bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts währenden Tradition, Frauen von den Universitäten fernzuhalten, sollte man annehmen, dass es vor 1900 gar keine Astronominnen gab, während man heute angesichts der freien Berufswahl für Frauen relativ viele finden könnte. Merkwürdigerweise ist das Gegenteil der Fall. Während heute in Deutschland nur 7 % aller Astronomen weiblich sind, waren zwischen 1650 und 1720 14 % aller deutschen Astronomen Frauen (v. Bredow 2005). Wie ist das zu erklären?

Astronomen betrieben vor 1850 ihre Forschung überwiegend an Instrumenten im oder am eigenen Haus. Da dort die Frau des Astronomen ständig anwesend war, konnte sie sich an den Forschungen des Mannes beteiligen, ohne das Haus verlassen zu müssen, in dem sie mit Kindererziehung und anderen häuslichen Pflichten beschäftigt war. Und an der häuslichen Tafel wurden die Ergebnisse mit Mitarbeitern und anderen Gelehrten diskutiert.

Das änderte sich, als nach 1850 die astronomische Forschung in zunehmendem Maße in außerhäuslichen, großen Sternwarten, Universitäten, Akademien und Forschungsinstituten erfolgte. Frauen war es kaum möglich, nächtelang außer Haus zu forschen. Zudem war ihnen, zumindest in Deutschland, bis Anfang des 20. Jahrhunderts der Zugang zu Akademien und Forschungseinrichtungen verwehrt. Als diese Barriere nach dem ersten Weltkrieg fiel, erhielten Frauen zwar theoretisch die Möglichkeit zum uneingeschränkten astronomischen Forschen. Trotzdem blieb die Anzahl der Astronominnen gering, nicht wegen fehlenden Interesses, sondern weil sich die häufige nächtliche Trennung von Partner und Familie allenfalls dann gut arrangieren ließ, wenn der Partner ebenfalls Astronom war. Erst die jüngste Entwicklung astronomischer Instrumente ermöglicht Astronomen eine Forschung, die überwiegend tagsüber erfolgt, weil die Instrumente, die auf hohen Bergen stehen, ferngesteuert werden und ihre Bilder über Tausende Kilometer auf Bildschirme in Instituten gelangen, wo man sie tagsüber auswerten kann, wie dies z.B. in Garching bei München mit Astroaufnahmen geschieht, die in der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Chile gewonnen werden.

Da Astronominnen vergangener Jahrhunderte, die zusammen mit ihrem Ehemann oder Bruder forschten, werden in der astronomischen Literatur selten erwähnt, weil die Forschungsergebnisse meist nur unter dem Namen des männlichen Astronomen erfolgte, obwohl die Frauen häufig einen großen Anteil an den Forschungen hatten. Auch dies ist ein typisches Kennzeichen einer von Männern dominierten Darstellung einer Wissenschaft in der Öffentlichkeit. In den folgenden Abschnitten werden wichtige Astronominnen in Kurzbiographien vorgestellt. Die Darstellung folgt zu einem großen Teil den Angaben von Pletzner/ Metzger/Meyer, die über Leavit und Cannon den Angaben von G.D.Roth.

### Sophie Brahe (1556 – 1643)

Sophie Brahe arbeitete gemeinsam mit ihrem Bruder, dem dänischen Astronomen Tycho Brahe, in dessen Observatorium. Die astronomischen Kenntnisse eignete sie sich aus seinen Büchern an. Die Geschwister Brahe berechneten die Mondfinsternis vom 8. Dezember 1573. Für diese Leistung erhielt Tycho Brahe von König Frederik II., König von Dänemark, 1576 die Insel Hveen im Öresund als Lehen. Hier entstanden zwei Observatorien, eines davon unterirdisch, damit der Wind die Beobachtungen nicht verfälschte. Zusätzlich wurden mechanische Werkstätten, eine Druckerei und ein chemisches Laboratorium gebaut. Sophie und Tycho Brahe entwickelten neue astronomische Instrumente, die es ermöglichten, mit bis der dahin unbekannter Genauigkeit von 1 Bogenminute zu arbeiten – 1643 und das noch ohne Teleskop. Sie führten die ersten



Abb. 1: Sophie Brahe, 1556 -



regelmäßigen und langfristigen Beobachtungen in Europa über die Örtter der Fixsterne und die Stellungen der Planeten durch. Ihre Arbeiten mündeten in die Veröffentlichung eines Fixsternkatalogs, in dem etwa 1000 Sterne erfasst sind.

1575 kam Tycho Brahe auf Einladung des hessischen Landgrafen Wilhelm IV., der 1560 in Kassel die erste Sternwarte Europas eingerichtet hatte, zu einem Forschungsaufenthalt nach Kassel. Wegen seines diktatorischen Verhaltens gegenüber den Bauern der Insel Hven und Intrigen des Hofes gegen ihn fiel Tycho Brahe 1797 nach dem Tode Frederiks II. bei dessen Sohn und Nachfolger in Ungnade und musste Hven verlassen. Er ging nach Prag, war dort ab 1599 Hofastronom Kaiser Rudolphs II., arbeitete auch mit Kepler zusammen, bis er 1601 starb. Kepler wertete die Marsbeobachtungen Brahes aus, die ihn zu den beiden ersten Keplerschen Gesetzen inspirierten.

Sophie Brahe blieb in Dänemark und überlebte ihren Bruder um 42 Jahre. Sophie Brahes Leistungen als Astronomin wurden nie eigenständig gewürdigt. Ihr eigener Anteil an der Arbeit mit ihrem Bruder lässt sich nicht mehr feststellen, da über ihr Leben und ihre Arbeit heute kaum noch Aufzeichnungen existieren.

### Elisabetha Hevelius (geb. 1657)

Catherina Koopmann wusste schon als Kind, dass sie ihr Leben dem Studium der Sterne widmen wollte. Sie heiratete im Alter von 16 Jahren 1673 den bereits 62 Jahre alten Astronomen Johannes Hewelcke, latinisiert Hevelius (1611 - 1687) in Danzig, das damals zu Polen gehörte, und nahm den Namen Elisabetha Hevelius an. Zusammen mit ihrem Mann beobachtete sie in Danzig den Mond, Planeten und Fixsterne und bestimmte mit dem großen Sextanten zahlreiche Sternorte (s. Abb. 1). Mit dem Hauptwerk „Selenographia“ (1647) wurde Hevelius zum eigentlichen Begründer der Mondtopographie. Nach dem Tod von Johannes Hevelius organisierte sie die Veröffentlichung des gigantischen Himmelsatlas, der nur seinen Namen trug.

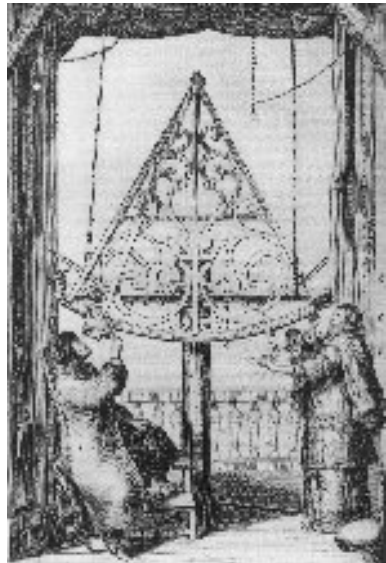


Abb. 2: Johannes und Elisabetha Hevelius bei der Arbeit mit dem großen Sextanten, wegen der nächtlichen Kälte in dicken Mänteln. Danzig 1673

### Maria Kirch (1670 – 1720)

Maria Winkelmann wurde von Christoph Arnold schon früh in Astronomie ausgebildet.

1692 heiratete sie den Astronomen Gottfried Kirch (1639-1710), der für ihre weitere Ausbildung und die seiner drei Schwestern sorgte. Als Gottfried Kirch 1700 zum königlichen Hofastronom in Berlin ernannt wurde, veröffentlichten alle vier Frauen Kalender, Almanache und andere Beobachtungs- und Berechnungsbücher. Damit wurden sie



finanziell unabhängig. Maria Kirchs wichtigste Beiträge zur Astronomie waren die Entdeckung des Kometen von 1702, die Beobachtung der Aurora borealis (Nordlicht) 1707 sowie die Berechnung der Konjunktion von Jupiter und Saturn im Jahre 1712. Den Kometen entdeckte sie nachts, als ihr Mann schlief, als Einzige in Deutschland. Den offiziellen Bericht verfasste ihr Mann in Latein, das sie nicht gelernt hatte. Fortan wurde die Entdeckung des Kometen ihrem Mann zugeschrieben. Maria Kirch bildete ihren Sohn Christfried und ihre älteste Tochter Christine zu Gehilfen aus. Schon bald arbeiteten sie gemeinsam im Observatorium und berechneten Kalender und Jahrbücher.

Als Gottfried Kirch 1710 starb, musste seine Frau die Akademie verlassen, obwohl sich deren Gründer, der Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz für sie einsetzte. Er schrieb: „Ich glaube nicht, dass diese Frau leicht ihresgleichen findet in der Wissenschaft, in der sie unübertroffen ist.“ (nach v. Bredow 2005). Schließlich wurde der Sohn Christfried Kirch 1717 zum Direktor des Berliner Observatoriums gewählt, und seine Mutter und Schwestern wurden seine Assistentinnen. 1720 starb Maria Kirch in Berlin.

### Nicole-Reine Léaute (1723 – 1788)

Die sehr intelligente Nicole-Reine Etable de la Brière Léaute erhielt schon als Kind eine fundierte und breit gefächerte Ausbildung. Ihr Vater war Mitglied des Hofes von Elisabeth von Orleans, der Königin von Spanien. 1748 wurde sie mit Jean André Léaute, dem königlichen Uhrmacher von Frankreich, verheiratet. Die Zusammenarbeit mit ihrem Mann weckte ihr Interesse für Mathematik und Astronomie. Ihre erste wichtige Untersuchung befasste sich mit den Schwingungen von Pendeln unterschiedlicher Länge. Schon bald erwarb sie sich den Ruf, eine der besten astronomischen Rechnerinnen ihrer Zeit zu sein.

1757 nahmen der Astronom und Direktor des Pariser Observatoriums, Jerome Lalande, und der Mathematiker Alexis Clairaut die Berechnung der Bahn des Kometen Halley vor, der zu dieser Zeit wieder erwartet wurde. Sie erhielten dabei die Unterstützung von Nicole Léaute. Lalande schreibt dazu in seinen Aufzeichnungen: „Die Hilfe Madame Léautes

war so, dass ich ohne sie die enorme Arbeit überhaupt nicht hätte in Angriff nehmen können.“ (nach Pietzner et al. 2005, S. 37). Die Zusammenarbeit von Lalande und Nicole Léaute setzte sich in den gemeinsamen Jahrespublikationen der Akademie der Wissenschaften von 1759 bis 1774 fort. Nicole Léaute berechnete u.a. den Venusdurchgang von 1761 und die Sonnenfinsternis von 1764. Für den Verlauf dieser Sonnenfinsternis veröffentlichte sie 1764 ein Tabellenwerk, das den Verlauf der Finsternis für jede Viertelstunde in ganz Europa angab. Ihr zweites wichtiges Tabellenwerk war die „Ephemeris“, die von 1774 bis 1783 erschien. Dort gab sie für jeden Tag die selbst berechneten Positionen von Sonne, Mond und den damals bekannten Planeten an. Clairaut würdigte in seiner Schrift „Kometen“ die Verdienste von Nicole Léaute, die heute fast ganz in Vergessenheit geraten ist. Ihr zu Ehren wurde inzwischen ein Mondkrater nach ihr benannt. Der Krater Léaute liegt bei 33° S und 34° W zwischen dem Mare Humorum und dem Krater Longomontanus.



**Karoline Lucretia Herschel (1750 – 1848)**

Karoline Herschel, die Schwester des Astronomen Wilhelm Herschel (1738-1822), war eine der berühmtesten Astronominen des 19. Jahrhunderts. Sie wurde 1750 in Hannover geboren. Wegen einer Typhuserkrankung wuchs sie nach ihrem 10. Lebensjahr nicht mehr und wurde nur 1,30 m groß. 1766 folgte sie ihrem Bruder Wilhelm, der sie in Mathematik und Astronomie unterrichtete, nach England. Wilhelm (William) Herschel war zunächst Organist und Musiklehrer in Bath bei Bristol und widmete sich daneben der Astronomie. Er entdeckte 1781 den Planeten Uranus, woraufhin er zum königlichen Hofastronomen ernannt wurde. Von 1774 bis 1795 baute er 430 Teleskope mit Brennweiten von 2,15 bis 7,1 m, von denen er viele ins Ausland verkaufte. Die Spiegel schliiff er selbst. Sein Newton-Teleskop mit 1,22 m Spiegeldurchmesser und 11,90 m Brennweite war das größte Fernrohr der Welt. Nach ihm nannte man das Sternbild „Teleskop“ am Südhimmel auch „Herschels Teleskop“.



Abb. 3: Karoline Herschel, 1750-1848

Karoline wurde seine Haushälterin und Assistentin. Sie führte aber auch eigene Beobachtungen durch. So entdeckte sie am 1.8.1786 einen Kometen. Diese Entdeckung brachte ihr Anerkennung in der Royal Society und ihr erstes Gehalt als offizielle Assistentin des Hofastronomen. Als ihr Bruder 1788 die Tochter eines begüterten Kaufmanns heiratete und Karoline Herschel damit nicht mehr den Haushalt versorgen musste, konnte sie sich ganz der Astronomie widmen. Bis 1797 entdeckte sie sieben weitere Kometen, zahlreiche Doppelsterne und mehrere Nebel und war in ganz Europa als hervorragende Astronomin bekannt.

Nach dem Tod ihres Bruders, der im Tubus seines Riesenteleskops bestattet wurde, kehrte Karoline Herschel 1822 nach Hannover zurück, was sie für den Rest ihres Lebens bereute. Sie begann, den Sohn ihres Bruders, John Herschel (1792-1872), zu unterstützen, der inzwischen Astronom und Physiker geworden war. Sie erstellte einen neuen Katalog von 2500 Nebeln, für den ihr 1825 die Goldmedaille der Royal Astronomical Society verliehen wurde. Es folgten weitere Auszeichnungen: 1835 wurde sie zum Ehrenmitglied der Royal Society ernannt. 1838 folgte ihre Wahl in die Royal Irish Academy. 1846 erhielt sie zu ihrem 96. Geburtstag vom preußischen König Friedrich Wilhelm IV. die goldene Medaille für wissenschaftliche Verdienste. Am 9.1.1848 starb sie in Hannover.

### Maria Mitchell (1818 – 1889)

Maria Mitchell, die 1818 in Nantucket (Massachusetts) geboren wurde, führte ein für Frau des 19. Jahrhunderts ungewöhnliches Leben. Sie begeisterte sich schon früh für Mathematik und Astronomie, worin sie von ihrem Vater bestärkt wurde. Nach dem Besuch der Privatschule ihres Vaters ging sie zur berühmten „School for young ladies“ von Cyrus Peirce, an der Frauen besonders in den Naturwissenschaften gefördert wurden. Nach Abschluss ihrer Schulzeit wurde sie Assistentin und Lehrerin bei Peirce.

In ihrer Freizeit widmete sie sich zunehmend der Himmelsbeobachtung. 1847 entdeckte sie einen neuen Kometen, wofür sie mit der Goldmedaille des dänischen Königs ausgezeichnet wurde. Von da an galt sie als führende Astronomin in Amerika und wurde 1848 als erste Frau in die „American Academy of Arts and Science“, 1850 in die „American Association for the Advancement of Science“ und schließlich 1869 ebenfalls als erste Frau in die „American Philosophical Society“ aufgenommen. 1861 wurde Maria Mitchell schließlich als erste Frau auf eine Professur an das renommierte Vassar College berufen. Dort leitete sie als Direktorin das dortige Observatorium und setzte sich für die Förderung von Frauen in der Astronomie ein. Ihr Engagement führte 1875 zu ihrer Wahl zur Präsidentin der „American Association for the Advancement of Woman“. Maria Mitchell starb am 28.6.1889. Sie war in den USA eine der berühmtesten Wissenschaftlerinnen ihrer Zeit und wurde 1905 in die „Hall of Fame for Great Americans“ aufgenommen.

### Henrietta Swan Leavitt (1868 - 1921)

Henrietta Swan Leavitt, eine Pfarrerstochter aus Cambridge in Massachusetts, arbeitete seit 1895 als Astronomin im Mitarbeiterstab von Professor W. H. Pickering. Sie beschäftigte sich vor allem mit der Photometrie veränderlicher Sterne und leitete die Abteilung für fotografische Photometrie. 1904 entdeckte sie veränderliche Sterne in unseren Nachbargalaxien, den Magellanschen



Abb. 4: Henrietta Swan Leavitt

Volken. Weil interstellarer Staub in der Kleinen Magellanschen Wolke fast nicht vorkommt, sind alle Beobachtungsergebnisse aus dieser Wolke wissenschaftlich von besonderem Wert. 1908 veröffentlichte sie ein Verzeichnis mit 1777 veränderlichen Sternen. 1912 entdeckte sie auf Photographien der Kleinen Magellanschen Wolke Veränderliche vom Typ der Delta-Cepheiden und der Mira-Sterne mit Perioden zwischen Bruchteilen eines Tages und 23 Tagen. Sie fand dabei die Beziehung zwischen der Periode und der Helligkeit der Delta-Cepheiden. Von da führte der Weg zur Entfernungsbestimmungen von Objekten außerhalb unserer Galaxie, bei denen die Parallaxen so klein sind, dass sie zur Entfernungsbestimmung nicht verwendet werden können. 1918 leitete dann Harlow Shapley anhand weniger Delta-Cephei-Sterne unserer Galaxie, deren Eigenbewegung und Radialgeschwindigkeiten hinreichend bekannt waren, Parallaxen ab und bestimmte den Nullpunkt der Skala der absoluten Helligkeit. Ab sofort bestand die Möglichkeit zur Entfernungs-



bestimmung für jeden Sternhaufen und jede Galaxie, vorausgesetzt, dass man dort Delta-Cephei-Sterne beobachten konnte. Miss Leavitt hatte dafür die Grundlage gelegt.

### **Annie Jump Cannon (1863 –1941)**

Miss Annie Jump Cannon wurde 1863 in Dover (Delaware, USA) als Tochter eines Schiffbauers geboren. Ihre astronomischen Studien begann sie erst mit 30 Jahren. 1896 wurde sie Assistentin am Harvard-Observatorium unter E. C. Pickering, dem Bruder des Astronomen W. H. Pickering.

Harvard-Direktor Pickering beschäftigte sich nicht nur mit der Photometrie der Sterne, sondern auch mit der Aufnahme von Sternspektren. Dabei halfen ihm die Astronominnen Maury und Cannon. Auf 4800 Photoplaten untersuchte Miss Maury 681 Sterne des nördlichen Sternhimmels, während Miss Cannon auf 5961 Platten 1122 Sterne des südlichen Sternhimmels bearbeitete. Miss Cannon teilte die Sternspektren nach formalen Kriterien ein und stellte nach einer Umstellung die Reihung der Stern-Spektralklassen vor, die als definitive „Harvard-Klassifikation“ heute noch Gültigkeit hat:

O: blauweiße, heiße Sterne, B: bläulichweiße Sterne, A: weiße Sterne (z.B. Sirius), F: gelbweiße Sterne (z.B. Prokyon), G: gelbe Sterne (z.B. Sonne), K: gelbrote Sterne (z.B. Aldebaran), M: rote Sterne (z.B. Beteigeuze). Später sind noch die Spektraltypen R, N: Kohlenstoffsterne und S: Sterne mit Zirkonoxid-Banden, hinzugekommen

Offizielle Anerkennung durch die „International Astronomical Union“ (IAU) erhielt das System 1922, nachdem zuvor schon Miss Cannon begonnen hatte, den unter ihrer Mithilfe entstandenen, neunbändigen „Henry-Draper-Catalogue“ mit dieser Klassifikation zu versehen. Sie befasste sich außerdem mit veränderlichen Sternen, von denen sie 300 entdeckte, darunter fünf Novae. Für weibliche Astronomen stiftete sie den A. J. Cannon-Preis. Am 13.4.1941 starb sie in Cambridge (USA).

### **Literatur**

- Bredow, Rafaela v.: Forschungsgeschichte: Revier des Weibes. Der Spiegel, 24/2005, S.154-155
- Fara, Patricia.: Pandora's Breeches – Woman, Science & Power in the Enlightenment. Pimlicio, London 2004
- Feyl, Renate: Der lautlose Aufbruch – Frauen in der Wissenschaft. Kiepenheuer & Witsch Köln 1994
- Newcomb-Engelmann: Populäre Astronomie. 8. Aufl., Hrsg.: W. Becker, R. Müller und H. Schneller. J. A. Barth, Leipzig 1948
- Pietzner, Verena/ Metzger, Susanne/ Meyer, Hannes: Frauen in den Naturwissenschaften: Astronominnen. In: Kerstin Höner, Maike Looß und Rainer Müller (Hrsg.):
- Naturwissenschaftlicher Unterricht – handlungsorientiert und fächerübergreifend. LIT Verlag Münster 2005, S. 35-59
- Roth, Günter D.: Kosmos Astronomiegeschichte. Franckh, Stuttgart 1987

### **Internetquellen**

[http://www.uni-muenster.de/Physik/Physikstudium/frauen\\_als\\_astronominnen.html](http://www.uni-muenster.de/Physik/Physikstudium/frauen_als_astronominnen.html)

<http://www.physik.tu-darmstadt.de/website/frauen/allgemein/portraits/astronominnen.html>

**„Brooklyn is not expanding!“  
oder  
Werden Atome größer, während das Weltall expandiert ?**

Matthias Simon

Mrs Felix: Why don't you do your homework?

*Warum machst du nicht deine Hausaufgaben?*

Allen Felix: The universe is expanding. Everything will fall apart, and we'll all die. What's the point?

*Das Universum expandiert. Alles wird auseinanderfallen und wir werden alle sterben. Also, was soll das Ganze?*

Mrs Felix: We live in Brooklyn. Brooklyn is not expanding! Go do your homework.

*Wir wohnen in Brooklyn. Brooklyn expandiert nicht! Los, mach deine Hausaufgaben!*

Von Woody Allen: Annie Hall; gefunden in [1], [2] und [3].

Wer hat recht? Jeder, der schon einmal einen Vortrag über die kosmologische Expansion gehört oder sich selbst mit dem Thema beschäftigt hat, kennt wahrscheinlich die Frage: betrifft die Expansion des Weltalls alle Längenskalen von der Größe des Wasserstoffatoms über unsere Alltagswelt bis zu Entfernungen zwischen Galaxienhaufen? Die Antwort vorneweg: im Prinzip: ja, aber praktisch: nein!

Ich versuche, dazu in diesem Beitrag im ersten Teil eine plausible Erklärung mit einfachen Argumenten zu geben. Im zweiten Teil werde ich ein paar Arbeiten von Fachleuten vorstellen, die z. T. den lokalen Einfluss der Expansion auch ausrechnen.

Eine Einführung in die Kosmologie den Rahmen dieses Artikels sprengen. Die Voraussetzung für alle folgenden Überlegungen ist lediglich, dass die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) im Prinzip gültig ist.

### Beobachtungen

Wir beobachten eine Rotverschiebung des Lichts von Galaxien, die mit der Entfernung zunimmt. Hubble stellte 1929 sein berühmtes Gesetz auf, wonach die „Fluchtgeschwindigkeit“  $v$  einer Galaxie proportional zur ihrer Entfernung  $r$  ist:

$$v = H_0 \cdot r$$

$H_0$  ist die sogenannte Hubblekonstante. Eigentlich sollte man besser vom zeitlich veränderlichen Hubbleparameter  $H(t)$  sprechen, dessen heutiger Wert mit  $H_0 = (72 \pm 5) \text{ km/s / Mpc}$  inzwischen relativ genau bekannt ist.



Obwohl für kleine Entfernungen und Geschwindigkeiten dieselbe Gleichung herauskommt, sollte die kosmologische Expansion, die im Hubble-Gesetz ausgedrückt wird, nicht mit dem Dopplereffekt gleichgesetzt werden. Eine ‚fliehende‘ Galaxie bewegt sich nämlich im Moment der Lichtaussendung nicht gegenüber dem umgebenden Raum! Es findet lediglich eine Vergrößerung der Lichtwellenlänge durch die Expansion des Raums statt, *während* das Licht zu uns unterwegs ist. Zwar ‚entfernen‘ sich die Galaxien durch die Expansion auch voneinander, aber bei kosmologischen Fragestellungen sollte man lieber die Rotverschiebung  $z = \Delta\lambda/\lambda$  als Entfernungsmaß verwenden. Für kleine  $z$  gilt dann:

$$z = H_0 \cdot r / c \quad (2)$$

Der Zusammenhang zwischen  $z$  und der Entfernung hängt gerade bei großen  $z$  ( $> 0.5$ ) immer stärker vom verwendeten Weltmodell ab.

Auf großen räumlichen Skalen beobachten wir also eine Expansion des Weltalls, die nach dem relativ gut überprüften Urknallmodell vor ca. 13,7 Milliarden Jahren begonnen hat. Abgesehen von abweichenden Eigengeschwindigkeiten besonders naher Galaxien gibt es keine Ausnahme von der isotropen, das heißt in alle Raumrichtungen gleichen Expansion. Seit den Zeiten von Kopernikus und Kepler wissen wir (hoffentlich), dass die Erde sich nicht im Mittelpunkt des Universums befindet. Natürlich ist auch unsere Galaxie, die Milchstraße, nicht das Zentrum der scheinbaren Fluchtbewegung aller anderen Galaxien. Dies wird in einer zweidimensionalen Analogie oft mit dem Modell von einem Luftballon gezeigt. Auf diesen Ballon kann man Galaxien als schwarze Punkte aufmalen, die sich beim Aufblasen voneinander entfernen. Man kann sich leicht vergegenwärtigen, dass bei einer homogenen, den ganzen Raum betreffenden, gleichmäßigen Ausdehnung es von jedem Standort so scheint, als ob alles andere sich von diesem Punkt entfernt und zwar umso schneller, je weiter entfernt der Punkt sich befindet.

### Allgemeine Expansion ?

Das Ballonmodell führt sofort auf das hier behandelte Problem, wenn man die schwarzen Punkte genauer betrachtet: sie dehnen sich genauso aus wie der Rest des Ballons, der das Universum darstellen soll! Wenn Galaxien sich ausdehnen, warum dann nicht auch das Sonnensystem, die Erde oder alle Maßstäbe auf jeder Längenskala ?

Fragen wir zunächst, ob man die Ausdehnung auch bei kleineren Abständen nicht unmittelbar beobachten kann.

Die Hubblekonstante hat die Dimension einer inversen Zeit. Wäre  $H$  tatsächlich konstant, hat sich das Universum im Mittel jede Sekunde um  $H_0$  relativ zum Gesamtalter ausgedehnt, in Zahlen:

$$H_0 = 72 \text{ km/s} / \text{Mpc} = 72 \text{ km/s} / (3,26 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}) = 2,32 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

$$\Rightarrow 1/H_0 = 4,3 \cdot 10^{17} \text{ s} = 13,6 \text{ Mrd Jahre}$$

Dieser Wert entspricht nur zufällig genau dem aktuell angenommenen Zeitraum nach dem Urknall (= „Weltalter“), die richtige Größenordnung steckt aber auf jeden Fall im Wert für  $H_0$ .

Anschaulicher kann man sich  $H_0$  in der üblichen Schreibweise einer ‚Geschwindigkeit pro Entfernung‘ vorstellen. Die folgende Tabelle zeigt, dass eine unmittelbare Beobachtung einer Expansion auf allen Skalen, die kleiner als Galaxienhaufen sind, daran scheitern würde, dass der Effekt völlig vernachlässigbar gegenüber allen anderen Bewegungen wäre. In der ersten Spalte ist die Expansionsgeschwindigkeit  $v$  angegeben, die ein einer Entfernung  $r$  (zweite Spalte) zu beobachten wäre. Die üblichen Geschwindigkeiten typischen Objekten, die sich auf dieser Entfernungsskala bewegen (vierte Spalte) sind um ein Vielfaches größer. Lediglich im Bereich der Galaxienhaufen kommt die Expansionsgeschwindigkeit in die Nähe der Eigengeschwindigkeiten.

$v$ (Expansion)	$r$	ungefähre Größenordnung	übliches $v$
70 km/s	1 Mpc = 3.26 Mls LJ	lokale Galaxiengruppe	etwa 100 km/s
70 m/s	1 kpc = 3260 LJ	Radius Milchstraße	200 km/s
70 µm/s	1 pc = 3.26 LJ	nächste Sterne	etwa km/s
70 nm/s	30 Mm LJ (200 At)	Sonnensystem	etwa km/s

Momentan ist also die kosmologische Ausdehnung frühestens auf der Ebene der Super-Galaxienhaufen von den Eigenbewegungen der Galaxien zu unterscheiden ist (ab einer Entfernung von ca. 100 Mio LJ).

Es bleibt trotzdem die Frage, ob über die Milliarden Jahre, die das Universum schon existiert, sich nicht trotzdem alles proportional ausgedehnt hat: wenn also das Universum heute ca. 1000mal größer als zur Zeit der Entkopplung von Materie und Strahlung war ( $z = 1000$ , ca. 300.000 Jahre nach dem Urknall), sind dann auch im Extremfall alle Wasserstoffatome 1000mal größer geworden ? Und wenn aus physikalischen Gründen diese Ausdehnung nicht proportional auf allen Maßstäben abläuft, hat sie denn wenigstens irgendeinen langfristigen Einfluss z. B. auf unser Sonnensystem ?

Betrachten wir zunächst den extremen Fall einer völlig gleichmäßigen Expansion. Könnte man eine Expansion, die alle Längenmaßstäbe gleichzeitig und gleichmäßig betreffe, überhaupt feststellen ? Erstaunlicherweise findet man dazu in der Literatur verschiedene Antworten. Oft wird behauptet, dass man eine derartige allgemeine Expansion prinzipiell nicht messen könnte und man sie grundsätzlich von der ‚echten‘ kosmischen Expansion unterscheiden sollte [4]. Kanitschneider [5] argumentiert, dass das nicht richtig sei, da es eine Menge Prozesse in der Natur gibt, die nicht einfach von den linearen Abständen abhängen: schon das Vergrößern eines Menschen um den Faktor zwei macht ihn achtmal schwerer und er würde unter der Last des Gewichts zusammenbrechen, da der Knochenquerschnitt nur um den Faktor vier angestiegen wäre. Man könnte sich viele andere Beispiele ausdenken, die zeigen, dass bei einer derartigen Expansion sich gleichzeitig alle Naturgesetze exakt so ändern müssten, dass die nicht-linearen Auswirkungen der Expansion kompensiert würden. Dies ist allerdings ein sehr abwegiges Szenario und es gibt dafür überhaupt keine Anzeichen. Einige Beispiele:

- wenn z. B. Sterne in früheren Zeitaltern kleiner gewesen wären: dann müssten auch alle Energieerzeugungprozesse und der Wärmetransport nach anderen Gesetzen abgelaufen



sein.

- eine Strukturbildung im Weltall funktioniert nur, wenn tatsächlich die Zahl der Atome pro Raumeinheit früher größer gewesen ist.
- die Evolution der Galaxien hat ziemlich sicher mit zahlreichen Kollisionen im frühen Weltall zu tun, die auch nur in einem dichter besiedelten Weltall auftreten.

Es führt also zu zahlreichen Problemen mit heutigen Beobachtungen, wenn Atome und Galaxien in genau gleicher Weise ihre Größe geändert hätten wie der gesamte Kosmos!

### Gebundene Systeme

Kommen wir zurück zur ursprünglichen Frage, ob es denn wenigstens irgendeinen Einfluss der Expansion auf lokale Systeme gibt.

Die allgemeine Regel, die weiter unten näher begründet wird, lautet: alle durch eine physikalische Wechselwirkung gebundenen Strukturen dehnen sich in erster Näherung nicht mit der allgemeinen Expansion aus. Für große Masseansammlungen wie z. B. Galaxienhaufen, die durch Gravitation zusammengehalten werden, heißt das, dass eine frühe Abkopplung von der Expansion stattgefunden hat. Einen Übergang von gebundenen Systemen zur kosmologischen Expansion gibt es wahrscheinlich bei sogenannten Superhaufen. Die lokale Gruppe bewegt sich zum Beispiel gravitativ auf den Virgohaufen zu, obwohl dieser kleine, aber messbare Rotverschiebungen durch die kosmologische Expansion zeigt. Beide Haufen gehören wahrscheinlich zum gleichen Superhaufen. Kleinere Systeme wie eine Galaxie, ein Sonnensystem, Sterne und Planeten werden durch die Gravitation vollkommen stabilisiert. Noch kleinere Körper unter ca. einigen 10 km Ausdehnung werden durch noch viel stärkere elektromagnetische Kräfte zwischen den Atomen (Kristallgitter) zusammengehalten (so auch Brooklyn, würde es alleine im Weltall schweben).

Man muss sich klarmachen, dass die kosmologische Expansion nicht eine mysteriöse „fünfte Kraft“ oder eine unabhängig vom sonstigen Inhalt des Weltalls agierende, deterministische Vergrößerung aller Maßstäbe ist. Die Expansion ist einzig und allein vom Energiegehalt des Universums bestimmt und kann über die allgemeine Relativitätstheorie (ART, s.u.) ausgerechnet werden, falls man die kosmologischen Parameter kennt und geeignete Anfangsbedingungen bestimmt (Urknall). Der Energiegehalt des Weltalls umfasst sowohl normale Materie, alle Arten von Strahlung, die noch unbekannt dunkle Materie und wahrscheinlich irgendeine Art dunkler Energie, die für Art ‚Antigravitation‘ sorgt. Der Raum zwischen den gravitativ zusammenhängenden Strukturen wird durch die Hubble-Expansion gedehnt, die wiederum durch zusätzliche „Kräfte“ (Abbremsung aufgrund von Massen oder beschleunigte Ausdehnung wegen dunkler Energie) im Laufe der Zeit geändert werden kann.

Mit den Worten der ART ausgedrückt: der Raum, der z. B. durch die Hubble-Expansion expandiert, ist nicht unabhängig von der Gravitationswechselwirkung, sondern die Gravitation der Massen bestimmt die Struktur des Raumes selbst: sie krümmt ihn und hält ihn sozusagen fest. Genauer: die Feldgleichungen der ART verknüpfen Masse, bzw. Energiegehalt mit der Metrik des Raumes. Wheeler drückt das in seinem Buch „Gravitation“ [6] so aus: *Raumzeit greift Materie und Materie greift Raumzeit.*



**Modellvorstellungen**

Man kann sich eine Reihe Modelle überlegen, die diese Überlegungen genauso anschaulich, aber etwas treffender beschreiben als das einfache Ballonmodell von oben.

- 1) Ein aufgehender Teig mit Rosinen: der Teig nimmt im Volumen zu, obwohl die Rosinen unverändert bleiben. Der mittlere Abstand aller Rosinen vergrößert sich stetig. Z.B. in [7]
- 2) Ein aufgeblasener Luftballon mit aufgeklebten Münzen: die Oberfläche des Luftballons, als 2D-Analogen zum Raum, vergrößert sich und der Abstand aller Münzen voneinander wächst, ohne dass sich ihre Größe selbst ändert. Z.B. in [5].

Bei diesen beiden Modellen gibt es bei genauerer Betrachtung immer noch das Problem der scharfen Abgrenzung, denn es gibt kein physikalisches Gesetz, dass die Expansion genau an der Grenzen einer Galaxie (Rosine, Münze) exakt zum Stillstand bringt.

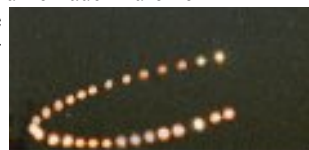
- 3) Die Dynamik des Weltalls verhält sich analog einer Flüssigkeitsbewegung mit suspendierten Teilchen. Die Flüssigkeit kann mit Parametern wie Druck, Dichte und Viskosität so beschrieben werden, dass mit bestimmten Gleichungen ihre globale Bewegung vorhergesagt werden kann. Falls sich gelöste Moleküle oder sogar größere Partikel in der Flüssigkeit befinden, machen sie diese Bewegung einfach mit, ohne selbst verändert zu werden. In diesem Fall entsprechen die Partikel den durch Wechselwirkungen (Gravitation, Elektromagnetismus) stark gebundenen Systemen (Galaxien, Sterne, usw.) [1].
- 4) In einem Gas können sogar Teilbereiche zu Tropfen kondensieren, auch wenn das gesamte Gas expandiert, falls lokale Kräfte überwiegen! [1]
- 5) Eine verbesserte Version des Ballonmodells beschreibt die Vorgänge noch treffender: der Ballon besitzt eine Gummihaut mit unterschiedlicher Zähigkeit, die umso größer ist, je stärker irgendeine Art von Wechselwirkung in diesem Bereich herrscht. Im Prinzip zieht die Expansion auch in diesen Bereichen, sie sind aber um vieles schwieriger auseinander zu bewegen als der Raum dazwischen. [1]

**Genauere kosmologische Beschreibung**

Eine genauere Beschreibung der kosmischen Expansion erfordert die Anwendung der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART). Diese grundlegende Theorie der Gravitation beschreibt in ihrer zentralen Feldgleichung den Zusammenhang zwischen der vier-dimensionalen Raumzeit auf der einen, und der Masse bzw. Energie auf der anderen Seite.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Die im allgemeinen komplizierte Feldgleichung besteht aus der Verknüpfung einiger Tensoren, die die Raumzeit (**R**) und die Masse bzw. Energie (**T**) beschreiben. Zu ihrer Lösung muss man einige vereinfachende Annahmen z. B. zur Verteilung der Masse und Energie und zur Symmetrie des Raumzeit machen. Diese Annahmen führen auch zu einem jeweils ganz bestimmten Koordinatensystem, einer Metrik, die die Struktur der Raumzeit ausmacht. Zwei Beispiele für Lösungen der



ART sind einmal die Friedmann-Robertson-Walker (FRW)-Metrik für die Beschreibung des gesamten Kosmos und zum anderen die Schwarzschildmetrik für eine kugelsymmetrische Massenverteilung wie z.B. die Sonne oder ein schwarzes Loch.

Für die Beschreibung des gesamten Kosmos mit der ART nimmt man an, dass das Weltall auf großen Distanzen gemittelt eine homogene Massen- bzw. Energieverteilung hat. Man vernachlässigt alle „kleinen“ Störungen dieser mittleren Dichte wie Sterne, Galaxien und sogar Galaxienhaufen. Dies führt einen zu den Friedmann-Lemaitre-Gleichungen (FLG), die auf der FRW-Metrik beruhen und den Kosmos und seine zeitliche Entwicklung mithilfe weniger Parameter beschreiben.

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{c^2}{3} \Lambda + \frac{8\pi}{3} \rho - k \frac{c^2}{R^2}$$

$$\ddot{R} = \left[ \frac{c^2}{3} \Lambda + \frac{8\pi}{3} \rho - k \frac{c^2}{R^2} \right]$$

Hubble-Parameter:  $H(t) = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)}$ , heutiger Wert  $H_0$

$R, \dot{R}, \ddot{R}$ : Skalenfaktor und seine 1. und 2. zeitliche Ableitung

$k$ : Raumkrümmungsfaktor (+1: geschlossenes, 0: flaches, -1: offenes Weltall)

$\Lambda$ : kosmologische Konstante (führt zu einer Abstoßung)

$\rho$ : mittlere Dichte des Kosmos

$c$ : Lichtgeschwindigkeit

$\gamma$ : (klassische) Gravitationskonstante

Nach heutiger Kenntnis gilt ziemlich sicher  $k = 0$  und  $\Lambda > 0$ : das Weltall hat eine flache Geometrie und expandiert beschleunigt. Es würde jetzt zu weit führen, die Friedmann-Gleichungen genauer zu diskutieren, was an anderer Stelle schon oft durchgeführt wurde [5, 8, 9]. In diesen Gleichungen kommt als universelle Länge der sogenannte „Skalenfaktor“  $R$  und seine Veränderung mit der Zeit vor. Nimmt  $R$  mit der Zeit zu, expandiert der Kosmos, wie zur Zeit der Fall. Dieser Skalenfaktor  $R$  gilt in der Tat im Prinzip universell, auch auf jeder beliebig kleinen Längenskala! Die Voraussetzung für die Gültigkeit der FLG, ein gleichmäßig gefüllter Raum ohne lokale Materieansammlungen, ist aber im Universum nur auf sehr großen Skalen erfüllt. Deshalb ist die Friedmann-Robinson-Walker Metrik auch nur für Entfernungen von der Größenordnung des gesamten Universums sinnvoll anzuwenden. Aus diesem Grund beschreibt die zeitliche Veränderung von  $R$  in den Friedmangleichungen nur eine allgemeine Expansion und nicht lokale, kleinräumige Phänomene.

Für die Beschreibung lokaler Masseansammlungen, z. B. dem Gravitationsfeld der Sonne, muss man eine andere Lösung der ART verwenden, die sogenannte Schwarzschild-Metrik, die für kugelsymmetrische Massen gilt. In ihr kommt kein sich zeitlich verändernder Längenparameter vor: die Erde zum Beispiel bleibt konstant auf einer stabilen Bahn um die Sonne.

Natürlich entspricht der wirkliche Kosmos keiner der beiden Idealfälle und die „Metrik“,

d. h. die Struktur der Raumzeit, ist eine sehr komplizierte Überlagerung dieser Spezialfälle, die jeweils eine gute Näherung für das betrachtete Problem darstellen. Es gab schon viele Versuche, die wirklichen Bewegungsverhältnisse unter Berücksichtigung der Expansion und lokaler Felder auszurechnen. Leider widersprechen sich die Ergebnisse zum Teil oder sind nur schwer miteinander vergleichbar. Dies liegt vor allem an komplizierten Umgang der ART mit Koordinatensystem und der Struktur der Raumzeit selbst. Es ist deshalb selbst für Fachleute schwierig, aus den Berechnungen beobachtbare Meßgrößen wie zum Beispiel einen ‚Abstand‘ im naiven Sinn abzuleiten, der mit der Wirklichkeit zu vergleichen ist. Im folgenden will ich einige Beispiele für derartige Berechnungen aufführen.

## Rechnungen

1945 beschäftigte sich auch Einstein selbst zusammen mit E.G. Straus mit dem Problem der lokalen Auswirkung der kosmischen Expansion [10], die Einstein schließlich mit der Entwicklung der ART zumindest theoretisch in Gang gesetzt hatte. Sie zeigten, dass es kugelsymmetrische Teile des Kosmos geben kann, von denen nur die Hülle durch die kosmische Expansion expandiert, im inneren jedoch keine Änderung der Geometrie stattfindet. Das innere jeder dieser „Vakuolen“ soll leer sein bis auf ein massives Zentrum, z. B. ein Stern oder eine Galaxie. In der Analogie des Luftballons entsprächen die Vakuolen Löchern in der Haut, deren Radius anwächst. Das Modell von Einstein/Straus mag theoretisch zwar korrekt sein, ist aber in der Praxis völlig unbrauchbar und würde zu sehr seltsamen Komplikationen führen: der Radius einer solchen Vakuole, z. B. berechnet für unsere Sonne, umfasst ca. 100 Lichtjahre, enthält also eine Vielzahl anderer, viel massereicherer Sterne. Auch ist völlig unklar, wie der „Rand“ definiert und in der Natur realisiert ist. Fazit für mich und auch die Kosmologie: Einstein hat schon mal brauchbarere Arbeiten geschrieben...

Die dynamischen Auswirkungen der Expansion auf gebundene Systeme kann man sich relativ einfach anhand der Definition des Hubbleparameters  $H(t)$  in der FRW-Metrik klar machen: eine gleichmäßige Expansion mit  $H(t)$  entspricht einer konstanten Geschwindigkeit  $\dot{R}(t) = H(t)R(t)$  und übt deshalb keinerlei Kraft aus. Erst eine Änderung dieser Geschwindigkeit mit

der Zeit  $\frac{d}{dt}H(t) = \dot{H}(t)$ , also eine Beschleunigung, bewirkt eine zusätzliche Kraft. In der

Sprechweise der Newton'schen Mechanik: Kraft = Masse mal Beschleunigung. Eine Abbremsung oder Beschleunigung der Expansion führt deshalb zu einer kleinen Verschiebung des dynamischen Gleichgewichts eines Systems, jedoch nicht zu einer zeitlichen Änderung der Dimensionen. Wie in [2] näher ausgeführt, ist dies analog zu der Situation, als wenn z.B. die Masse der Sonne einmalig zunähme und deshalb die Erdbahn ein wenig schrumpfen würde: ist das neue Gleichgewicht erreicht, ist das System wieder stabil. Ändert sich nun auch noch die Rate des Abbremsens oder Beschleunigens der Expansion, d.h. ist

$\frac{d}{dt}H(t) = \dot{H}(t)$  ungleich Null, ändert sich die zusätzliche Kraft und damit das dynamische Gleichgewicht eines Systems permanent. Auf lange Sicht ist in diesem Fall jegliches lokale System von der kosmischen Expansion betroffen.

In den im folgenden beschriebenen zwei Veröffentlichungen werden diese Überlegungen quantitativ ausgewertet, zum einen für Planetensystem und Galaxien, zum anderen auf Atome.



Copperstock et al. [4] berechnet die Korrekturen für lokale gravitative gebundene Systeme, die sich aus der allgemeinen Expansion ergeben. Bei der Annahme eines einfachen Friedmann-Kosmos, d.h. einer leichten Abnahme der Expansionsgeschwindigkeit ergibt sich für das Sonnensystem eine zusätzliche Beschleunigung der Erde von  $-3 \cdot 10^{-47} \text{ m/s}^2$ . Vergleicht man dies mit der „normalen“ Gravitationsbeschleunigung von  $6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ , wird deutlich, wie vernachlässigbar dieser Effekt ist. Über die gesamte Lebensdauer des Sonnensystems ergibt sich eine relative Bahnradiusänderung von  $10^{-24}$ .

Für die Milchstrasse ergibt eine ähnliche Rechnung eine Beschleunigung aufgrund der kosmologischen Expansion von  $10^{-21} \text{ m/s}^2$ , während z.B. die Sonne eine Beschleunigung von  $2 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$  erfährt. Selbst für einen mittleren Galaxienhaufen errechnet man immer noch 7 Zehnerpotenzen Unterschied, so dass die Gravitation noch bei weitem die Expansionswirkung dominiert. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit wußte man noch nicht, dass das Weltall sich wahrscheinlich beschleunigt ausdehnt. Dies ändert aber nichts an der Größenordnung der Ergebnisse, lediglich das Vorzeichen dreht sich.

Eine relativ neue Arbeit [11] rechnet die Auswirkung verschiedener Expansionsraten auf die Stabilität von Atomen aus<sup>2</sup>. Ein Ergebnis dieser Rechnungen ist, d.h. es eine Art „alles oder nichts“-Prinzip gibt: ist die Auswirkung der Expansion auf ein atomares System signifikant, dann wird das Atom schnell instabil. Ist dagegen der Einfluss gering, ändert sich am atomaren System nichts, da das elektromagnetische Potential das Atom vollkommen bestimmt. Für gegenwärtige Expansionsraten gibt es keine Änderungen auf atomarem Niveau, aber falls das Universum mit exponentieller Rate expandiert, wird irgendwann der Zeitpunkt kommen, bei dem alle Strukturen zerreißen. Populär ist dies auch schon mit dem „Big Rip“ bezeichnet worden, der allerdings auf Zeitskalen  $> 100$  Mrd. Jahre anzusetzen ist.

Eine andere Arbeit von Bonnor [11] untersucht, wie sich die Expansion auf Systeme auswirkt, die durch elektromagnetische Wechselwirkung zusammengehalten werden. Dies ist relevant, denn alle nicht allzugroßen Körper sind so stabilisiert. Der einfachste Fall ist natürlich das Wasserstoffatom, da es nur aus einem positiv geladenem Proton und einem negativen Elektron besteht. Bonner löst die klassischen Maxwellgleichungen für das kreisende Elektron, während das Proton an der allgemeinen Expansion teilnimmt. Als Referenz dient der Fall, als wären die beiden Teilchen nicht elektrisch geladen, würden also nur „nebeneinander herfliegen“. Nach einem Umlauf um das Proton errechnet Bonner eine relative Bahnverkleinerung von  $10^{-67}$  für das kreisende Elektron im Vergleich zum Referenzfall. Für die gesamte Zeit von der Bildung der Atome (ca. 300.000 Jahre nach dem Urknall) bis heute ergibt sich eine Größenänderung eines Wasserstoffatoms von  $10^{-59}$ . Diese Änderungen sind selbst mit den genauesten Meßmethoden niemals zu detektieren. Die Rechnungen haben die bisherige Expansion berücksichtigt, allerdings gilt auch hier die Einschränkung, dass bei einer exponentiellen Ausdehnung des Weltalls auf kosmologisch langen Zeitskalen der Einfluss merklich wird. Noch etwas Kurioses zum Schluss: Eine russische Gruppe will Laserentfernungsmessungen des Mondes von der Erde dazu nutzen, Aussagen über die lokale Hubble-Konstante zu machen. Dies scheint mir wegen der vielfältigen Störungen der Mondbahn und der extrem kleinen erwarteten Effekte (s.o.) doch ein sehr unsinniges Unterfangen zu sein. Nichtsdestotrotz wurde diese Arbeit bei einer Fachzeitschrift (Astronomy and Astrophysics) eingereicht [13].

<sup>2</sup> Die Arbeit wurde durch die Frage eines Studenten motiviert!

## Zusammenfassung

Die Expansion des Weltalls wird nach der Einstein'schen ART durch den Energieinhalt bestimmt, d.h. durch die vorhandene Masse, Strahlung und eine kosmologische Konstante. Allein durch eine gleichmäßige Expansion an sich wird keine Kraft auf lokale, durch irgendeine Wechselwirkung gebundenen Systeme ausgeübt, die sich in erster Näherung deshalb auch nicht ausdehnen. Wasserstoffatome sind deshalb immer noch im wesentlichen so groß wie zur Zeit ihrer ersten Bildung, auch wenn das Weltall sich seitdem um den Faktor 1000 vergrößert hat. Ebenso behalten Planeten, Sterne und Galaxien ihre Größe. Bei genauerer Betrachtung ergibt sich ein Einfluss, wenn die Expansionsrate sich ändert, also eine Abbremsung oder Beschleunigung der Expansion vorliegt. Auch hier kann man ausrechnen, dass lokale Effekte im wesentlichen vernachlässigbar sind. Dramatisch wird es dann, wenn z.B. die Rate der Beschleunigung zunimmt, was bei einer exponentiellen Expansion der Fall wäre: dann hält auf Dauer nichts der Expansion stand und das Weltall endet in einem „Big Rip“<sup>3</sup>.

Es zeigt sich also, dass die gegenwärtigen genauen Untersuchungen der Hintergrundstrahlung durch den Satelliten WMAP durchaus auch relevant für die hier untersuchte Frage sind. Die Auswertung der Daten führt zu genaueren Werten der kosmologischen Parameter und damit zur besseren Kenntnis der Expansionsrate des Kosmos in der Zukunft.

## Referenzen

Ich habe leider keinen Zugang zur Originalarbeiten der Fachzeitschriften *Astron. & Astrophys.*, *Astrophys. J.* usw., sondern lediglich Vorabveröffentlichungen, sogenannte Preprints, aus dem Internet zur Verfügung (zu finden unter <http://de.arxiv.org/>). Diese Preprints sind noch nicht begutachtet und werden manchmal nur korrigiert oder auch gar nicht später veröffentlicht.

- [1] M. Weiss in Physics FAQ, z.B. [www.desy.de/user/projects/Physics](http://www.desy.de/user/projects/Physics)
- [2] C.H. Lineweaver und T.M. Davis, *Der Urknall- Mythos und Wahrheit*, in *Spektr. d. Wissenschaft* 05/2005
- [3] J.M. Senovilla et al., *Atoms against the universe*, *Physics World*, July 1999, p. 20
- [4] F.I. Cooperstock et al., *The influence of the cosmological expansion on local systems*, *Astrophys. J.* **503**(1), 61-66 (1998) und preprint: astro-ph/9803097
- [5] B. Kanitschneider, *Kosmologie*, Reclam 1991
- [6] J.A. Wheeler, *Gravitation und Raumzeit*, Spektrum Verlag 1992
- [7] R. Kippenhahn, *Licht vom Rande der Welt*, S. 139, Piper 1987
- [8] M. Simon, *Supernovae und die Expansion des Kosmos*, Korona April 1999
- [9] K.-P. Haupt, *Kosmologie*, Skript zum AAK-Kurs
- [10] A. Einstein, E.G. Straus, 1945, zitiert in [3]
- [11] R.H. Price, *In an expanding universe, what doesn't expand?*, preprint: gr-qc/0508052
- [12] W. Bonnor, *Classical and Quantum Gravitation* **16**, 1313 (1999)
- [13] Y.V. Dumin, preprint: astro-ph/0203151 (2002)

<sup>3</sup>Ob davon auch schwarze Löcher betroffen sind, soll an anderer Stelle untersucht werden ...



# 100 = 33x3+1

Christian Hendrich

Seit nunmehr 33 Jahren gibt der AAK die Vereinszeitung Korona heraus. Schon kurz nach der Vereinsgründung erschien die erste Korona und sie sollte sich als feste Größe im Vereinsleben des AAK etablieren. Der dritteljährliche Rhythmus wurde strikt eingehalten, keine einzige Ausgabe wurde versäumt, so sind es mit dieser Ausgabe genau einhundert Koronae. Der Umfang beträgt stets zwischen 30 und 60 Seiten, in denen mal mehr oder mal weniger intensiv über das Vereinsleben berichtet wird. Inhaltlich werden einerseits schriftliche Abfassungen oder Anmerkungen zu den freitäglichen Vorträgen präsentiert oder von aktuellen Beobachtungen berichtet. Besonders aktiv in diesen sind hier R. Hedewig und K.P. Haupt, die als Autoren fast in jeder Korona vertreten sind. Aber auch feste Kategorien haben sich etabliert, wie die Beobachtungshinweise, Buchbesprechungen und Pressemitteilungen. Allerdings hat die Korona auch ihre Daseinsberechtigung als Medium, über das jedes Vereinsmitglied Kontakt zum Verein halten kann. Sie enthält das jeweilige Programm der Veranstaltungen in der Sternwarte und in der Albert-Schweitzer-Schule.

Die Druckqualität der Koronae hat sich stetig verbessert, in den Anfangszeiten wurde noch im DIN-A4-Format kostengünstig auf Matrizen gedruckt und die Zeichnungen mit der Hand angefertigt, so auch das Logo der Korona. In den folgenden Jahren ging man zum professionellen Offsetdruck im handlichen DIN-A5-Format über. In dieser Ausgabe darf ich noch eine Neuerung präsentieren: Dank der finanziellen Unterstützung von R. Hedewig ist es zum ersten - und hoffentlich nicht zum letzten Mal - möglich geworden, die Umschlagseiten in Farbe zu drucken. Hier sei insbesondere R. Gerstheimer zu danken, der ein Großteil der in dieser Korona abgedruckten Kollagen aus seinen Fotoaufnahmen angefertigt hat.

Nicht zuletzt hatte auch die Redaktion der Korona einen großen Anteil am Erfolg der Korona. Die Mitglieder der Redaktion, u.a. P. Fuchs und T. Damm stellten die Artikel in unermüdlicher Arbeit zusammen, ermahnten die Mitglieder zum Einhalten des Redaktionsschlusses und schlugen sich Nächte mit dem arrangieren der Texte und Grafiken mit Kleber und Schere um die Ohren.

## Quo vadis?

Die Korona ist mit 33 Jahren wahrlich aus den Kinderschuhen heraus. Über die vielen Jahre hinweg beobachtet man eine Entwicklung weg von Beobachtungen und Berichten über das Vereinsleben hin zu Berichten, die den Freitags-Vorträgen zugeordnet sind. Auch ist festzustellen, daß der Autorenkreis immer kleiner wird. Insbesondere junge Autoren, die z.B. motiviert über Ihre ersten Erfolge bei Beobachtungen in der Sternwarte berichten, fehlen heutzutage fast vollständig. Auch wäre es wünschenswert, die in letzter Zeit deutlich zurückgegangene Anzahl astronomischer Fotos wieder zu erhöhen. Gutzuheiß ist, daß die Berichte ein hohes amateur-wissenschaftliches Niveau erreicht haben und auch der Seitenumfang in den letzten Jahren nahezu konstant geblieben ist.

Ich habe allerdings keine Zweifel, daß die Korona auch in der nächsten 33 Jahren ein wichtiger Sockel im Vereinsleben ist und wir dann hoffentlich die Ausgabe 200 feiern können.

Damit dies gelingt, rufe ich alle potentiellen Autoren auf, sich einen Ruck zu geben und mal einen Beitrag für die Korona zu schreiben. Es ist einfacher als man denkt und die Redaktion gibt gerne Hilfestellungen.











## Rezension: Redshift Enzyklopädie Weltall

Christian Hendrich

Bei der „Redshift Enzyklopädie Weltall“ handelt es sich um eine Software, die das Sternkartenprogramm „Redshift“ mit einer Enzyklopädie von „National Geographic“ vereint. Im Gegensatz zur Einzelversion von „Redshift“ steht hier die Enzyklopädie im Vordergrund, allerdings ist das enthaltene Redshift, das der älteren Version x (aktuell 5.1) entspricht, voll allein funktionsfähig.

Das Paket besteht aus folgenden Komponenten: Enzyklopädie, Redshift, Astronomie-Lexikon, Videogalerie, Bildergalerie, einem Verzeichnis von Astro-Rekorden und sogenannten Führungen.

Die **Enzyklopädie** ist weniger wie ein Lexikon sondern eher wie ein Buch aufgebaut und besteht aus sechs Kapiteln. Umfassend werden die Grundlagen der Astronomie, das Sonnensystem sowie Sternstypen, Nebel und Galaxien besprochen. Drei Kapitel sind der bemannten Raumfahrt, deren Technik und



Abb. 3: Enzyklopädieartikel über das Spaceshuttle

Physik sowie der kommerziellen und militärischen Nutzung des Weltalls gewidmet. Außerdem werden fast alle Kapitel und Unterkapitel durch ein Essay eines Experten auf dem Gebiet abgeschlossen. Inhaltlich ist die Enzyklopädie sehr textlastig, einige Artikel bestehen fast nur aus Fließtext und jeder Artikel enthält meist nur eine einzige Abbildung oder Tabelle. Auch sind manche Unterkapitel sehr kurz geraten und bestehen teilweise nur aus einem Vierzeiler. Zum Beispiel findet man zum Thema „Apollo 1“ bei Wikipedia im Internet etwa die vierfache Menge an Text sowie auch viele (lizenzfreie) Bilder, die in der Enzyklopädie schlichtweg fehlen. Ein anderes Beispiel sind die Mondmissionen der NASA, hier vermisst man Abbildungen der Landemodule oder Schemazeichnungen der Raketen oder der Flugbahnen. Oft sind solche Bilder in der wirklich sehr umfangreichen **Bildergalerie** vorhanden, die allerdings nicht in den Enzyklopädie-Artikeln verknüpft sind. Die Bildergalerie selbst ist nach Stichworten geordnet und man gelangt auch aus der Sternkarte „Redshift“, z.B. beim Klick auf eine Galaxie zum zugehörigen Bild aus NASA-Quellen. Sehr gute Qualität haben eine Mars- und eine Mondkarte die in zweifacher Bildschirmgröße betrachtet werden können.

Aus der **Enzyklopädie** gelangt man auch beim Klick auf spezielle Links zur Sternkarte Redshift, die dann das entsprechende Objekt darstellt. Ebenso sind auch etwa 50 mehr oder weniger nützliche Videos aus der **Videogalerie** verknüpft, die mit einer Länge von etwa ein bis zwei Minuten auf Themen wie z.B. zum Sonnensystem oder dem Hubble-Teleskop eingehen. Außerdem gibt es sog. Exkursionen, das sind mit erklärendem Text versehene Videomitschnitte von unten genannten Führungen.



Zusätzlich zur Enzyklopädie enthält das Paket auch ein **Astronomie-Lexikon**, welches aus Redshift, allerdings nicht aus der Enzyklopädie aufrufbar ist. Die Einträge sind teilweise recht ausführlich, aber manchmal auch viel zu kurz. Weiterhin gibt es ein Verzeichnis mit **Astronomie-Rekorden**, in dem z.B. der größte Stern und die entfernteste Galaxie zu finden sind.

Die Sternkarte **Redshift** ist ein guter Grund, das Programm zu kaufen. Sie besticht durch recht intuitive Benutzeroberfläche, die nicht durch zu viele Einstellmöglichkeiten überladen ist. Es besteht die Möglichkeit, beliebige Orte auf der Welt und sogar auf Planeten sowie Monden im Sonnensystem zu wählen und sich die Sternkonstellationen zu beliebigen Zeiten anzusehen. Mit einfachem Tastendruck erhält man einen Zeitraffer der die Sternbewegungen mittels einer Strichspur veranschaulicht, was bei Sonnenfinsternissen oder Sternbedeckungen nützlich ist. Die Darstellung der Sternbilder als Schemazeichnung oder als Bild ist selbstverständlich auch möglich. Ebenso können die Bahnen von Raumfähren, Raumstationen und Satelliten eingeblendet (und auch aus dem Internet aktualisiert) werden. Sehr schön ist die Darstellung der Planeten, Galaxien und Nebel gelungen, bei denen echte Bilder in die Sternkarte eingebunden werden. Neu ist die Einblendung von Meteoritenströmen, die anschaulich den scheinbaren Ursprung der Meteoriten darstellt. Sehr gut dargestellt sind die zu jedem Objekt aufrufbaren Informationen, wie z.B. Helligkeit, Entfernung, dreidimensionale Lage in Bezug zu unserem Sonnensystem, Position im Hertzsprung-Russell-Diagramm, Sichtbarkeit. Etwas gewöhnungsbedürftig aber auch unter Umständen vorteilhaft ist die Speicherung der Einstellungen und Orte in sogenannten „Arbeitsbereichen“.

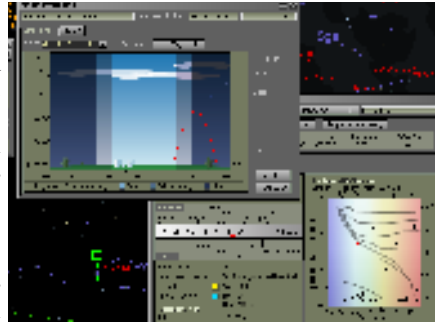


Abb. 4: Redshift zeigt Informationen zum Stern Formalhaut an

Wirklich gut gelungen sind die sogenannten **Führungen**. Sie sind über das Menü von Redshift oder über ein Klick auf ein Bild in der Enzyklopädie zu starten. Hierbei handelt es sich um eine Kombination von gesprochenem Text und Abbildungen mit einer interaktiven Animation der Sternkarte. Auf diese Weise sind viele etwa 2 Minuten lange Planetariumsvorträge, wie „So finden Sie sich am Sternenhimmel zurecht“ oder „Der nördliche Sternhimmel“ realisiert. Aber auch weitergehende Führungen, wie z.B. „Entdeckung der Galileischen Monde“ sind gut gelungen. Nach den Führungen bleibt die Einstellung der Sternkarte erhalten, so daß man interaktiv das Thema weiterverfolgen kann. Leider wird dabei der alte Arbeitsbereich nicht vorher gespeichert, so daß man nur umständlich zur gewohnten Ansicht zurückkehren kann.

Wirklich gut gelungen sind die sogenannten **Führungen**. Sie sind über das Menü von Redshift oder über ein Klick auf ein Bild in der Enzyklopädie zu starten. Hierbei handelt es sich um eine Kombination von gesprochenem Text und Abbildungen mit einer interaktiven Animation der Sternkarte. Auf diese Weise sind viele etwa 2 Minuten lange Planetariumsvorträge, wie „So finden Sie sich am Sternenhimmel zurecht“ oder „Der nördliche Sternhimmel“ realisiert. Aber auch weitergehende Führungen, wie z.B. „Entdeckung der Galileischen Monde“ sind gut gelungen. Nach den Führungen bleibt die Einstellung der Sternkarte erhalten, so daß man interaktiv das Thema weiterverfolgen kann. Leider wird dabei der alte Arbeitsbereich nicht vorher gespeichert, so daß man nur umständlich zur gewohnten Ansicht zurückkehren kann.

**Fazit:** Die CD-Rom ist durchaus empfehlenswert, insbesondere die Führungen und die sehr gute interaktive Sternkarte „Redshift“ sind das Geld wert. Während Redshift technisch ausgereift ist, treten bei der Enzyklopädie einige leichte Unannehmlichkeiten in der Handhabung auf. Fraglich ist, ob die Enzyklopädie aufgrund Ihrer im Vergleich zu Internet-Lexika ähnlichen Umfangs einen wirklichen Mehrnutzen bringt, so daß die aktuelle Einzelversion von „Redshift“ eine Alternative darstellt.

**Hersteller:** United Soft Media GmbH, <http://www.usm.de>

**Betriebssystem:** Windows 98 oder neuer, **CPU:** ab 300 Mhz, **Arbeitspeicher:** 64 MB

**Festplatte:** ab 920 MB (!!!), **CD-Rom:** ab 12fach, **unverbindliche Preisempfehlung:** 49,90 Euro

## Beobachtungshinweise

Christian Hendrich

3.-4.1.2006		Quadrantiden Maximum (sichtbar 1.-5.1., ZHR < 100 (stark), V=40km/s (mittel))
4.1.2006	11 Uhr MEZ	Erde im Perihel (Sonnennähe, Abstand Erde-Sonne 0,9833 AE)
5.1.2006	24 Uhr MEZ	4 Vesta in Opposition (6 <sup>m</sup> ,0 in den Zwillingen)
8.1.2006	20 Uhr MEZ	Mond 0,8 Grad nördlich von Mars
10.1.2006	1 Uhr MEZ	Merkur im Aphel (Sonnenerne, Abstand Merkur-Sonne 0,468 AE)
14.1.2006	1 Uhr MEZ	Venus in unterer Konjunktion
15.1.2006	18 Uhr MEZ	Mond 3,4 Grad nördlich von Saturn
18.1.2006		Delta-Cancriden Maximum (2.-25.1., ZHR=4 (schwach), V=30km/s (langsam))
25.1.2006	2 Uhr MEZ	Venus im Perihel (Sonnennähe, Abstand Venus-Sonne 0,718 AE)
26.1.2006	23 Uhr MEZ	Merkur in oberer Konjunktion
27.1.2006	24 Uhr MEZ	Saturn in Opposition
29.1.2006		Chinesisches Neujahr (Jahr des Hundes)
2.2.2006	17 Uhr MEZ	Venus im Stillstand, danach rechtläufig
5.2.2006	23 Uhr MEZ	Mond bei Mars, Mond 1,6 Grad nördlich
5.2.2006	24 Uhr MEZ	Neptun in Konjunktion
6.-9.2.2006		Alpha-Aurigiden sichtbar (schwach, langsam)
11.2.2006	18 Uhr MEZ	Mond 3,3 Grad nördlich von Saturn
17.2.2006	16 Uhr MEZ	Venus im größten Glanz (-4m,6)
20.2.2006	3 Uhr MEZ	Mond 5,6 Grad südlich von Jupiter
23.2.2006	1 Uhr MEZ	Merkur im Perihel (Sonnennähe, Abstand Merkur-Sonne 0,307 AE)
24.2.2006		Delta-Leoniden Maximum (sichtbar 15. Februar - 10. März, schwach, langsam)
24.2.2006	6 Uhr MEZ	Merkur in größter östlicher Elongation (18,1 Grad)
1.3.2006	20 Uhr MEZ	Uranus in Konjunktion mit der Sonne
2.3.2006	8 Uhr MEZ	Merkur im Stillstand, danach rückläufig
5.3.2006	1 Uhr MEZ	Jupiter im Stillstand, danach rückläufig
6.3.2006	1 Uhr MEZ	Mond 4,3 Grad südlich von Mars
10.3.2006	22 Uhr MEZ	Mond 3,4 Grad nördlich von Saturn (siehe Vormonat)
12.3.2006	4 Uhr MEZ	Merkur in unterer Konjunktion mit der Sonne
15.3.2006	0:46 MEZ	Halbschattenfinsternis des Mondes
20.3.2006	19:26 MEZ	Sonne in Frühlingspunkt, Tagundnachtgleiche, Frühlingsanfang
24.3.2006	13 Uhr MEZ	Merkur im Stillstand, danach rechtläufig
25.3.2006	8 Uhr MEZ	Venus in größter westlicher Elongation (46,5 Grad)
26.3.2006	2 Uhr MEZ	= 3 Uhr MESZ, Beginn der Sommerzeit
29.3.2006	11:20 MEZ	Lokal partielle (Kassel 30%), totale Sonnenfinsternis (Mittelmeer, Afrika, Türkei)
29.3.2006	16 Uhr MEZ	Pluto im Stillstand, danach rückläufig
8.4.2006	20 Uhr MEZ	Merkur in größter westlicher Elongation
9.4.2006	14 Uhr	Mond in Erdferne (Apogäum, 405.551 km)
18.4.2006	12:30MEZ	Venus 19' nördlich Uranus

**Quellen:** <http://me.in-berlin.de/~jd/himmel> • H.-U. Keller (Hrsg.): Das Kosmos Himmelsjahr, Franck-Kosmos-Verlag • Ron Baalke (Hrsg.): Space Calendar, NASA/JPL, <http://www.jpl.nasa.gov/calendar/> • Fred Espenak (Hrsg.), "Twelve Year Planetary Ephemeris (TYPE)", NASA/GSFC, <http://lep694.gsfc.nasa.gov/code693/TYPE/TYPE.html>



## Ankündigungen

### Astronomisches Abenteuer Camp 2006

Das Astronomische Abenteuer Camp wird von der Moerser Astronomischen Organisation e.V. (M.A.O.) mittlerweile zum 28. Mal durchgeführt, 2006 zum ersten mal in Zusammenarbeit mit der Vereinigung für Jugendarbeit in der Astronomie, VEGA e.V.

Das AAC findet vom 08. bis 17.04. 2006 statt, als Unterbringung dient die Mühle Wissel bei Kalkar am Niederrhein. Teilnehmen können bis zu 20 Jugendliche im Alter von 16 bis 24 Jahren. Der wichtigste Programmpunkt sind Arbeitsgruppen, in diesem Jahr zu den Themen „Entfernungsbestimmungen in Sonnensystem und Kosmos“ sowie „Das Universum in verschiedenen Wellenlängen“.

Außerdem wird gemeinsam beobachtet, für ein „Nicht-Astronomisches Programm“ zur Auflockerung wird auch gesorgt und es gibt einen Tagesausflug nach Nimwegen. Das AAC ist offen für Einsteiger und Fortgeschrittene. Der Teilnahmebeitrag beträgt 170 Euro.

Infos und Anmeldeunterlagen sind erhältlich bei:

Volker Heesen, Kreuzstr. 5, D-44787 Bochum, Tel.: 0234-6870243, Tel.: 0234-3223448

email: [heesen@astro.ruhr-uni-bochum.de](mailto:heesen@astro.ruhr-uni-bochum.de), internet: [www.sternwarte-moers.de/AAC/aac.html](http://www.sternwarte-moers.de/AAC/aac.html)

---

### 42nd International Astronomical Youth Camp

IAYC 2006, July 16th - August 5<sup>th</sup>, Tremesek, Czech Republic

The International Astronomical Youth Camp (IAYC) 2006 will take place in "Rekreacní areál Tremesek". The house is located in the undisturbed environment of local woods, 3 km outside the village of Tremesek in the Olomouc Region in northern-east Czech Republic. The house is a recreational site situated 521 m above sea level in the region of Low Jeseníky mountains.

The IAYC is an international youth camp with participants from about 20 different countries. As a participant you work for three weeks in one of the 8 working groups - together with other young people - on astronomical projects. The projects vary from night-time observations to theoretical problems, depending on your own interests. The working groups will be led by young scientists from the IAYC team.

Apart from the astronomical program, there are many non-astronomical activities such as group games, sport events, singing evenings, hiking tours and an excursion. Since it is an international camp, the camp language is English. You should be able and willing to speak English throughout the camp. It is not necessary to speak English fluently.

The accommodation for the IAYC 2006 will be a very pleasant hotel called "Rekreacní areál Tremesek". The remote location of the house promises excellent observing conditions.

Anyone from 16 to 24 years old and able to communicate in English may participate in the IAYC 2006. The fee for accommodation, full board and the whole program, including the excursion, will be 450 Euro. For interested persons who are in the situation of not being able to pay the camp fee themselves, a **limited number of grants** is available.

You can order - free of charge - an information booklet including an application form from:

Klaas Vantournhout, Eninkstraat 21, B-8210 Loppem, Belgium, tel.: +32 50 82 41 40

e-mail: [info@iayc.org](mailto:info@iayc.org)

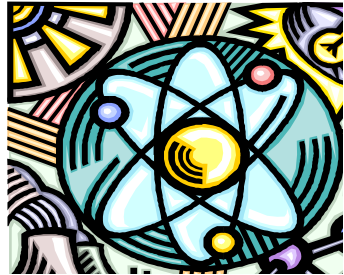
## workshop

# Die Welt der Quanten

Lichtenstein, schwäbische Alb  
**Di, 13. Juni 2006 bis So, 18. Juni 2006**

Veranstalter:

- PhysikClub der Kinder- und Jugendakademie Kassel
- Astronomischer Arbeitskreis Kassel (AAK) e.V.
- Albert-Schweitzer-Schule Kassel



**Abfahrt:** Dienstag, 13. Juni, 11.30 Uhr ASS, Neubau, Parkstr.

**Rückkehr:** Sonntag, 18. Juni, gegen 21.00 Uhr

Unterkunft: Haus Sonnenfels in Lichtenstein, Schwäbische Alb, südlich von Reutlingen  
 Das am Waldrand stehende Haus besitzt 42 Betten in 2-, 3-, 4-, 5- und 6- Bett-Zimmern, Liegewiese, Grillplatz, Fußballplatz, Volleyballfeld, Abenteuerbach, Seminarräume mit DVD und Beamer sowie Internet, Tischtennisraum, Billard, es ist in der Nachbarschaft zahlreicher Schauhöhlen, mitten in einer beeindruckenden Karstlandschaft, in Spaziergangnähe zur berühmten Burg Lichtenstein. Inkl. Frühstück- und Abendbuffet, Mittagessen

Kosten für Fahrt im modernen Reisebus, Unterkunft, Verpflegung, Freizeitprogramm, Arbeitsgruppen und wissenschaftliches Programm, Vortrag Prof. v. Klitzing und Prof. Ruder, Outdoor Event, lokale Transporte: 240.- € (Eigene Anreise, nur für Teilnehmer, die nicht aus Nordhessen sind, 200.-€)

Anmeldungen ab 15.1. 2006 bei KP Haupt bei den Freitagsvorträgen, im PhysikClub oder im ASS, Anmeldeformular dort oder unter [kphaupt@aol.com](mailto:kphaupt@aol.com) anfordern

**Lektüre** zum motivierenden spannenden Einstieg: Anton Zeilinger Einsteins Spuk: Teleportation und weitere Mystereien der Quantenphysik, Bertelsmann, 2005

**Warum gerade dieses Thema?**

Von Max Planck 1900 gezeugt und von Albert Einstein 1905 ins Leben gebracht, wurde die Quantenmechanik innerhalb von gut 20





Jahren zu einer präzisen physikalischen Theorie, mit der man plötzlich alles erklären konnte. Wir haben es aber auch Albert Einstein, dem Geburtshelfer der Quantenmechanik, zu verdanken, dass schnell deutlich wurde, dass die Quantenmechanik allen anschaulichen Vorstellungen von unserer Welt widerspricht.

Jahrzehnte hat es gedauert, um diesen Schock zu verkraften und zu überwinden.

Obwohl die Quantenmechanik, als wohl größte kulturelle und wissenschaftliche Leistung der Menschheit, unser Weltbild revolutioniert hat, ist diese Revolution nur in den Köpfen von Wenigen angekommen, scheinbar zu abstrakt und zu unverständlich scheinen diese spukhaften Erscheinungen zu sein. Entsprechend stiefmütterlich werden auch diese Erkenntnisse im Physikunterricht behandelt.

Dieser workshop soll Abhilfe schaffen, zeigen, dass man über die Quantenmechanik einen faszinierenden Einblick in die Realität erhält, er soll die Begriffsbildungen hinterfragen und zeigen, dass durchaus ein verstehender Einblick auch ohne höhere Mathematik möglich ist. Die Quantenmechanik beantwortet uns auch zumindest teilweise zentrale naturphilosophische Fragen nach der Beschaffenheit der Realität und wirft neue, ungeahnte Fragen auf.

Wir leben im beginnenden Quantenjahrhundert, schon jetzt erwirtschaften die Industrienationen einen beachtlichen Teil ihres Wohlstandes durch Anwendungen der Quantenmechanik und schon für die nächsten Generationen werden quantenmechanische Effekte vielleicht zum Alltag technischer Innovation gehören.

Es wird Zeit, dass wir auch intellektuell den Aufbruch in das Quantenjahrhundert beginnen!

Daniel M. Greenberger: *Einstein sagte, die Welt kann nicht so verrückt sein. Heute wissen wir, die Welt ist so verrückt.*

Max Planck: *Heute habe ich eine Entdeckung gemacht, die ebenso wichtig ist, wie die Entdeckung Newtons.*

Niels Bohr: *Wer über die Quantentheorie nicht entsetzt ist, der hat sie nicht verstanden.*

### **Zum Ablauf:**

In einer lockeren Folge aus Arbeitssitzungen, Plenumsveranstaltungen, Freizeitaktivitäten, Events, Vorträgen, Filmen sowie Höhlenexkursionen werden wir uns in gewohnt eigenständiger Weise mit der Quantenmechanik vertraut machen.

Bis auf einen Erholungstag sind an den anderen Tagen weitgehend Arbeitsgruppen und Plenumsveranstaltungen, ein Tagesanteil aber ist auch hier immer zur eigenen Gestaltung frei.

### **Eröffnungsvortrag:**

Prof. Dr. Klaus von Klitzing (Direktor des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung, Stuttgart, Nobelpreis für Physik 1985 für die Entdeckung des Quanten-Hall-Effekts) kommt am Dienstag, 13.6. um 19.00 Uhr mit dem Vortrag:

„Der Quantensprung in die Nanoelektronik“

### **Fachvortrag:**

Prof. Dr. Hanns Ruder, Institut für theoretische Astrophysik, Universität Tübingen kommt zum dritten Mal in unseren Workshop. Er kommt diesmal am Mittwoch, 14.6. um 19.00 Uhr mit dem Vortrag:

„Quantenmechanik in den starken Magnetfeldern von Neutronensternen“



**Nicht fachliches Programm** (NFP):

- Selbstorganisierte Tätigkeiten: Wie Tarzan am Seil baden geht, Tischtennis, Billard, Fußball, Volleyball, Faulenzen, Wanderung zur Burg
- Musikabend: Wir bilden ein workshop orchester mit Chor (tragbare Instrumente mitbringen, Klavier und Schlagzeug vorhanden)
- Space tower, für die, dies noch nicht kennen und noch mal wollen
- **Outdoor-Event** (am Freitag, ganztägig): **Quantensprünge in, über und unter der schwäbischen Alb** (mit Frank und seinem Team)
- Höhlenexkursion
- Filmabend

**Zum Outdoor Event:**

Feste über die Knöchel gehende Schuhe, alte Kleidung, Müllsäcke, Taschenlampe, Regenschutz, Badekleidung, Handtuch, Arbeitshandschuhe, Lebensversicherung, Taschenmesser (wenn möglich), Kompass oder GPS (wenn vorhanden) und in Folie eingewickelte oder besser eingeschweißte Ersatzkleidung mitbringen.

**Literaturhinweise:**

- Anton Zeilinger, Einsteins Schleier: Die neue Welt der Quantenphysik, Beck 2003  
 Anton Zeilinger Einsteins Spuk: Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik, Bertelsmann, 2005  
 Jürgen Audretsch, Verschränkte Welt: Faszination der Quanten, Wiley, 2002  
 Brian Greene, Der Stoff, aus dem der Kosmos ist, Siedler 2004  
 Tony Hey, Patrick Wolters, Das Quantenuniversum: Die Welt der Wellen und Teilchen, Spektrum Akademischer Verlag, 1998

**Taschenbücher unter 10.-€:**

- Claus Kiefer, Quantentheorie, Fischer Kompakt, 2002  
 Dagmar Bruß, Quanteninformation, Fischer kompakt, 2003  
 Gert-Ludwig Ingold, Quantentheorie, Beck Wissen, 2002  
 Zahlreiche Artikel in Spektrum der Wissenschaft

**Ablauf des workshops und Einwahl der Arbeitsgruppen**

Jeder der bisherigen workshops hatte eine andere Arbeitsstruktur, das wird auch diesmal nicht anders sein. Jeder der Teilnehmer/innen sollte einen Weg durch die Quantenmechanik gehen. Der Weg selbst ist unbestimmt, er besteht aus der Überlagerung verschiedener Möglichkeiten. Am Ende des Weges gibt es eine Lokalisierung, d.h. alle befinden sich auf einer Position und tauschen vor dem Beginnen neuer individueller Wege ihre Erfahrungen und Informationen aus. Das hört sich kompliziert an, ist es aber nicht, so wie die Quantenmechanik. Es erspart uns aber langwierige Plenumsveranstaltungen, an denen wir uns in einer Großgruppe gegenseitig über unsere Arbeit in Kenntnis setzen, was letztlich nur sehr oberflächlich und auch ermüdend sein kann.

**Deshalb wird folgendes Prinzip im workshop durchlaufen:**

Es gibt 6 Arbeitsgruppensitzungen, die jeweils unter einem Oberthema stehen. Zu jedem dieser Oberthemen gibt es ca. 10



verschiedene Schwerpunktbereiche, aus denen insgesamt 8 nach erfolgter Einwahl angeboten werden. Jede(r) Teilnehmer/in wählt sich schon vor Beginn des Workshops (sonst ist es organisatorisch nicht zu bewältigen) in einen der Schwerpunktbereiche ein (und das für alle Oberthemen). Dann wird in der Gruppensitzung in Kleingruppen von 3...4 Personen der jeweilige Schwerpunktbereich bearbeitet.

Die nächste Arbeitsgruppensitzung beginnt dann mit einer kurzen Aufgabe oder Problemstellung zum letzten Oberthema, die in 30 bis 60 Minuten von der neuen Gruppe (die schon für das nächste Schwerpunktthema zusammengesetzt ist) bearbeitet bzw. besprochen wird. In der Regel werden in dieser neuen Gruppe Personen aus unterschiedlichen früheren Schwerpunktbereichen dieses Oberthemas sein und das Problem somit unter verschiedenen Schwerpunkt-Aspekten beleuchtet.

Danach wendet sich die Gruppe dem neuen Oberthema zu und bearbeitet gemeinsam das Schwerpunktthema, für die sie sich zusammengefunden hat. Die nächste Arbeitsgruppensitzung beginnt wieder zu einer Aufgabe zu dem gerade abgehandelten Schwerpunktthema.

Es sollten sich immer aus den Schwerpunktthemen 8 Gruppen bilden. Material, Informationen, aber auch Kurzreferate zu den Schwerpunktthemen werden bereitgestellt, Internetrecherchen können durchgeführt werden. Die Erarbeitung erfolgt

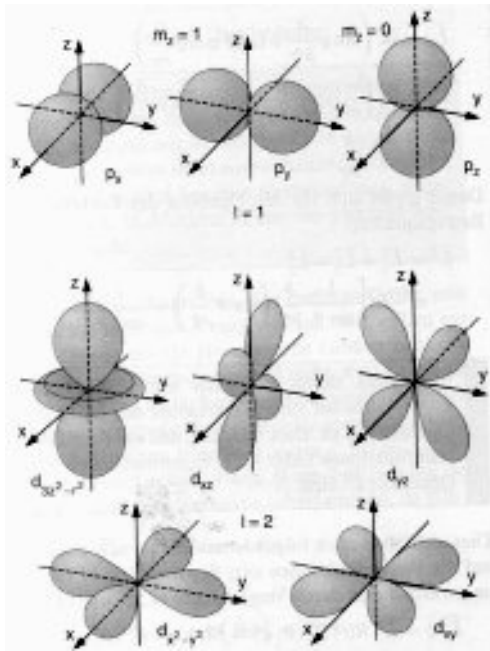
aber weitgehend eigenverantwortlich und eigenständig, mit Hilfe eigener Vorkenntnisse, des ausgegebenen Materials und durch Unterstützung eines Moderators. Die mit (\*) versehenen Themen stellen höhere, teils mathematische, Anforderungen.

Eine Arbeitsgruppensitzung hat als Schwerpunkt philosophische Fragestellungen, ansonsten ist aber in fast jeder der anderen Oberthemen ein philosophisch orientiertes Schwerpunktthema vorhanden.

Ergänzt wird diese Beschäftigung mit der Quantenmechanik durch zwei Vorträge und einigen kurzen Plenumstreffen.

Im Mai erfolgt die Einwahl in die Schwerpunktthemen, dazu erhält jede(r) Teilnehmer/in ein kleines Workshop – Infoheft, in dem neben der Beschreibung der Themen (s.u.) auch ein Überblicksartikel enthalten ist, der die notwendigen Informationen für die Auswahl bereitstellt.

Es ist aber nicht unbeabsichtigt, wenn man sich bis dahin schon mal in einigen der Freitagsvorträge oder durch einen Blick in ein Physikbuch oder ein Lexikon über das ein oder andere, interessant klingende Thema informiert und sich so die Einwahl erleichtert.



Schematische Darstellung der Wellenfunktionen der Elektronen im Wasserstoffatom

**Vorläufiger Ablaufplan****Dienstag, 13.6.**

- Eintreffen und Zimmerbelegung
- Kurzeröffnung mit dem Abendbuffet um 18.00 Uhr
- 19.00 Uhr **Vortrag Prof. Dr. Klaus v. Klitzing: Der Quantensprung in die Nanotechnologie**
- 21.30 Uhr Kurzplenium zur Vorbereitung des workshop Ablaufs, Organisatorisches

**Mittwoch, 14.6.****Arbeitsgruppensitzung 1 : Grundlegende Ideen und Prinzipien der Quantenmechanik**Schwerpunktthemen:

- 1.1 Welle oder Teilchen? Keins von beiden!
- 1.2 Die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Psifunktion
- 1.3 Prinzipien der klassischen Mechanik und die Übertragung auf die Quantenmechanik (Hamilton) (\*)
- 1.4 Der Doppelspalt: Interferenz mit vielen und mit einzelnen Objekten
- 1.5 Wellenpakete, Wellen und stehende Wellen: Beschreibung von beobachtbaren, freien und eingesperrten Objekten
- 1.6 Etwas was es nicht gibt: Der Dualismus Welle – Teilchen
- 1.7 Grundkonzepte der Quantenmechanik: Wahrscheinlichkeit und Überlagerung
- 1.8 Grundkonzepte der Quantenmechanik: Verschränkung von Mikroobjekten
- 1.9 Elektronium: Das Wellenmodell der Materie (\*)
- 1.10 Schrödingers Gleichung: Wellen unterwegs (\*)
- 1.11 Unbestimmtheitsbeziehung: Ort und Bewegung sind nicht existent!
- 1.12 Ein Ausflug in den Hilbertraum: Ein mathematisches Konstrukt, das alles enthält, was man für die Quantenmechanik braucht (\*)
- 1.13 Stehende Wellen und Energiequantelung
- 1.14 Wellenpakete und die Unbestimmtheitsbeziehung

Mittagspause für sportliche Aktivitäten, Spaziergang oder Ausruhen

**Arbeitsgruppensitzung 2 : Interpretationen der Quantenmechanik**

Bearbeitung eines Problems einer Aufgabe zur ersten Gruppensitzung in neuer gemischter Zusammensetzung! Dafür je nach Bedarf ca. 30 Minuten reservieren.

Schwerpunktthemen:

- 2.1 Bohrs Kopenhagener Deutung
- 2.2 Einsteins Vorstellungen einer real existierenden Welt
- 2.3 Gibt es Psi-Kräfte? Die Vorstellungen von Bohm
- 2.4 Das Problem der Messung: Der nicht existierende Kollaps der Wellenfunktion
- 2.5 Paradoxien der Quantenmechanik: Schrödingers nicht ganz tote Katze und de Broglies Zauberkasten
- 2.6 Dekohärenz und die Entstehung der klassischen beobachtbaren Welt
- 2.7 Es gibt keine Trennung! Das Einstein-Podolski-Rosen-Paradoxon
- 2.8 Quantenmechanik kontra Klassik: Die Bellsche Ungleichung (\*)



- 2.9 Feynman macht es anders, aber genial!
- 2.10 Warum die Quantenmechanik interpretiert werden muss: Der Unterschied zwischen „Verstehen“ und „Erklären“
- 2.11 Elektronium kontra Elektronen oder warum sich der Photoeffekt doch durch Lichtwellen erklären lässt.

19.00 Uhr **Vortrag Prof. Dr. H. Ruder: Quantenmechanik in den starken Magnetfeldern von Neutronensternen**

### **Donnerstag, 15.6.**

#### **Arbeitsgruppensitzung 3: Grundlegende Anwendungen der Quantenmechanik / Quantenmechanische Vorstellung von Kräften**

Bearbeitung eines Problems einer Aufgabe zur zweiten Gruppensitzung in neuer gemischter Zusammensetzung!

#### **Schwerpunktt Themen:**

- 3.1 Warum fällt das Elektron nicht in den Atomkern? Der Potentialtopf
- 3.2 Bosonen, Fermionen, Pauli-Prinzip und das Periodensystem der Elemente: Wer braucht schon Chemie, wenn's die Quantenmechanik gibt...
- 3.3 Entartete Materie: Der Zustand von Weißen Zwergen als fünfter Aggregatzustand
- 3.4 Was sind eigentlich Elementarmagnete und wie entstehen Ferro- und Paramagnetismus?
- 3.5 Warum die Sonne leuchtet: Der Tunneleffekt und die Radioaktivität
- 3.6 Energiebänder in Halbleitern: Ausflug in die Mikroelektronik
- 3.7 Es werde Licht! Die quantenmechanische Vorstellung von der Lichtentstehung
- 3.8 Die Unbestimmtheitsbeziehung als Ausdruck der Fouriertransformation eines Wellenpakets (\*)
- 3.9 Das Bosonen-Ball-Spiel: Wechselwirkungsteilchen beschreiben die Kräfte
- 3.10 Schwache Photonen und ein Super-Klebstoff
- 3.11 Quantenelektrodynamik: Elektrische Felder sind gequantelt
- 3.12 Quantenchromodynamik: Farbe im Atomkern

Fortsetzung der Sitzung am Nachmittag nach der Mittagspause

Gegen 17.00 Uhr Zusammensetzung in den Gruppen für die vierte Arbeitsgruppensitzung: Bearbeitung eines Problems einer Aufgabe zur dritten Gruppensitzung in neuer gemischter Zusammensetzung!

**Abendprogramm:** Workshop Chor und Orchester oder sportliche Aktivitäten oder Vorbereiten einer szenischen Darstellung

**Late Night Film nach Ansage**

### **Freitag, 16.6.**

9.00 Uhr **Plenum: Einblick in eine andere Welt! Das neue Weltbild der Quantenphysik**

Gespräch und kurze szenische Darstellungen

10.00 Uhr bis ...es schwarz wird vor den Augen:

**Event: Quantensprünge in, auf und über der schwäbischen Alb**

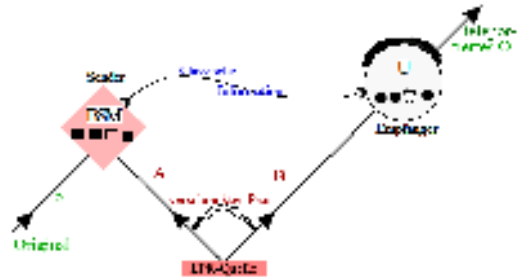
Heute gibt's zu Mittag nur Lunchpakete und das Abendessen ist weder in Form noch im Ort vorbestimmt. Wir müssen es durch Dekohärenz lokalisieren und wirklich werden lassen....

**Samstag, 17.6.**

**Arbeitsgruppensitzung 4: Moderne Aspekte der Quantenmechanik**

Schwerpunktthemen:

- 4.1 Experimente mit einzelnen Photonen: Sich selbst auslöschen?
- 4.2 Das Bose- Einstein-Kondensat und der Atomlaser
- 4.3 Scotty, beam me up: Die Quanten-Teleportation
- 4.4 Geheime Botschaften übertragen: Quantenkryptographie
- 4.5 Rechnen mit Eis: Der Quantencomputer
- 4.6 Der Quanten – Hall –Effekt
- 4.7 Laser und gequetschtes Licht
- 4.8 Quantenbits: Wie funktioniert ein Quantencomputer? Quantenalgorithmen: Schneller, aber nur manchmal...
- 4.9 Was sind Quantenbits und warum ist Klonen verboten?
- 4.10 Experimentelle Philosophie
- 4.11 Der Casimireffekt: leerer als leer
- 4.12 EPR Experimente: Tests der Nichtlokalität
- 4.13 Das Quantenradiergummi
- 4.14 Ist das Interpretationsproblem der Quantenmechanik gelöst?



Experiment zur Quantenteleportation von Zeilinger (1997)

Mittagspause

**Arbeitsgruppensitzung 5: Von der Quantenwelt zur sichtbaren Welt**

Bearbeitung eines Problems einer Aufgabe zur vierten Gruppensitzung in neuer gemischter Zusammensetzung!

Schwerpunktthemen:

- 5.1 Bohrs Philosophie: Das Korrespondenzprinzip
- 5.2 Das Prinzip der Dekohärenz
- 5.3 Nix geht mehr: Der Quanten – Zeno – Effekt
- 5.4 Das Märchen vom klassischen Grenzfall
- 5.5 Der Kollaps der Wellenfunktion: Erzeugung klassischer Zustände?
- 5.6 Die Umgebung tötet Schrödingers Katze
- 5.7 Frag nie nach dem Weg! Wege als emergente Eigenschaften
- 5.8 Realität und Wirklichkeit: Die klassische Welt ist konstruiert!
- 5.9 Bosonen und Fermionen als Bausteine der Welt
- 5.10 Sind Quantenfluktuationen die Keime der Strukturbildung im Kosmos?

**Abendprogramm:**

Workshop Chor und Orchester oder sportliche Aktivitäten oder Space Tower



**Sonntag, 18.6.**

**Arbeitsgruppensitzung 6: Philosophische, historische und gesellschaftliche Aspekte der Quantenmechanik**

Bearbeitung eines Problems einer Aufgabe zur fünften Gruppensitzung in neuer gemischter Zusammensetzung!

Schwerpunktt Themen:

- 6.1 Das Streitgespräch Einstein-Bohr zur Deutungsproblematik
- 6.2 Experimentelle Philosophie: Die Natur entscheidet was wir denken dürfen
- 6.3 Quantenmechanischer Zufall als Rettung für den freien Willen?
- 6.4 Die Foreman - Thesen: Der Einfluss der Weimarer Republik auf die Entstehung der Quantenmechanik
- 6.5 Schrödinger: Ist die Naturwissenschaft milieubedingt?
- 6.6 Wissenschaft als Kulturprodukt: Die Thesen von Kuhn, Lakatos und Feyerabendt
- 6.7 Das Einstein-Podolski-Rosen Paradoxon aus philosophischer Sicht
- 6.8 Historische Entwicklung der Quantenvorstellung: Von Planck zur Quanteninformation
- 6.9 Ausschluss von Individualität und Kausalität?
- 6.10 Ist die Welt noch determiniert?
- 6.11 Quantenmechanik in der Schule: Wer entstaubt die Lehrpläne
- 6.12 Die Quantenmechanik als Herausforderung für die Philosophen

12.00 Uhr **Abschlussplenum: Was ich nicht verstanden habe und was ich jetzt trotzdem erklären kann**

13.00 Uhr **Ende des Workshops mit dem gemeinsamen Mittagessen**

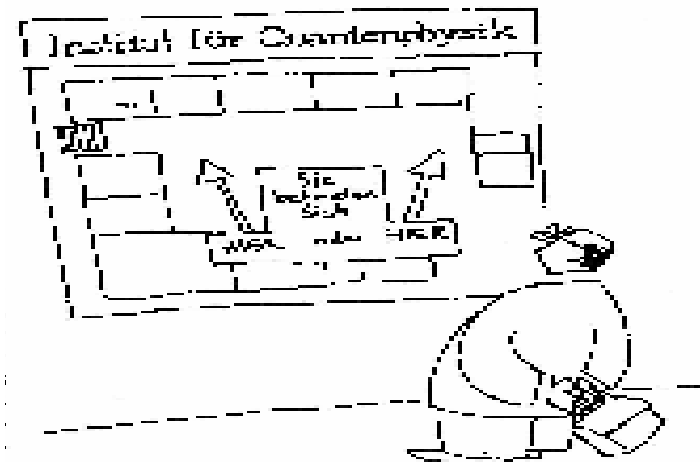
Packen und Abfahrt

Schlafen im Bus

Allgemeine Termine:

Frühstück: 7.30 Uhr bis 8.15, Mittagessen: 12.00 Uhr

Abendbuffet: 18.00 Uhr, Nachtruhe: 24.00 Uhr



# Jubiläumsquiz

Zur 100ten Ausgabe der Korona

Christian Hendrich

Das Rezensionsexemplar „Redshift Enzyklopädie Weltall“ wird unter allen Einsendern einer E-Mail oder Postkarte mit dem richtigen Lösungswort verlost (Betreff: „Redshift“). Der Einsendeschluß ist der 1. Februar. Die Verlosung erfolgt unter Ausschluß der Öffentlichkeit und ohne notarielle Aufsicht.

Lösungshilfen finden Sie auf den Titelseiten der Koronae in der Bibliothek im Korona-Archiv und auf der Internetseite des AAK.

1. Welches ist -wenn es nach der Zahl der Berichte in der Korona geht- der von AAK-Mitgliedern meistbeobachtetste Planet?
2. Welches Vereinsmitglied ist nicht schuld an einem Meteoriteneinschlag (Nachname)?
3. Wo fand 1974 das Internationale Astronomische Jugendlager statt?
4. Welcher Meteorstrom hatte am 11. August 1976 sein Maximum?
5. Wer oder was ist "Nimbus"?
6. Wie ist das Teleskop auf dem Titelbild der Korona 65 aufgestellt (Montierung)?
7. Der Titel einer Korona war: "Der Urknall des ...."
8. Kopernikus ist nicht nur ein Astronom, sondern auch der Name eines...
9. Wer ist auf den Titelseiten der Ausgaben 98 und 79 abgebildet?
10. Welches Wort taucht auf einer Korona fünfmal groß auf der Titelseite auf?
11. Was jagten junge Leute 1980?
12. Auf einem Titelbild ist ein Fallschirmspringer und eine ... zu sehen.
13. Laut Thema der 6. Woche der Astronomie sind Teleskope .... der Astronomie
14. Was steht auf einer Fahne in einem Titelbild der Korona?
15. Welches Schmidt-Teleskop schmückte in zwei Koronae die Titelseite?
16. Welche Ausstellung betreute der AAK im Jahr 2000?



## Vorträge und Veranstaltungen

### Januar bis April 2006

Alle Veranstaltungen finden, wenn nicht anders angegeben, in der Albert-Schweitzer-Schule, Kassel im Neubau (Eingang Parkstr.) statt. Aktuelle Termine und Programmänderungen finden Sie auf unserer Internetseite: [www.astronomie-kassel.de](http://www.astronomie-kassel.de)

Fr, 13.1., 18.00 Uhr Filmabend und Jahreshauptversammlung

#### **Sonne und Planeten**

Referent: Ralf Gerstheimer

Sonnenaufnahmen und Bilder mit H-Alpha-Filter Jupiter/Saturn 2005; Mars 2005 - mit der animierten Marsschleife; "Sternspuren" - Animation der scheinbaren Sternbewegungen

18.30 Uhr **Mitgliederversammlung**

Fr, 20.1., 18.00 Uhr Vortrag

#### **Die Welt der Quanten**

Referent: K.-P. Haupt

Die Quantentheorie gilt als die größte kulturelle und wissenschaftliche Leistung der Menschheit. Sie hat unsere Vorstellungen von der Realität revolutioniert und zeigt in aktuellen technischen Anwendungen ungeahnte Möglichkeiten bis hin zum Quantencomputer und zum „Beamen“. Der Vortrag stellt wichtige Grundkonzepte der Quantenmechanik zusammen und zeigt ihre Diskrepanz zu unseren (falschen) alltäglichen Vorstellungen.

Fr, 27.1., 18.00 Uhr Filmabend

#### **Andere Wirklichkeiten**

Zusammenstellung: K.-P. Haupt

Menschen konstruieren sich ihre eigenen Wirklichkeiten, und manchmal weichen diese deutlich von plausiblen Vorstellungen der Welt ab, so wie es in der Esoterik und bei UFOlogen der Fall ist. Der Film zeigt einen Zusammenschnitt aus 20 Stunden Interview-Material, das der Referent als Journalist getarnt in den Hochburgen der UFOlogen aufgenommen hat, vom galaktischen Kaiser bis hin zur Sekte der Santiner. Da bleibt einem manchmal das Lachen im Hals stecken...

Fr, 3.2., 18.00 Uhr Vortrag

#### **Exoplaneten**

Referent: K.-P. Haupt

1992 wurden erste Planeten um einen Pulsar entdeckt, aber so richtig los ging es mit der Entdeckung der Exoplaneten um „normale“ Sterne im Oktober 1995. Der Vortrag beschreibt die Entstehungsmöglichkeiten von Planeten, die Nachweismethoden für Exoplaneten und stellt interessante ferne Welten vor.



Fr, 10.2., 18.00 Uhr Vorträge

### **Von Pilzen bis zu Robotern**

Referenten: Die JuFo – Teams des PhysikClubs

Sechs Arbeiten des PhysikClubs nehmen am Regionalwettbewerb Hessen Nord von „Jugend forscht“ teil. Die Gruppen stellen in Kurzreferaten ihre Arbeiten vor und zeigen auch schon einige der Poster und Ergebnisse:

- Ein-Photonenexperimente und Quantenradiergummi (Physik)
- Herstellung von Plastik aus Alkohol (Chemie)
- Systemtheorie am Wachstumsverhalten der Dictyosteliumzellen (Biologie)
- Untersuchung aktiver galaktischer Kerne (Astronomie)
- Simulation und Erforschung von Netzwerkeffekten (Informatik)
- Konstruktion, Simulation und Steuerung eines Roboterarms mit sechs Freiheitsgraden (Technik)

Fr, 17.2., 18.00 Uhr Vortrag

### **Methoden der Videoastronomie: Geräte, Aufnahmetechnik und Bildverarbeitung**

Referent: Ralf Gerstheimer

Die Videotechnik hat in den vergangenen 6 Jahren die Planeten-, Sonnen- und Mondphotographie im Amateurbereich revolutioniert. Mit vergleichsweise geringem Aufwand lassen sich heute Aufnahmen gewinnen, die in Schärfe und Detailgenauigkeit die Qualität der Bilder aus Großteleskopen von vor 20 Jahren übertreffen. Der Vortrag gibt einen Überblick darüber, welche Kameras, Aufnahme- und Bearbeitungsverfahren verbreitet sind und stellt exemplarisch einige Ergebnisse vor.

Fr, 24.2., 18.00 Uhr Vortrag

### **Sternentstehung und Sternentwicklung I**

Referent: K.-P.Haupt

In vielen Bereichen lässt sich die Entwicklung von Sternen und teilweise auch von Galaxien schon im Computer simulieren. Es war aber ein langer Weg von ersten Beobachtungen, die auf eine Veränderung der scheinbar ewigen Sternenwelt hindeuteten zu unserem heutigen Verständnis des Sternenlebens.

Fr, 3.3., 18.00 Uhr Vortrag

### **Sternentstehung und Sternentwicklung II**

Referent: KP Haupt

Im ersten Teil des Vortrags ging es um Beobachtungen und Mechanismen der Sternentstehung. Im zweiten Teil werden instabile Zustände des Sternenlebens („Krankheiten“) und ihr Tod beschrieben.



Fr, 10.3., 18.00 Uhr Vortrag

### **Systemtheorie am Wachstumsverhalten der Dictyosteliumzellen**

Referenten: Julia Sprenger, Florian Grundmann

Die beiden JuFos stellen ihr Forschungsthema ausführlich vor, das eine fachübergreifende Arbeit aus Biologie, Physik und Netzwerktheorie darstellt: Physikalische sowie mathematische Methoden werden zur Lösung biologischer Probleme bezüglich des Dictyostelium angewandt. Untersucht werden der Übergangspunkt von der vegetativen Phase in die Aggregationsphase und das System, nach dem sich die Dictyosteliumzellen zu einer Art Pseudoplasmodium zusammenfinden. Zur Bestimmung der so genannten kritischen Dichte (Übergangspunkt zur Aggregation), entwickeln wir Messmethoden und untersuchen das Wachstumsverhalten der Zellen. Zur Beschreibung der organisierten Zellkonzentrierung werden Methoden der Netzwerktheorie verwendet. Dazu wird das Organisationsverhalten untersucht und Filmmaterial ausgewertet.

Fr, 17.3, 18.00 Uhr Vortrag

### **Vernetzt: Simulation und Visualisierung von Netzwerkeffekten**

Referenten: Stefan Beck, Mathias Sogorski

Mit "Advanced Network Simulation" haben wir eine Computeranwendung erstellt, die es ermöglicht, komplexe Netzwerke auf einfache Weise einzugeben und mithilfe zahlreicher Werkzeuge darzustellen und unterschiedlichste Sachverhalte zu simulieren. Da die Wichtigkeit der Graphentheorie scheinbar im zunehmenden Maß ansteigt - z.B. in der Verkehrsoptimierung, dem Anwachsen des globalen Computernetzwerkes etc. – behandeln wir im Rahmen der Arbeit an diesem Projekt mehrere Schwerpunkte: (1) automatisierte/manuelle Erstellung primitiver Netzwerkformen etwa zum Veranschaulichen graphen-theoretischer Effekte, (2) automatisierte/manuelle Erstellung komplexer Netzwerke, (3) Darstellung und Analyse der Netzwerktopologie und Netzwerkeigenschaften, (4) Bereitstellen von unterschiedlichsten Beeinflussungsmöglichkeiten des Benutzers auf das Netzwerk. Spezielle Anwendungsmöglichkeiten der Graphentheorie, die wir als interessant und untersuchenswert empfinden, haben wir zusätzlich implementiert: Die Untersuchung von Netzwerken mit dreidimensionalen Diagrammen und sich auf dem Netzwerk bewegende Einheiten ermöglichen die Simulation von Vorgängen, die auf Netzwerke zurückzuführen sind (Waldbrände, Verkehrssituationen, Signalausbreitung und die Störanfälligkeit von Netzwerken, ...).

Fr, 24.3., 7.30 - 20.00 Uhr Studienfahrt

### **Atomkerne, fast so schnell wie Licht**

Studienfahrt nach Darmstadt zur Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) und zum Landeswettbewerb „Jugend forscht“

Am Vormittag besichtigen wir die Beschleunigeranlagen der GSI. Nach dem Mittagessen in der GSI – Kantine besuchen wir die Ausstellung des JuFo – Landeswettbewerbs mit ca. 50 Arbeiten aus 7 Fachgebieten und nehmen an der Siegerehrung teil.

Fr, 31.3., 18.00 Uhr Vortrag

### **Das Glimmen der schwarzen Nacht**

Referent: K.-P.Haupt

Der Weltenraum ist schwarz. Diese einfache kosmologische Beobachtung zeigt unmittelbar an, dass der Kosmos vor relativ kurzer Zeit erst entstanden ist. Wenn wir Radioaugen hätten, dann würden wir das schwache Glimmen vom Urknall am Himmel erkennen und könnten die Keime unserer Existenz in der Vergangenheit beobachten.

Fr, 7.4., 18.00 Uhr Vortrag

### **Kosmos und Atome: Schwingende Kugeln unterschiedlicher Größe**

Referent: K.-P.Haupt

Sowohl die Auswertung der Strukturen in der Hintergrundstrahlung als auch die Berechnung der Verteilung des Elektroniums im Atom benutzt sog. Kugelflächenfunktionen. Der Vortrag versucht ohne Mathematik die Idee dieses Vorgehens zu beschreiben.

Fr, 28.4..06, 18.30 Uhr **Mitgliederversammlung**

## **Planetariumsprogramme des AAK**

**Astronomisch-Physikalischen Kabinett (ehem. Museum für Astronomie und Technikgeschichte) in der Orangerie, Orangerie, An der Karlsaue 20c, 34121 Kassel, Tel.: 0561 – 701320**

### **Eine Reise unter dem Sternenhimmel**

Dieses Programm ist als Familienprogramm besonders für Kinder unter 13 Jahren geeignet. Es werden der jeweils aktuelle Sternenhimmel und einfache Vorstellungen von den Himmelsobjekten dargestellt.

(Jeweils sonntags um 15.00 Uhr)

### **Hatten Kepler und Newton Unrecht?**

Die Bewegungen der Planeten werden vorgeführt und durch Keplers Gesetze und das Gravitationsgesetz gedeutet. Aber es gibt winzige Abweichungen, die erst von Einstein erklärt wurden.

(Jeweils sonntags um 16.00 Uhr, nur noch einschließlich Januar)

### **Eine Reise um die Erde in 60 Minuten**

Ein Familienprogramm, das den aktuellen Sternenhimmel nicht nur in Kassel zeigt (Sonntags um 16.00 Uhr ab Februar)

Vorfürher: Heiko Engelke, Florian Grundmann, Mike Vogt, Michael Schreiber



**Vorträge unter dem Sternenhimmel:**

Monatsthema Januar: Exoplaneten: Fremde Welten ferner Sonnen

Monatsthema Februar: Warum sind Sterne so groß?

Monatsthema März: Vom Leben der Sterne und Galaxien

Monatsthema April: Was ist ein Multikosmos?

Monatsthema Mai: Gibt es intelligentes Leben im Kosmos?

Monatsthema Juni: Warum ist der Weltraum schwarz?

Jeden Donnerstags um 19.00 Uhr (Oktober - März) bzw. 20.00 Uhr (April - September), Referent: K.-P.Haupt

**Physikclub**

Die Kinder- und Jugendakademie und die Albert-Schweitzer-Schule veranstalten unter Leitung von K.-P.Haupt für besonders begabte und interessierte Jugendliche ab Klasse 9 einen Physikclub. Treffen ist jeden Freitag von 15.30 Uhr bis 17.30 Uhr. Die Teilnehmergruppe plant Vorträge, Exkursionen, Experimente, Diskussionen zu physikalischen Themen. Neben der Durchführung von Jugend forscht Projekten laufen die folgenden Projekte:

- Atome sichtbar machen: Bau eines Rastertunnel-Mikroskops
- Sternhaufen im Computer: Simulation von Massenansammlungen
- Für ewig schwebend: Herstellen eines Supraleiters
- Simulation eines Kometenkerns
- Quasare und Schwarze Löcher: Beobachten der Helligkeitsschwankungen
- Eine Mini-Sonne aus Schall: Sonolumineszenz
- Tornadogenerator
- Das Quantenradiergummi beim Mach – Zehnder – Interferometer
- Metalle mit Gedächtnis
- Weitere zehn Projekte
- Betreuung von physikalisch orientierten Jahresarbeiten

Jeden Freitag ab 15.30 Uhr ASS Neubau Raum N102. Für besonders interessierte und besonders begabte Schüler/innen ab Klasse 9. Neueinstieg nach Absprache möglich!

Leitung: KP Haupt

**Einführung in die Astronomie**

Unser Mitglied Dr. Rüdiger Seemann veranstaltet für die Volkshochschule Kassel einen Astronomiekurs für Anfänger, der jeweils am Montagabend in der Albert-Schweitzer-Schule stattfindet. Anmeldung über die Volkshochschule.

**Bibliothek**

Jedes Mitglied kann sich kostenlos vor und nach den freitäglichen Veranstaltungen Bücher ausleihen.

## Studienfahrt

Fr, 24.3., Abfahrt 7.30 Uhr Albert-Schweitzer-Schule, Parkplatz Parkstr., Rückkehr gegen 20.00 Uhr

Programm:

- 1) Besuch der Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI in Darmstadt, Einführungsreferat und Besichtigung des Linearbeschleunigers für schwere Atomkerne, Mittagessen in der Kantine
- 2) Besichtigung der Ausstellung der Wettbewerbsarbeiten des Landeswettbewerbs „Jugend forscht“ aus den Bereichen Arbeitslehre, Biologie, Chemie, Astronomie, Physik, Informatik und Technik und Teilnahme an der Siegerehrung, Imbiss

Fahrkosten (ohne Mittagessen): 30.-€ für Verdiener, ermäßigt 20.-€

## Sternwarte Calden

Öffentliche Führungen: Jeden Freitag bei wolkenfreiem Himmel nach Einbruch der Dunkelheit, jedoch nicht vor 20:30 Uhr. Gruppen auch an anderen Tagen nach Voranmeldung unter Telefon: 0561-311116 oder 0177-2486810.

Bitte achten Sie auch auf aktuelle Pressehinweise.

Mitglieder: Alle Mitglieder, die einen Instrumentenführerschein besitzen, können vom Vorstand einen Schlüssel zur Sternwarte erhalten.

Instrumentenführerschein: Interessenten werden freitags ab 20.30 Uhr bei wolkenfreiem Himmel ausgebildet. Bitte vorher mit Marcus Schüler in Verbindung setzen.

Einstellen von Beobachtungsobjekten: Hilfestellung gibt's nach Voranmeldung bei Ralf Gerstheimer und Manfred Chudy ebenfalls freitags ab 20.30 Uhr.

Telefonnummer der Sternwarte Calden: 05674 – 7276

Manchmal ist die Sternwarte auch an anderen Terminen besetzt. Rufen Sie an und nehmen Sie an den Beobachtungen teil.

Instrumente:

- Kuppel 1: 30 cm Newton-Reflektor mit Leitrohr.
- Kuppel 2: 20 cm Schaer-Refraktor auf computergesteuerter Montierung, 20 cm Newton-Cassegrain mit Leitrohr
- Außensäule 1: Celestron C8 (20 cm Schmidt-Cassegrain)
- Außensäule 2: 10 cm Refraktor
- 15 cm Dobson-Spiegelteleskop
- 25 cm Dobson-Spiegelteleskop - hier können und dürfen Sie als Besucher unter unserer fachlichen Anleitung selbstständig Himmelsobjekte einstellen... trauen Sie sich!
- Zubehör: Feldstecher 20x80 mit Stativ, Gitterspektrograph, Halbleiter-Photometer, Interferenzfilter, T-Scanner für H-Alpha-Sonnenbeobachtung, Objektivsonnenfilter, CCD-Kamera mit Computer, Mintron-Himmelskamera mit Monitor, 6" Schmidtkamera.
- Übertragungsmöglichkeit der Fernrohrbilder in den Vortragsraum.

Eintritt: Erwachsene 1.-Euro, Jugendliche 0,50 Euro. Mitglieder des AAK und deren Gäste zahlen keinen Eintritt.



**Der Vorstand des AAK:**

**Vorsitzender:** Klaus-Peter Haupt, Wilhelmshöher Allee 300a, 34131 Kassel, Tel./Fax: 0561-311116, Mobiltel. 0177-2486810, e-mail: kphaupt@aol.com

**Kassenwart:** Marcus Schüler, Mittelfeldstr. 1, 34127 Kassel, Tel. 85556, email: schueler.marcus@web.de

**1.Beisitzer:** Wilhelm Steinmetz, Werraweg 23, 34314 Espenau, Tel.05673-7677

**2.Beisitzer:** Martin Hämmerling, Im Boden 10, 34355 Staufenberg, Tel.05543-999936

**3.Beisitzer:** Frank Kirchner, Wurmbergstr.49, 34130 Kassel, Tel.6029832

**4.Beisitzer:** Ralf Gerstheimer, Schöne Aussicht 26, 34317 Habichtswald, Tel.05606-53855

**Aufgabenbereiche:**

Instrumente der Sternwarte: F. Kirchner, W. Steinmetz, W. Schäfer

Führungen: R. Gerstheimer

Elektrik der Sternwarte: A. Werner, M. Hämmerling

Grundstückspflege: W. Müller, W. Schäfer, W. Steinmetz, F. Haupt

Bibliothek: H. Frisch

Sternpatenschaften: R. Gerstheimer

Pressemitteilungen: K.-P. Haupt

Planetarium: K.-P. Haupt

Internet: C. Hendrich

Koronaredaktion: C. Hendrich, W. Steinmetz

Der AAK ist auch im WorldWideWeb vertreten: <http://www.astronomie-kassel.de>

---

## Impressum

Die KORONA wird herausgegeben vom Astronomischen Arbeitskreis Kassel e.V. (AAK) und kostenlos an die Mitglieder und befreundete Vereine im Austausch mit deren Mitteilungen verteilt.

**Redaktion:** alle Autoren

**Zusammenstellung:** Christian Hendrich

**Druck:** Druckerei Bräuning & Rudert OHG, Espenau

**Auflage:** 350

**Redaktionsschluß dieser Ausgabe:** 20.12.2005

**Redaktionsschluß der kommenden Ausgabe:** 01.04.2006

Die Artikel können an den Vereinsabenden in der Albert-Schweitzer-Schule abgegeben oder an Christian Hendrich, Kölnische Straße 52, 34117 Kassel, Tel. 0178-7772666 bzw. 0561-7015680 gesendet werden. Es werden nur Dokumente in elektronischer Form unterstützt, die entweder per e-Mail an: [korona@astronomie-kassel.de](mailto:korona@astronomie-kassel.de) oder CD-Rom an obige Anschrift gesandt werden. Als Dateiformate werden Richttext (.rtf), MS Word (.doc), Staroffice/Openoffice unterstützt. Als Seitenformat muß DIN A5 und als Schriftgröße 9 Punkt gewählt werden. Abbildungen sollten idealerweise mit maximal 300 dpi eingescannt werden, alle gängigen Bild-Dateiformate (mit ausreichender Qualität) werden akzeptiert.



Komet Machholz 09.01.05, 22.20 Uhr: Canon 300D mit 200mm Zoomobjektiv, ca 3 Minuten belichtet und nachgeführt. Foto: Marcus Schüler



Gewitter über Warburg, fotografiert von der Gemeinde Dörnberg aus. Foto: Ralf Gerstheimer





Jupiter

Erde  
Mond

Mars

Venus

Merkur

Ende März 2004 waren die 5 hellen Planeten und 1/8 Mond am Abendhimmel versammelt. Aus 5 Weitwinkelaufnahmen wurde der hier dargestellte "ekliptikale Streifen" zusammengesetzt und die Sonne vollständig entfernt noch eingefügt, auch wenn sie zum Zeitpunkt der Aufnahme unter dem Horizont stand. In der unteren Zeile sind bekannte Deep-Sky-Objekte eingefügt, die sich zum Zeitpunkt der Aufnahme im Bildausschnitt befanden. Zusammenstellung und Fotos: Ralf Gerstheimer

