SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 103• Jahrgang 2009

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-89626-883-9

Inhalt

01 Karl-Heinz Bernhardt: Laudatio auf Dieter B. Herrmann

02 *Dieter B. Herrmann:* Begrüssung und Einführung

03 *Jürgen Hamel:* Die ersten Fernrohrentdeckungen und ihr Bezug zu den Diskussionen zum Weltbild

04 *Klaus-Dieter Herbst:* Der Schreibkalender der Frühen Neuzeit - eine noch wenig genutzte Quelle für die Astronomiegeschichtsschreibung

05 *Thomas Posch:* Hegels Kritik am Newtonschen Kraftbegriff und seine Verteidigung Keplers

06 *Tobias Jung:* Statik und Dynamik im astronomischen Weltbild

07 *Helmut Lindner:* Astronomie in der Schule

08 *Jörg Zaun:* Astronomische Instrumente aus Berliner und Potsdamer Werkstätten

09 *Rolf Riekher:* Fraunhofer und der Beginn der Astrospektroskopie

10 *Felix Lühning:* Zwischen High-tech und Konservatismus. Aufstieg und Fall des Kieler Meridiankreises

11 *Oliver Schwarz:* Astrophysikalische Wachstumsgrenzen im Leistungsumsatz der menschlichen Zivilisation

12 *Ulrich Cubasch:* Die Rolle der Sonne im Klimasystem

13 Offener Brief zur bundesweiten Einführung des Astronomieunterrichts in der Bundesrepublik

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 5–10*

Karl-Heinz Bernhardt

Laudatio Dieter B. Herrmann

Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin widmet ihr heutiges Wissenschaftliches Kolloquium zum Internationalen Jahr der Astronomie dem Geburtstag ihres Mitgliedes Dieter B. Herrmann (geb. 3. Januar 1939), der am 12. Januar diesen Jahres, wenige Tage nach Vollendung seines 70. Lebensjahres, in geheimer Abstimmung einstimmig für eine weitere dreijährige Amtszeit zum Präsidenten dieser Gelehrtengesellschaft gewählt wurde, die im Jahre 1993 aus der Gelehrtensozietät der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR hervorgegangen ist und damit in ununterbrochener personeller Nachfolge der 1700 von Gottfried Wilhelm Leibniz begründeten Brandenburgischen Sozietät der Wissenschaften und der ihr nachfolgenden Preußischen bzw. Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin steht.

Der Weg unseres jetzigen Präsidenten zur Astronomie begann im Grundschulalter mit der Lektüre des 1946 im Aufbau-Verlag erschienenen Buches „Der Mensch und die Sterne“ von Bruno H. Bürgel; die Lebensbeschreibung dieses Autors, „Vom Arbeiter zum Astronomen“ (1919) könnte auch als Motto über den Jugendjahren von Dieter B. Herrmann stehen, dem die prononcierte Förderung von Kindern aus bisher sozial benachteiligten Schichten in der frühen DDR den Weg zur Oberschule erleichterte. Das damalige Schulwesen bot Freiräume auch für vielfache musische Betätigung, für Schulchor und Kindertheater, vor allem aber – natürlich! – für das Hobby Astronomie, das den Vierzehnjährigen erstmals in die Archenhold-Sternwarte – unsere heutige Tagungsstätte – führte, an der er später mehr als drei Jahrzehnte (1970–2004) hauptamtlich tätig sein sollte, darunter mehr als ein Vierteljahrhundert (1976–2004) als Direktor dieser Forschungs- und Bildungseinrichtung von internationalem Ruf.

Vor der Arbeitsaufnahme an der Sternwarte als Leiter der neugegründeten Abteilung für Astronomiegeschichte zu Beginn des Jahres 1970 stand zunächst das Physikstudium (1957–1963) an der Humboldt-Universität mit einer Diplomarbeit unter der Leitung von Walter Friedrich (1883–1968) – vor-

mals Assistent von W. C. Röntgen (1845–1923), dann Mitarbeiter M. v. Laues (1879–1960) bei dessen nobelpreisgekrönten Experimenten zur Röntgenstrahlinterferenz an Kristallen und später Präsident der Deutschen Akademie der Wissenschaften (1951–1956). Die Zeit des Studiums brachte neben der (nicht komplikationslosen) Mitwirkung im studentischen Kabarett und an der Studentenbühne (mit Gastspiel in der BRD!) sowie persönlichen Kontakten zu Größen des Berliner Musik- und Theaterlebens, wie Hanns Eisler und Kurt Böwe, eine für den weiteren wissenschaftlichen Lebensweg von Dieter B. Herrmann bedeutsame Begegnung – die mit dem Philosophiedozenten und Wissenschaftshistoriker Friedrich Herneck (1909–1993).

Von diesem und dem Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam, Johann Wempe (1906–1980) betreut, konnte Dieter B. Herrmann neben seiner nach dem Studium aufgenommenen Tätigkeit an der Staatlichen Zentrale für Strahlenschutz (1963–1969) und als freier Mitarbeiter an der Archenhold-Sternwarte eine Dissertation über die Geschichte der astronomischen Fachzeitschriften in Deutschland im Zeitraum 1798–1821 verfassen und Ende des Jahres 1969 erfolgreich verteidigen (1972 publiziert). Später folgten im Jahre 1986 die Promotion B (Habilitation), die Ernennung zum Honorarprofessor ebenfalls an der Humboldt-Universität und 1995 eine Tätigkeit als Lehrbeauftragter an der Technischen Universität Berlin, 1996 seine Wahl als Mitglied der Leibniz-Sozietät e. V. und zehn Jahre später zu deren Präsidenten.

Damit trat erstmals seit 130 Jahren wieder ein Astronom an die Spitze der Berliner Wissenschaftsakademie. 1876 nämlich war der Astronom Arthur v. Auwers (1838–1915) zu einem der vier Sekretare der beiden Klassen, der physikalisch-mathematischen und der philosophisch-historischen Klasse, gewählt worden, die über einen langen Zeitraum von 1812 bis 1938 im Wechsel die Leitung der Akademie wahrnahmen, deren Entstehung schon im Jahre 1700 eng mit der Gründung einer Sternwarte verbunden war.

Als „Astronom in zwei Welten“ – so der Titel seiner gegen Jahresende 2008 erschienenen Autobiographie – kann unser Jubilar heute auf ein beeindruckendes, sicher keinesfalls als abgeschlossen zu betrachtendes wissenschaftliches Lebenswerk verweisen, das nach gegenwärtigem Stand 36 Monographien, teils in mehrfachen Auflagen, Lizenzausgaben und Übersetzungen, sowie 108 wissenschaftshistorische Fachaufsätze umfaßt. Über 2000 populärwissenschaftliche Zeitungs- und Zeitschriftenbeiträge entziehen sich vermutlich jeglicher auf Vollständigkeit bedachter Bibliographie,

von Interviews und Vorträgen vor unterschiedlichsten Gremien ganz zu schweigen.

Einen Schwerpunkt in der wissenschaftshistorischen Forschungs- und Publikationstätigkeit des Autors bildet die Astronomiegeschichte des 18. und 19. Jahrhunderts, so in dem mehrfach aufgelegten Standardwerk einer Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzsprung. Besonderes Augenmerk gilt der Herausbildung der Astrophysik im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts in ihren naturwissenschaftlichen, philosophischen und gesamtgesellschaftlichen Zusammenhängen.

Dieser weite Rahmen zeichnet auch die Biographik ausgewählter Persönlichkeiten, die Einschätzung einzelner ihrer Beiträge bzw. die Kommentierung von Neuausgaben wissenschaftshistorisch bedeutsamer Publikationen aus, wobei neben geläufigen Namen, wie Johannes Kepler, Georg Christoph Lichtenberg, Johann Heinrich Mädler, Friedrich Wilhelm Bessel, Julius Scheiner, Ejnar Hertzsprung, Ernst Mach und der Visionär Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski auch weniger bekannte Protagonisten, wie Johann Hieronymus Schroeter, Franz Xaver v. Zach, Bernhard August Lindenau oder der ob seiner spiritistischen Entgleisungen (und deren Kommentierung durch Friedrich Engels) ungerechtfertigterweise generell in Verruf geratene Karl Friedrich Zöllner zu nennen sind; sorgfältiges Quellenstudium führte zu einer sachlichen Neubewertung der von Naturwissenschaftlern kaum gelesenen, aber umso mehr belächelten Dissertation Hegels, in der ihr Verfasser angeblich a priori die Existenz von genau sieben Planeten postuliert haben soll, was in dieser Form nicht zutrifft.

Die Geschichte von Problemstellungen, wie der Entfernungsbestimmung im Weltall, von Beobachtungsmethoden und -instrumenten sowie von Sternwarten repräsentieren eine weitere ideen- und institutionengeschichtliche Leitlinie im wissenschaftshistorischen Werk des Jubilars. Sein neuestes Buch „Der Zyklop“ trägt zu Recht den Untertitel „Die Kulturgeschichte des Fernrohrs“, ist es doch weit mehr als nur eine packend geschriebene Geschichte von Teleskopkonstruktionen und -konstrukteuren.

Wissenschaft als etwas Gewordenenes und in ständigem Wandel Begriffenes zu vermitteln, zeichnen die Publikationen zu aktuellen Fragen, wie zum Problem der Antimaterie, zu Meilensteinen der Raumfahrt und zur Perspektive einer Besiedelung des Alls durch den Menschen aus.

Von besonderem Interesse in wissenschaftshistorischer und -theoretischer Hinsicht sind Dieter B. Herrmanns Überlegungen zur Stellung von Beobachtung und Entdeckung, aber auch des Zufalls im Erkenntnisprozeß, desglei-

chen die von ihm favorisierten und auf verschiedenartige wissenschaftsgeschichtliche Fragestellungen angewandten quantitativen Methoden der Wissenschaftsforschung, die geeignet sind, an Hand von objektiven Kennziffern und Maßzahlen im Sinne von Leopold Ranke darzustellen, „wie es wirklich gewesen ist“ und gesichertes Ausgangsmaterial für anschließende Interpretation bereitzustellen.

Einen weiteren inhaltlichen Schwerpunkt von Veröffentlichungen vor wie nach der Wende bezeichnen Bücher für Schüler und Lehrmaterialien für den Astronomieunterricht, der in der DDR bereits ab 1959 eigenständiges Schulfach war und gegen dessen Abschaffung im Freistaat Sachsen bzw. für seine Einführung in ganz Deutschland derzeit namhafte Professoren und Institutsdirektoren der Astronomie, der Physik und verwandter natur- und technikwissenschaftlicher Disziplinen streiten, unseren Präsidenten der Leibniz-Sozietät sowie Präsidenten anderer deutscher Wissenschaftsakademien einbegriffen.

Allgemeinverständliche Vermittlung modernen Wissens hat in Berlin eine lange Tradition – erinnert sei nur an die legendären „Kosmos“-Vorlesungen A. v. Humboldts und sein gleichnamiges monumentales Alterswerk. Wie Dieter B. Herrmann auf der Grundlage von Archivstudien einwandfrei belegen konnte, hielt Albert Einstein hier in diesem Saale am 2. Juni 1915 auf Einladung von Friedrich Simon Archenhold (1861–1939) seinen ersten öffentlichen Berliner Vortrag über die Relativitätstheorie. Archenhold, der Begründer der Sternwarte Treptow, hatte bei der Grundsteinlegung im Mai 1908 die Hoffnung geäußert, daß von diesem Haus „immer neues Licht hinausstrahlen und immer neue Erkenntnisse ihren Weg zu jedem Einzelnen im Volke finden mögen.“[1]

In diesem Sinne moderierte Dieter B. Herrmann neben seiner umfangreichen populärwissenschaftlichen Vortrags- und Publikationstätigkeit seit Oktober 1977 im DDR-Fernsehen mehr als 150 Folgen der Wissenschaftssendung „AHA“, ab 1988 zusätzlich viermal jährlich eine weitere Sendung „Astro live“ aus dem Foyer des Planetariums und in den Jahren 1991–1996 mehrere eigene Wissenschaftssendungen in Hörfunkprogrammen Berliner Sender.

Mit Archenhold und dessen Lehrer Wilhelm Förster (1832–1921), Professor für Astronomie an der Berliner Universität, langjähriger Direktor der Berliner Sternwarte, Initiator der Gründung des Astrophysikalischen Observato-

1 Herrmann, D. B. : Einstein, Archenhold und die Popularisierung der Naturwissenschaften. Sitz. Ber. d. Leibniz-Sozietät 78/79(2005), 125–130.

riums Potsdam und Mitbegründer der URANIA in Berlin, verbinden unseren Jubilar auch eine lange, überaus erfolgreiche wissenschaftsorganisatorische Tätigkeit. In der Nachfolge von Diedrich Wattenberg (1909–1996) seit 1976 Direktor der Archenhold-Sternwarte, wurde er 1987 Gründungsdirektor des zeitgleich mit der 750-Jahrfeier der Stadt Berlin eingeweihten Zeiss-Großplanetariums; natürlich war er maßgeblich in die umfangreichen Planungsarbeiten involviert, die der Errichtung dieser Kulturstätte in schon schwieriger wirtschaftlicher Lage vorangingen.

Charakteristisch für die von ihm gestalteten Bildungsprogramme von Sternwarte und Planetarium wie auch für viele seiner Publikationen und Fernsehauftritte ist die Einbeziehung künstlerischer Elemente aus Literatur, Musik und Malerei wie auch die zielstrebige Nutzung moderner Multimediapräsentation. In bezug auf die Poesie hatte schon Goethe im Zusammenhang mit seinen botanischen Studien gemeint, „man vergaß, daß Wissenschaft sich aus Poesie entwickelt habe; man bedachte nicht, daß, nach einem Umschwung von Zeiten, beide sich wieder freundlich, zu beiderseitigem Vorteil, auf höherer Stelle, gar wohl wieder begegnen könnten." Offenbar ist dieser „Umschwung" eingetreten und die Zeit reif für das gezielte Zusammenwirken von rationaler und ästhetischer Aneignung der Wirklichkeit!

Ein Buch über „Hanns Eisler im Gespräch" aus der Feder eines Physikers, Astronomen und Wissenschaftshistorikers und Dieter B. Herrmanns Anliegen, Weltanschauung durch Weltanschauen zu gewinnen und in Reiseliteratur weiterzugeben, die, an Humboldt gemahnend, gleichermaßen Naturerkenntnis, Naturgenuß und Menschheitsgeschichte vermittelt, rundet das beeindruckende Bild inter- und transdisziplinärer Kompetenz des Autors ab.

Am Ende der Laudatio aber sei ein Verdienst unseres Jubilars benannt, das heutige Zeit- und künftige Wissenschaftshistoriker vielleicht als sein größtes, sicher aber als das am schwierigsten zu Erwerbende betrachten werden: Über die Zeit einer beispiellosen Abwickelungs- und Entlassungsorgie, der beispielsweise 70% aller DDR-Hochschullehrer, zahlreiche Akademieinstitute und noch mehr -mitarbeiter zum Opfer fielen, ist es ihm gelungen, unter seiner Leitung Archenhold-Sternwarte und Großplanetarium, wenn auch in neuer administrativer Zuordnung und nicht ohne Einbußen – so mußte die Abteilung Astronomiegeschichte geschlossen werden – zu erhalten und unter marktwirtschaftlichen Bedingungen fortzuführen. Die von ihm über Jahrzehnte zielstrebig aufgebauten weitreichenden internationalen Beziehungen, das große Ansehen der genannten Einrichtungen im gesamtdeutschen und weltweiten Rahmen, die Haltung der Mehrzahl seiner Mitarbeiter,

denen er als Chef immer anregend, fordernd und begeisternd gegenübergetreten war, und sicher auch seine Welterfahrenheit und sein Verhandlungsgeschick haben bewirkt, daß nach dem Beitritt der DDR zur BRD wenigstens in diesem Falle der weise Rat des Apostel Paulus aus dem ersten Brief an die Thessaloniker beherzigt wurde: Prüfet alles – das Gute bewahret!

Selbstlos auch und mit hohem persönlichem Engagement hat der Jubilar Fachwissen und historische Einsichten, reiche Erfahrungen und Verbindungen im heutigen Wissenschaftsbetrieb, internationale Reputation und Managementkompetenz in den Dienst unserer Gelehrtensozietät in ihrem bisweilen zermürbenden Spagat zwischen interdisziplinärer geistiger Potenz und materieller, insbesondere finanzieller Mangelausstattung gestellt.

In diesem Sinne wünschen wir, als Mitglieder der Leibniz-Sozietät durchaus nicht uneigennützig, unserem Präsidenten gute Gesundheit, unverminderte Schaffenskraft im achten Lebensjahrzehnt und viel Erfolg für seine Arbeit an der Spitze der Gelehrtengesellschaft, die dem „Theoria cum Praxi“ unseres geistigen Ahnherren und Namensgebers ebenso verpflichtet ist wie seinem Ideal einer weltweiten Republik der Gelehrten und die heute eine „neue Aufklärung“ befördern möchte, wie sie der Amtsvorgänger Dieter B. Herrmanns, der jetzige Ehrenpräsident Herbert Hörz, angemahnt hat.

Eine Bibliogaphie der wissenschaftlichen Veröffentlichungen, bearb. von Dietmar Fürst, findet sich in:
Wege der Erkenntnis. Festschrift für Dieter B. Herrmann zum 65. Geburtstag. Hrsg. von Dietmar Fürst und Eckehard Rothenberg. Frankfurt a. M. 2004 (Acta Historica Astronomiae; 21), S. 219–236

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 11–13*

Dieter B. Herrmann

Begrüssung und Einführung

Meine Damen und Herren,

im Namen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin heiße ich Sie alle zu unserem heutigen Kolloquium anlässlich des Internationalen Jahres der Astronomie herzlich willkommen. Als wir vor weit über einem Jahr gemeinsam mit unserem Mitglied Jürgen Hamel diese Veranstaltung geplant haben, konnte ich nicht ahnen, dass Sie mir dieses Kolloquium zu meinem 70. Geburtstag widmen und mit einer so schönen Laudatio bereichern würden. Da ich es aber auch nicht verhindern konnte, bleibt mir nur, Ihnen dafür sehr herzlich zu danken.

Die Astronomie nimmt unter den Naturwissenschaften unbestritten eine besondere Stellung ein, die – je älter sie wird – immer deutlicher hervortritt. Keine Fragestellung der Astronomie konnte und kann aus der atomisierten Sicht einer Spezialdisziplin heraus behandelt werden. Schon in der Antike waren geometrische, mathematische, physikalische, philosophische, religiöse und lebenspraktische Belange unverzichtbare Bestandteile astronomischen Denkens und Forschens. Mit dem Blick auf den Gesamtverlauf der Astronomiegeschichte können wir heute feststellen, dass Astronomie wie wohl keine andere Naturwissenschaft einen integralen Bestandteil der Kulturgeschichte der Menschheit darstellt. Das spiegelt sich nicht zuletzt auch in den zahlreichen Reflexionen von Malern, Bildhauern, Musikern und Dichtern sowie Schriftstellern, die sowohl durch den Gegenstand der Astronomie selbst, aber auch durch die Art und Weise des Umgangs von Menschen mit diesem Gegenstand zu eigenen schöpferischen Leistungen angeregt wurden. Neuerdings rückt auch die Frage zunehmend in den Vordergrund wissenschaftshistorischer Analysen, inwiefern künstlerisches Denken nicht sogar unmittelbar den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess beeinflussen und befördern kann.

Heute gibt es keine Wissenschaftsdisziplin mehr, aber auch kaum ein Gebiet der Technik, das im Rahmen moderner astronomischer Forschungen kei-

ne Rolle spielen würde. Besonders die in der Antike schon vorhandenen Ansätze eines Brückenschlages zwischen der Welt im Großen und der Welt kleinster gedachter Bausteine der Welt erweisen sich in unserer Zeit als unabdingbare Voraussetzungen für ein vertieftes Verständnis des Kosmos und seiner Phänomene. Teleskope und Mikroskope sind zu Metaphern für das Begreifen der Welt geworden und die großen Beschleuniger der Kernphysik sind für das Verstehen der mit gigantischen Teleskopen eingefangenen Informationen alternativloses Zubehör.

Überschauen wir den Weg der Astronomie von der Erfindung des Fernrohrs vor 400 Jahren bis in unsere Zeit, so breitet sich vor unseren Augen eine abenteuerliche Erfolgsgeschichte ohne Beispiel aus. Die Hauptkennzeichen dieser Entwicklung sind: das Vordringen in immer tiefere Räume, das Kennenlernen und Deuten immer neuer Phänomene, eingebettet in einen Prozess ständig zunehmender Physikalisierung (keineswegs nur Mechanisierung) der Astronomie, der bereits mit Keplers „Astronomia Nova“ eindrucksvoll anhebt. Seine besondere Dramatik erhält gerade die erste Etappe dieser vierhundert Jahre durch den Ausbau und Siegeszug des heliozentrischen Weltbildes, von dem ja zu Galileis Zeiten, ungeachtet des schon lange zuvor publizierten Hauptwerkes des Copernicus, noch keine Rede sein konnte. In welche Phase dieser Entwicklung wir auch schauen, mit wessen Lebensleistungen unter den Forschern wir uns auch befassen, überall bietet sich uns ein Bild spannenden Ringens um Erkenntnis von Zusammenhängen und insgesamt des Mitwirkens an der Gewinnung eines konsistenten Bildes des Universums. Dabei verblüfft mich immer wieder, in welch hohem Maße Intuition, Phantasie sowie zahlreiche Zufälle das Geschehen bestimmt haben, wodurch sich die tiefe Wahrheit der Erkenntnis von Einstein bestätigt, dass „kein logischer Weg von den Wahrnehmungen zu den Grundsätzen der Theorie führt“.[1] Dass in den vergangenen vier Jahrhunderten unsere Gesamtvorstellung von der Welt, das Welt-Bild mehrfach dramatisch umgeändert werden musste, ist die unmittelbare Folge solcher neuen Erkenntnisse und deren Unvereinbarkeit mit bestehenden und scheinbar widerspruchsfreien vorhergehenden Bildern. Jede Zeit hat – auch auf naturwissenschaftlichem Gebiet – ihre eigenen Wahrheiten. Jede Zeit muss nur wissen, dass es sich nie um endgültige Wahrheiten handelt.

1 Einstein, Albert: Prinzipien der Forschung. Rede zum 60. Geburtstag von Max Planck. In: Carl Seelig (Hrsg.), Albert Einstein. Mein Weltbild (Ullstein-Buch; 65). Berlin 1959, S. 109

Bei einem Vortrag vor wenigen Tagen fragte mich ein Zuhörer, welches nach meiner Auffassung der größte Irrtum der Astronomie gewesen sei. Meine Antwort lautete: Wohl haben Astronomen geirrt und zwar heftig und häufig, aber nie die Astronomie als Ganzes. Sie erwies sich als ein im positiven Sinne konservatives System, das keine ungeprüften neuen Ideen in das System ihrer als gesichert geltender Erkenntnisse eindringen ließ. Im Gegenteil: grundlegend neuen Erkenntnissen ist oft und neuen Paradigmata wohl stets mit erheblichen Widerständen begegnet worden. Wenn sich diese dann schließlich als unabweisbar erwiesen, bestand der „Irrtum" der Wissenschaft höchstens darin, dies nicht schneller akzeptiert zu haben. Selbst das geozentrische Weltsystem – obschon falsch – war kein landläufiger Irrtum, sondern die Wahrheit einer anderen Zeit.

Das heutige Vortragsprogramm, für dessen Konzeption und Organisation ich unserem Mitglied Jürgen Hamel herzlich danken möchte, spannt thematisch einen weiten Bogen und belegt dadurch zugleich auf eindrucksvolle Weise den Charakter unserer Wissenschaft. Die Beiträge setzen Mosaiksteine in jenes große Bild, das ich soeben summarisch und sicher auch unvollständig entworfen habe. Mögen diese Mosaiksteine, wie jede Forschungsarbeit, dazu beitragen, mehr Details des Bildes sichtbar werden zu lassen oder – um einen Begriff aus der astronomischen Optik zu verwenden – das Auflösungsvermögen, mit dem wir es betrachten zu vergrößern.

In diesem Sinne wünsche ich dem heutigen Kolloquium einen anregenden und erfolgreichen Verlauf.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät *103(2009), 15–29*
der Wissenschaften zu Berlin

Jürgen Hamel

Die ersten Fernrohrentdeckungen und ihr Bezug zu den Diskussionen zum Weltbild

Sehr bald nach der Erfindung des Fernrohrs gelangen am Himmel sehr wichtige Entdeckungen. Ich möchte aus diesem weiten Komplex eine Frage herausgreifen – nämlich die, welche Konsequenzen für die Weltbildfrage diese Entdeckungen besaßen, oder anders formuliert: Welchen Beitrag lieferte das Fernrohr für die Weltbildentwicklung, für die Durchsetzung des heliozentrischen Weltbildes.[1]

Welches waren die ersten Fernrohrentdeckungen? Um das gleich zu sagen – alles Dinge, die uns heute völlig geläufig sind. Entdeckt wurde,

1. daß der Mond Berge und Täler hat,
2. die Venus Lichtgestalten ähnlich denen des Mondes durchläuft,
3. der Jupiter von vier Monden umgeben ist,
4. der Saturn seitlich merkwürdige Henkel hat,
5. es auf der Sonnenoberfläche dunkle Flecke gibt und
6. die Milchstraße aus nur mit dem Fernrohr beobachtbaren Sternen besteht,

– alles gar nichts spektakuläres? Nicht für uns, aber doch für ihre Zeit. Auf der einen Seite, es eröffneten sich plötzlich neue Welten. Denn was kannte man bisher am Himmel? – nur Sterne, die Sonne, den Mond und Planeten, wobei Sonne und Mond eigentlich zur Planetenwelt gezählt wurden. Und es gab nur eine Aufgabe für die Astronomie, nämlich die Örter der Sterne und der Planeten mit möglichster Genauigkeit zu messen und mathematische Verfahren zu ihrer Berechnung abzuleiten. Diese benötigte man vor allem zur Aufstellung von Horoskopen – wir sind ja gedanklich im 16. und 17. Jahrhundert –, für die Präzisierung des Kalenders und, aber eigentlich erst etwas später, für die Navigation auf See.

1 Hamel, Jürgen: Geschichte der Astronomie. Stuttgart 2002, bes. S. 175–198; Ders.: Kepler, Galilei, the telescope and its consequences. In: Astronomical Notes / Astronomische Nachrichten 330 (2009), S. 526–535

Mit dem Fernrohr erschienen auf einmal am Himmel so viele neue Dinge, geradezu neue Welten, von denen man zuvor gar keine Vorstellung hatte. Mehr noch: Das Fernrohr offenbarte so manches, das es am Himmel eigentlich gar nicht geben dürfte! Denn nach alter Vorstellung war die Region der Himmelskörper von der Erde strikt unterschieden.

Der Erdkörper bestand aus den vier Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer, hier war alles vergänglich, geprägt von Entstehen und Niedergang. Hingegen bestanden die Himmelskörper aus dem Äther, der „quinta essentia“ (uns sprachlich bekannt als die „Quintessenz“), sie waren unveränderlich, von ideal kugelförmiger Gestalt, vollkommen, auf Kreisbahnen um die in der Weltmitte ruhende Erde bewegt.

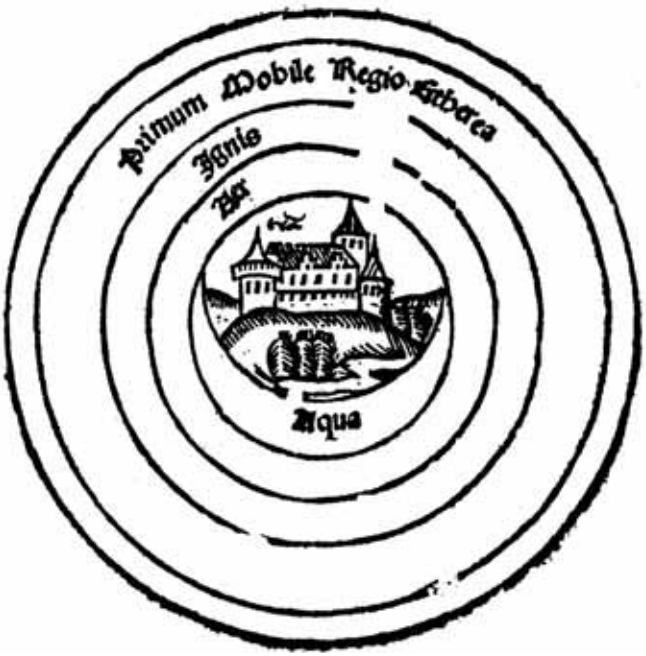

Bild 1: Die Anordnung der Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer nach Johann von Glogau, Introductorium astronomiae. Krakau 1514

Erinnern wir uns zunächst an einige Grundlehren der aristotelischen Physik, besonders an die der vier Elemente und des Äthers und der damit verbundenen Lehre der Bewegung. Aristoteles teilt die Welt in zwei Weltbereiche, die

sich nach empirischen Befunden und daraus abgeleitet nach ihrer physikalischen Natur unterscheiden.

Bild 2: Das geozentrische Weltsystem nach Peter Apian: Cosmographia. Antwerpen 1539

In der Tat können wir rein empirisch zwischen der Region der Planeten und der Sterne auf der einen Seite und der irdischen Region auf der anderen Seite fundamentale Unterschiede feststellen. Das Irdische unterliegt einer steten Veränderung, alles hier ist in Prozessen des Entstehens und Vergehens, von Geburt, Entwicklung, Niedergang und Tod gekennzeichnet. Alle hier stattfindenden Bewegungen sind endlich. Sie richten sich entweder zum Erdmittel-

punkt hin oder vom Erdmittelpunkt weg. Die irdische Region wird aus den vier Elementen gebildet, der Erde, dem Wasser, der Luft und dem Feuer.

Die Elemente haben eine natürliche Bewegung und einen natürlichen Ort, dem sie vermöge ihrer Natur zustreben. Betrachten wir vor allem die schweren Elemente Erde und Wasser. Ihr natürlicher Ort ist der Weltmittelpunkt. Diesem streben sie mit ihrer natürlichen Bewegung zu. Diese natürliche Bewegung ist die geradlinige Bewegung zum Weltmittelpunkt. Haben sie ihre möglichste Nähe zum Weltmittelpunkt als ihren natürlichen Ort erreicht, verbleiben sie dort in Ruhe. Dies ist dann auch die physikalische Ursache dafür, warum sich die kugelförmige Erde in absoluter Ruhe im Mittelpunkt der Welt befinden muß. Der Erdmittelpunkt ist identisch mit dem Weltmittelpunkt.

Jede andere Bewegung als die zum Weltmittelpunkt ist für die schweren Elemente eine erzwungene Bewegung, z.B. die Wurfbewegung. Auch haben die aus den schweren Elementen gebildeten Körper das Bestreben, möglichst rasch in ihre natürliche Bewegung überzugehen – dies z.B. im Falle einer Wurfparabel und damit ihren natürlichen Ort auf kürzestem Wege zu erreichen.

Nun anders der Bereich der Himmelskörper. Schon der Augenschein lehrt den Unterschied. Solange wir kein Fernrohr zur Verfügung haben und keine astrophysikalischen Untersuchungsmethoden – und von diesen Zeiten sprechen wir heute – ist keinerlei Veränderung an der Welt der Sterne festzustellen. Wir kennen den Grund, der darin liegt, daß abgesehen von wenigen eruptiven Phasen der Sternentwicklung, Entwicklungsprozesse der Sterne sich in Zeiteinheiten von Millionen Jahren vollziehen. Die Sterne vollführen augenscheinlich ihre ewigen, unveränderlichen Kreisbahnen um die in der Weltmitte stehende Erde, besonders gut sichtbar bei den Zirkumpolarsternen. Zwar ist die Bewegung der Planeten, eingeschlossen den Mond und die Sonne, komplizierter, doch stellt auch bei ihnen der Augenschein eine Unveränderlichkeit und eine Kreisbewegung fest.

Der Kreis als natürliche Bewegung der aus dem Äther bestehenden Himmelskörper liegt demnach aus empirischen Befunden durchaus nahe und wurde in der aristotelischen Physik theoretisch festgeschrieben. Hier verband sich die Empirie mit der Theorie. Nach alter Auffassung, erstmals in den Lehren der Pythagoreer, war die Welt nach harmonischen Prinzipien erschaffen. Der Himmel repräsentierte die Götter und war selbst ein Abbild der Götter. Der Göttlichkeit des Himmels und seiner Körper konnte nur die Kreisbewegung entsprechen – gemäß der Besonderheit des Kreises als geometrischer Figur. Der Kreis ist vollkommen, alle Punkte seines Umfangs haben den selben Abstand vom Mittelpunkt und die Kreisbahn kann unendlich oft, ohne

eine Veränderung durchlaufen werden. – Nebenbei bemerkt spiegelt sich das Empfinden für diese Besonderheit des Kreises schon in steinzeitlichen Kulturen, in der generellen Setzung des Kreises als herausgehobenem Symbol, u.a. für die Sonne, wieder.

Was der Kreis in der Ebene, war die Kugel im dreidimensionalen Raum und das Ergebnis ist in der Astronomie die fundamentale Auffassung der Himmelskörper als auf kreisförmigen Bahnen bewegte kugelförmige Körper.

Um noch einmal zwei Dinge deutlich zu sagen: 1. Die Planeten sind von idealer Gestalt und kugelförmig, wie es ihrer göttlichen Natur entspricht; 2. alle Kreisbewegungen im Weltall werden nur um den Weltmittelpunkt=Erdmittelpunkt ausgeführt.

Kommen wir nun zu den ersten Entdeckungen mit dem Fernrohr zurück: Es wird nicht verwundern, daß der Mond zu den ersten Himmelskörpern gehörte, die mit dem Fernrohr beobachtet worden sind. Er ist der einzige Himmelskörper, der mit seinen Lichtphasen seine Gestalt verändert, was sich jedoch in genau berechenbaren Perioden vollzieht. Dennoch gehörte er zur Sphäre des Kosmischen – trennte die beiden Weltbereiche: Einerseits der unter dem Mond mit den Elementen, andererseits die Sphären der göttlichen Himmelskörper. Wenn auch der Mond eine Gestaltveränderung durchläuft, galt er doch als einer der himmlischen Körper, den Sphären der Gestirne zugehörig.

Doch mit dem Fernrohr offenbarte es sich plötzlich, daß der Mond Berge und Täler hat, quasi erdähnlich ist. Mit einem Mal stand die Frage, ob der Unterschied zwischen Himmel und Erde doch nicht so fundamental wäre.

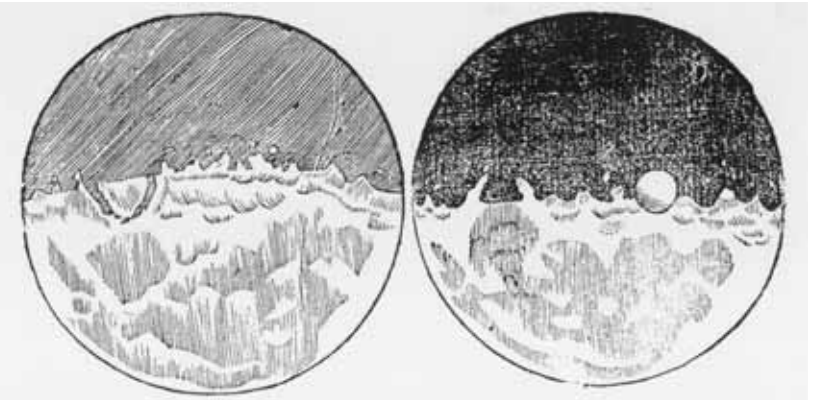

Bild 3: Fernrohrbeobachtungen der Mondoberfläche von Galilei, Sidereus nuncius. Frankfurt a.M. 1610

Bild 4: Darstellung des Mondes von Claude Mellan 1637

Mit der Entdeckung der durch ein Fernrohr erdähnlich erscheinenden Mondoberfläche wurde der Mond ein Stück Erde und umgekehrt die Erde ein Stück Himmel, der grundsätzliche Unterschied zwischen Himmel und Erde, damit ein fundamentales Element der aristotelischen Physik, infrage gestellt. Die Skizze der Mondoberfläche in Galileis „Sidereus nuncius“ von 1610 war noch keine Karte im eigentlichen Sinne, sondern eine Darstellung, die qualitativ zeigen sollte, die Mondoberfläche ist nicht eben, sondern übersät von Gebirgen, einzelnen Bergen und Tälern. Eine erste Karte wurde von Thomas Harriot angefertigt, weitere folgten bald, so die von Christoph Scheiner 1614. Der weitere Fortschritt der Mondkartographie ging darauf langsam vonstatten; von wirklich detaillierten Karten kann erst um 1650 gesprochen werden. Zu erwähnen ist noch, daß Galilei als erster die Möglichkeit erkannte, aus den Schattenlängen einzelner Mondkrater deren Höhe zu bestimmen.

Nebenbei sei angemerkt, daß die Existenz von Unebenheiten auf der Mondoberfläche zur Erklärung seines Aussehens schon im Mittelalter diskutiert wurde. So spricht Alexander Neckam um 1190 von Höhlungen auf dem Mond in welche das Sonnenlicht nicht scheint und die sich insofern als dunkle Flecke abheben.[2]

Schwerer wog die Entdeckung der Lichtphasen der Venus, genauer gesagt, deren konkreter Ablauf. Unter der Voraussetzung, daß die Planeten kein eigenes Licht aussenden, ist die Entstehung von Lichtphasen der Planeten, hier speziell der Venus, eine Folge der unterschiedlichen Stellung von Erde, Sonne und Venus zueinander und erst einmal nicht weiter bemerkenswert. Doch der Ablauf der Phasen ist im geo- und heliozentrischen System voneinander verschieden.

Im geozentrischen Planetensystem betrachten wir die Venus von der Weltmitte aus. Sie befindet sich stets zwischen Sonne und Erde, weshalb sie niemals voll erleuchtet sichtbar ist. Anders verhält es sich im heliozentrischen System, in dem die Venus alle Lichtphasen durchlaufen kann.

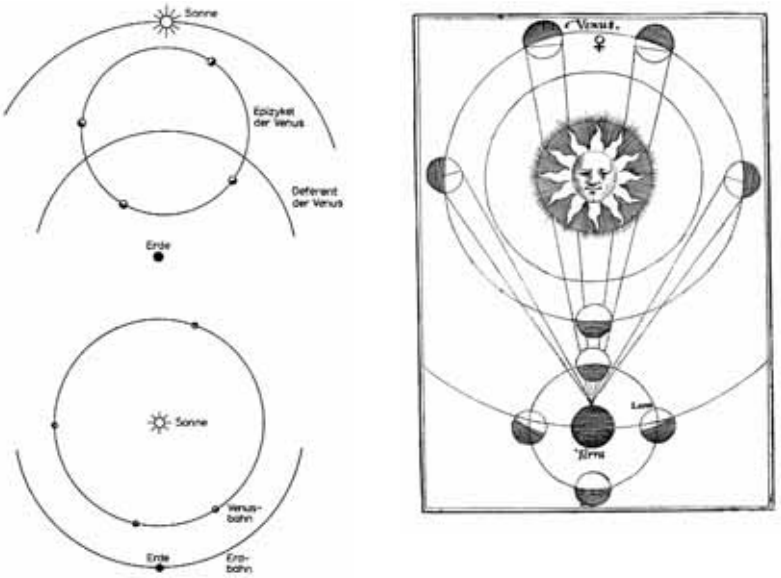

Bild 5a und b: Der Verlauf der Lichtgestalten der Venus im geo- bzw. heliozentrischen System, Matthias Hirtzgarter, Detectio dioptrica. Frankfurt a. M. 1643 und Schema.

2 Neckam, Alexander: De naturis rerum libri duo. Ed. Thomas Wright. London 1863, I.XIV

Das ergibt eine verschiedene Erscheinung der Venusphasen. Wie Galilei angab, hatte er die Venus seit Anfang Oktober 1610, zunächst als fast ganz erleuchtete Scheibe beobachtet. Anfang 1611 zeigte sich immer deutlicher die Sichelgestalt des Planeten. Dieser Verlauf ist nur mit dem System des Copernicus vereinbar. Ganz zu Recht erregte diese Beobachtung großes Interesse, war sie doch ein erstes wichtiges Argument zugunsten von Copernicus. Dabei muß jedoch erwähnt werden, daß sich ein ähnlicher Phasenablauf wie im heliozentrischen Weltsystem im Weltsystem des Tycho Brahe ergibt, was sicher auch dazu beitrug, daß dieses System bald eine sehr weite Verbreitung erfuhr und besonders bei den Jesuitenastronomen favorisiert wurde.

Bild 6: Das Jupitermondsystem und ein Fernrohr von Simon Marius, Mundus Iovialis. Nürnberg 1614

Die Entdeckung der ersten vier Jupitermonde gelang nahezu gleichzeitig mehreren Forschern: Simon Marius, Astronom am Markgräflichen Hof in

Ansbach, Thomas Harriot, Navigationslehrer, Forschungsreisender und Privatgelehrter in England und Galilei. Die Beobachtungen der drei Gelehrten erfolgten fast gleichzeitig. Es war wohl einfach nur eine Frage der Zeit, wann einzelne Gelehrte das Fernrohr in die Hand bekamen und zunächst „einfach so“ auf den Himmel richteten. Harriot, ein exzellenter Beobachter, verfolgte die Jupitermonde seit Oktober 1610 mit einem „perspective cylinder“ und bearbeitete nach seinen präzisen Beobachtungen sehr genaue Tafeln für die Bewegung des ersten Mondes, dessen Umlaufzeit er mit 42,4353 Tagen angab, Joseph Gaultier, Generalvikar in Aix sah die Monde ab dem 24. November 1610, Nicolaus Claude de Peiresc einen Tag später. Marius gibt selbst an, er habe sie erstmals am 8. Januar 1610 (gregor.) beobachtet, fast gleichzeitig mit Galilei.[3]

Wie konnte das nach der Lehre des Aristoteles sein, wo doch Kreisbewegungen nur um die Erde erfolgen sollten.

Jeder Streit um die Erstentdeckung ist müßig und doch war dies Anlaß für den großen Galilei, seine wissenschaftlichen Mitstreiter mit gehässigen Plagiatsvorwürfen zu überschütten. Das betrifft auch Galileis sinnlosen Vorwurf, die Tafeln der Bewegung der Jupitermonde von Marius 1614 habe dieser bei ihm gestohlen – Marius‘ Tafeln erwiesen sich mit dessen Beobachtungen nicht nur konsistent, sondern von höherer Genauigkeit als die von Galilei. Moralische Redlichkeit ist eben nicht die Gabe eines jeden Großen der Wissenschaft und die Streitsucht Galileis – auch im Zusammenhang mit den ersten Fernrohrbeobachtungen trug schließlich ein übriges zur extremen Zuspitzung des Inquisitionsprozesses gegen ihn bei. Verstärkt wurde der Streit möglicherweise dadurch, daß Galilei „seine“ Jupitermonde zu Ehren des Hauses der Medici „Medicea sidera“ genannt hatte, so prangten sie schon im Titel von Galileis „Sidereus nuncius“, seinem ersten Bericht aus dem Jahre 1610. Wie sollte Galilei dastehen, wenn Marius ein Recht hätte, seine Jupitermonde „Sidera Brandenburgica“ zu nennen?

Der Saturnring gab lange Zeit einige Rätsel auf. Die ersten Fernrohre waren infolge ihres begrenzten Auflösungsvermögens nicht in der Lage, die Ringnatur aufzuzeigen. So sprachen die ersten Beobachter von Henkeln oder gar einer Verdreifachung des Saturnkörpers. Erst 1659 konnte Christiaan Huygens die korrekte Natur des Ringsystems publizieren.

3 Hamel, Jürgen: Mythos Galilei. Die ersten Fernrohrbeobachtungen und ihre Folgen. In: Physik in unserer Zeit 40 (2009), S. 230–235

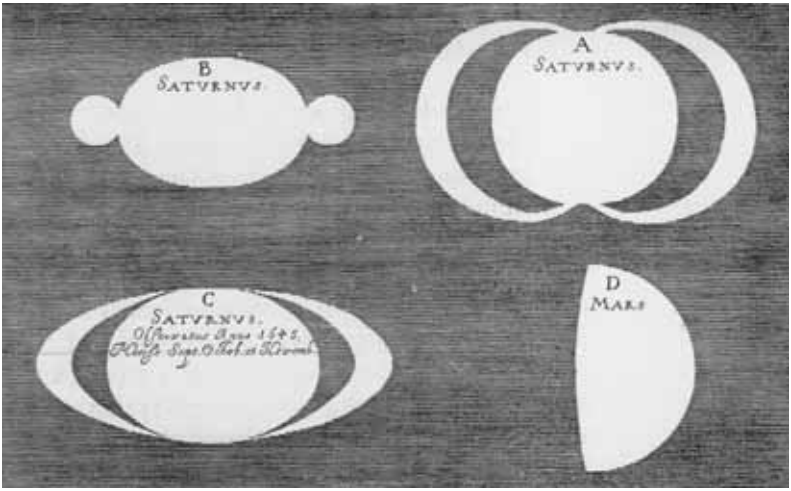

Bild 7: Darstellungen des Saturn-Ringsystems nach Johannes Hevelius, Machinae coelestis pars prior. Danzig 1673

Nun zu den Sonnenflecken: Wie die Jupitermonde wurden auch die Sonnenflecke unabhängig von mehreren Forschern gefunden, die ersten waren Johannes Fabricius, der jung verstorbene Sohn eines friesischen Pfarrers, Thomas Harriot mit den ersten sehr genauen Studien, der Jesuit Christoph Scheiner und wiederum Galilei. Fabricius sah die Flecke im Dezember 1610, bald gemeinsam mit seinem Vater David, dem Entdecker der Veränderlichkeit der Mira im Walfisch. Dachten sie anfangs an Wolkenerscheinungen, belehrte sie die Bewegung und schließliche Wiederkehr eines Flecks infolge der Sonnenrotation eines Besseren. Im März des Folgejahres fand Christoph Scheiner, Professor am Jesuitenkolleg Ingolstadt, die Flecke gemeinsam mit seinem Schüler Johann Baptist Cysat. Galilei fand die Sonnenflecke im Frühjahr 1611.

Bemerkenswert ist, daß Galilei sehr schnell die Natur der Flecke als zum Sonnenkörper zugehörig erkannte. Andere Beobachter zögerten und dachten eher daran, daß es sich um Wolkenerscheinungen handele, wie Fabricius, oder kleine Körper, die die Sonne wie kleine Planeten umkreisen, wie es Scheiner vermutete. Immerhin war Scheiner schon von seinem Ordensprovinzial, als er ihm von seinen Sonnenbeobachtungen berichtete, gerügt worden. Dies geschah nicht einfach deshalb, weil Scheiner etwas gesehen haben wollte, was bei Aristoteles nicht beschrieben ist, sondern weil er ausgerechnet

die für makellos gehaltene Sonne befleckt hatte. Da half es nicht einmal, daß er zunächst die Fleckennatur gar nicht erkannte, sondern umlaufende kleine Körper als Ursache annahm. Glücklicherweise veröffentlichte er seine weiteren Forschungen, wenn auch anfangs anonym und erkannte nach diesen Studien die Zugehörigkeit der Flecke zum Sonnenkörper – seinen Irrtum freimütig bekennend.

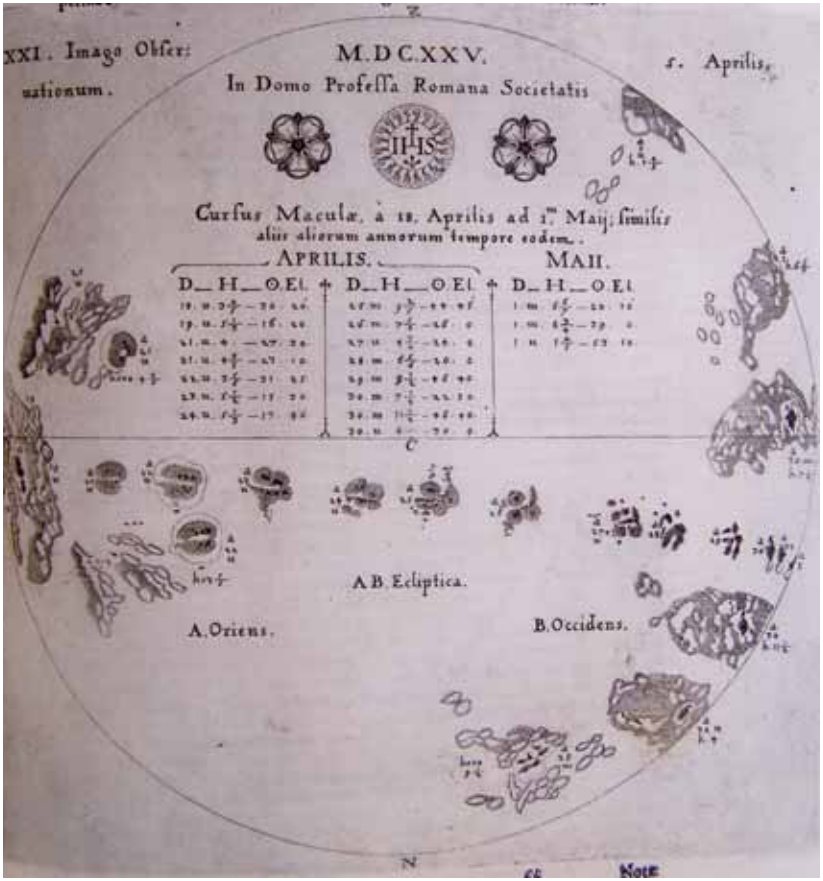

Bild 8: Sonnenbeobachtungen vom April bis Mai 1625, Christoph Scheiner, Rosa Ursina sive Sol. Bracciano 1630

Im Jahre 1630 veröffentlichte Scheiner seinen dickleibigen Folianten „Rosa Ursina, sive Sol“ im Umfang von etwa 850 Seiten. Er war das Produkt jahre-

langer Studien, das erste Standardwerk der Sonnenforschung, voller detaillierter Erkenntnisse über die Sonnenflecke, ihr Aussehen, ihre Struktur, ihren Lauf auf der Sonne und anderes.

Die Bedeutung der Sonnenflecke für den Streit um das wahre Weltsystem liegt zunächst darin, daß der Gedanke der Unveränderlichkeit im Bereich über dem Mond angegriffen wurde. Denn schon die ersten Beobachter, besonders Thomas Harriot, stellten fest, daß die Flecke keine konstanten Erscheinungen sind, sondern ihre Gestalt und gegenseitige Lage verändern, sie entstehen und vergehen. Noch wichtiger läuft dies darauf hinaus, daß in der christlich geformten aristotelischen Physik der Sonne eine besondere Stellung in der Welt zukam, Isidor sie sogar in allegorischem Sinne mit Christus gleichsetzte.[4] Daraus ergab sich die gedankliche Selbstverständlichkeit, daß ihr Licht, ihr Feuer rein sei, keiner Nahrung bedarf und in ihrer Stärke unveränderlich sei. Vor diesem Hintergrund ist zu verstehen, warum die Sonnenflecke weltanschauliche Kontroversen verursachten.

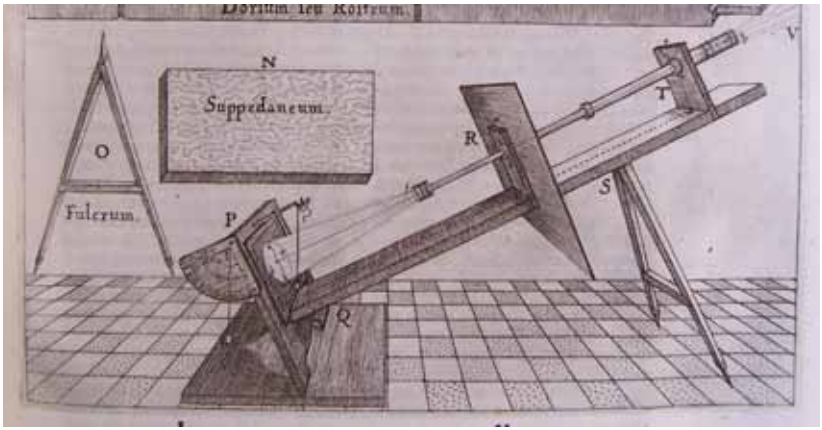

Bild 9: Instrument für Sonnenbeobachtungen in Projektion nach Chr. Scheiner (wie Bild 8)

Die Beobachtung der Sonnenflecke erwies sich als nicht so einfach. Das gleißende Sonnenbild machte Beobachtungen in „normaler“ Weise unmöglich, wollte man nicht schwere Augenschäden riskieren. Meistens verlegte man deshalb die Beobachtungszeit kurz nach dem Sonnenauf- oder vor den Sonnenuntergang, wenn der Horizontdunst eine Dämpfung des Lichtes bewirkte. Scheiner war wohl der erste, der 1611 gefärbte Gläser oder gefärbte Linsen

4 Isidor, Opera. 1601, S. 362

verwendete. Die meisten Beobachter gingen zu Beobachtungen des projektierten Sonnenbildes in einer camera obscura über, so Scheiner, Fabricius und Kepler. Scheiner brachte hinter dem Okular einen Projektionsschirm an, auf dem in sicherer und bequemer Weise das Sonnenbild studiert und gezeichnet werden konnte; dieser Methode verdankte er das über Jahre gesammelte Material.

Hatte die Entdeckung der Sonnenflecke auch keinen direkten Bezug zum Streit um Copernicus, wurde doch einem weiteren Element der kirchlich sanktionierten Naturphilosophie der Boden entzogen und dies wirkte stärkend auf die Vermutung, noch weitere Sätze der aristotelischen Physik könnten sich als falsch erweisen – gemeinsam mit den durch die anderen Fernrohrbeobachtungen gesäten Zweifeln wurde der Boden für die Akzeptanz tiefergehender Wandlungen bereitet.

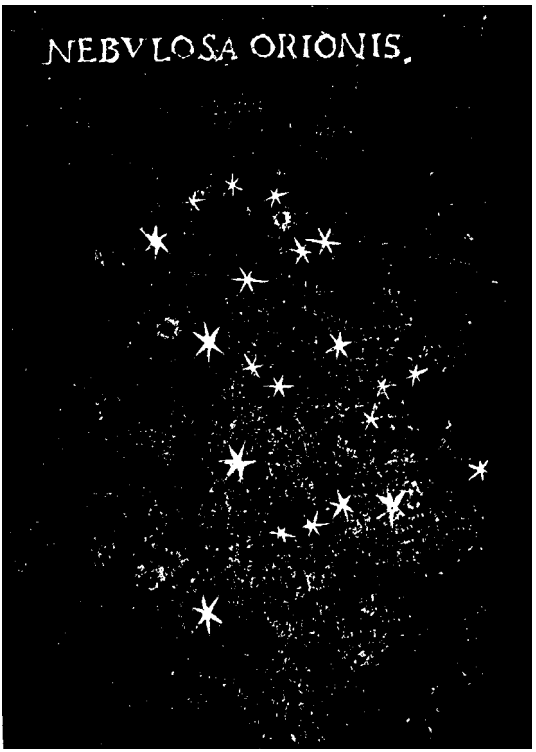

Bild 10: Der Orion-Nebel nach Galileo Galilei, Sidereus nuncius. Frankfurt a.M. 1610

Schließlich noch die Entdeckung von Sternen in der Milchstraße – oder überhaupt von Sternen, die erst mit einem Fernrohr sichtbar gemacht werden konnten. Solche kleinen Sterne hatte schon Hans Lipperhey im September 1608 bemerkt. Denn im ersten Bericht einer Vorführung des Fernrohrs, die Lipperhey am 28. oder 29. September 1608 vor Moritz von Nassau in Den Haag gab, wurde neben der an erster Stelle stehenden militärischen Bedeutung des Fernrohrs festgestellt, daß damit Sterne gesehen werden können, die normalerweise für uns wegen ihrer Kleinheit und der Schwäche unseres Gesichts nicht sichtbar sind.[5] Hinsichtlich der weiterführenden Konsequenzen stand diese Entdeckung mehr am Rande, wurde doch ohnehin schon länger vermutet, daß es sich bei der Milchstraße um kleine Sternchen handelt. Dennoch war die Frage: Wenn es unzählige schwache Sternchen gibt, die dem Menschen nur mit technischen Hilfsmitteln zugänglich sind – wozu sollte Gott sie dann erschaffen haben? Schließlich hatte Gott alle Sterne für den Menschen geschaffen, ihm zu dienen, ein großes Licht, das den Tag, ein kleines Licht, das die Nacht regiert, dazu auch Sterne. Doch was sollen solche Sterne? Nun war Skepsis angebracht, ob die biblische Feststellung vom Nutzen der Gestirne so genau wörtlich zu nehmen sei.

Übrigens trifft dies auch für die Monde des Jupiter zu; wofür sollte Gott diese Gestirne geschaffen haben. Doch nicht für den Menschen, doch aber auch nicht aus irgend einer Laune heraus, denn Gott schafft nichts umsonst. Hier bot sich immerhin eine mögliche Lösung an: Man müsse nur annehmen, daß es auf dem Jupiter Lebewesen gibt, für die Gott diese Sternchen geschaffen hatte. Damit war zwar geklärt, daß Gott nichts umsonst schafft, doch nur um den Preis einer neuen theologischen Fragwürdigkeit, nämlich der Annahme von Lebewesen auf dem Jupiter. Denn davon stand nicht nur nichts in der Bibel, sondern dies verstieß bedenklich gegen die biblische Feststellung der Einheit des Menschengeschlechts.

Ich möchte zusammenfassen: Das Fernrohr erwies in mehrfacher Weise, daß die Physik des Aristoteles, die sich fast 2000 Jahre gut bewährt hatte, nicht länger haltbar war. Damit war eine Grundfeste des geozentrischen Weltsystems erschüttert. Noch weitergehender fand sich mit dem Ablauf der Lichtgestalten der Venus der erste deutliche empirische Hinweis darauf, daß Copernicus recht hatte mit seiner Behauptung, nicht die Erde, sondern die

5 Embassies of the King of Siam sent to His Excellency Prince Maurits, arrived in The Hague on 10 September 1608. Transl. from the French orig. by Henk Zoomers, ed. by Huib Zuidervaart. Wassenaar 2008, bes. S. 36f., 48f.

Sonne stehe in der Mitte der Welt. In diesem Zusammenhang kann ich nur kurz auf die Forschungen zu den Kometen verweisen, die seit 1572, besonders dann 1577 erwiesen, daß Kometen als veränderliche Himmelskörper der Sphäre der Gestirne angehören – damit war schon zu dieser Zeit ein Grundaxiom der aristotelischen Physik erschüttert, nämlich das der Unveränderlichkeit im Bereich der himmlischen Sphären. Diese Erkenntnis wurde damals auch ganz klar von einer größeren Zahl von Gelehrten ausgesprochen und drang bis in die deutschsprachige populäre Literatur.[6]

Also: Die ersten Himmelsbeobachtungen mit dem Fernrohr waren von großer Bedeutung in den Diskussionen um das copernicanische Weltsystem. Ihr Stellenwert für die Durchsetzung des heliozentrischen Weltsystems ist jedoch unterschiedlich und wird oft überschätzt. So besaßen die Entdeckungen des Jupitermondsystems, der Mondformationen und der Sonnenflecke in dieser Hinsicht keine unmittelbare Beweiskraft. Es wurden jedoch einige, teils theologisch gefärbte Prinzipien der aristotelischen Physik erschüttert. Zu ihnen gehört die grundsätzliche Aussage, nur die Erde könne als in der Weltmitte stehend das Zentrum von Kreisbewegungen sein, der Mond als zur kosmischen Region gehörig müsse eine ideal ebene Oberfläche haben, schließlich die Sonne sei als Himmelskörper und Sinnbild Gottes in der Welt notwendig makellos. Außerdem schien nach Entdeckung von Sternen in der Milchstraße, die erst durch ein Fernrohr sichtbar werden, kaum noch glaubhaft, daß nach biblischer Aussage alle Gestirne erschaffen wurden, dem Menschen zu dienen. Die vier Jupitermonde zeigten unbestreitbar, daß es in diesem Fall eine doppelte Bewegung gibt, zum einen die Kreisbewegung der Monde um den Jupiter, zweitens mit diesen zusammen die Bewegung des Jupiter, wobei es gleich ist, ob sich dieser um die Erde, oder die Sonne bewege.

Freilich besaßen diese Entdeckungen für die Anhänger des Copernicus, eine große Überzeugungskraft, da sie vorhandene Zweifel an der Richtigkeit der aristotelischen Physik stärkten.

---

6 Hamel, Jürgen: Die Kometen in der deutschsprachigen astronomisch-astrologischen Kleinliteratur um 1600. In: Die Sterne 71 (1995), S. 18–28

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 31–48*

Klaus-Dieter Herbst

Der Schreibkalender der Frühen Neuzeit – eine noch wenig genutzte Quelle für die Astronomiegeschichtsschreibung

I

Am 13./23. Januar 1636 bedankte sich Joachim Jungius (1587–1657), Gelehrter in Hamburg, in einem Brief an Lorenz Eichstädt (1596–1660), Gelehrter in Stettin, für die Übersendung von Büchern und Kalendern.[1] Die Bücher sind Eichstädts astronomische Ephemeriden und die Kalender sind Exemplare von dessen großem Schreibkalender für das Jahr 1636.[2] Im Briefwechsel von Jungius ist dieser Anlaß kein Einzelfall. Belege für eine gezielte Versendung von großen Schreibkalendern, d. h. solchen im Quartformat, lassen sich auch in anderen Gelehrtenbriefwechseln während des gesamten 17. Jahrhunderts nachweisen. Schon das allein ist ein Indiz dafür, daß diese Gattung von Druckwerken auch für die Gelehrten der Frühen Neuzeit von Bedeutung waren. In diesem Beitrag möchte ich wiederholt die These ausbreiten, daß diese Bedeutung nicht nur in der Hilfe für die Orientierung im Alltag eines Menschen zu suchen ist, sondern auch darin, daß die großen Schreibkalender ein Medium für die Kommunikation unter Gelehrten waren. Das wiederum macht sie für das Feld der Astronomiegeschichte interessant. In früheren Aufsätzen habe ich bereits mehrere Belege dafür vorgestellt. Hier sollen weitere Beispiele, die die formulierte These untermauern, folgen.

II

Adam Adamandus Kochanski (1631–1700), Jesuit und Gelehrter in Warschau, begann seine Korrespondenz mit Gottfried Kirch (1639–1710), Ge-

1 Der Briefwechsel des Joachim Jungius. Aufgrund der Vorarbeiten von Bernd Elsner bearbeitet und eingeleitet von Martin Rothkegel. Göttingen 2005, S. 263.

2 Von Eichstädts Kalendern konnten Exemplare für den Zeitraum von 1621 bis 1663 ermittelt werden. Siehe die Übersicht in Klaus-Dieter Herbst: Verzeichnis der Schreibkalender des 17. Jahrhunderts. Jena 2008, S. 79.

lehrter in Leipzig, mit einem Brief vom 15./25. Juli 1681. Nach der Grußformel schrieb Kochanski:

„Als ich zu Breslau in Schlesien die Mathematik im Kollegium Unserer Gesellschaft öffentlich lehrte, habe ich DEINEN in Deutsch herausgegebenen Kalender bekommen. Ich habe bisher keinen vergleichbaren gefunden, der mehr meiner geistigen Einstellung entsprach. Ich wollte an DICH von dort bezüglich einiger astronomischer Aufgaben schreiben, aber in der Zwischenzeit wurde ich nach Warschau gerufen, in die mathematischen Dienste des Durchlauchtigsten, von Geburt größten polnischen Fürsten, und konnte dadurch diese Ausarbeitung nicht geben. Allerdings habe ich überall den Lobredner Deiner Bestrebungen abgegeben; am meisten nachdem ich aus Deiner Vorrede, die dem Kalender dieses Jahres vorangestellt ist, ersehen habe, daß Du Dich um die Fortführung von Ephemeriden, die genauer als die Heckerschen sind, bemühst. Ferner begehre ich gar sehr von DIR zu erfahren, ob die Ephemeriden der Jahre 81 und 82 schon das Licht erblickt haben, oder zur nächsten Messe erblicken werden. [...]“[3]

Der von Kochanski gelobte Kalender ist Kirchs „Rechter Astronomischer Wunder-Kalender“, der erstmals für das Jahr 1677 erschienen war.[4] Der Vorrede des Exemplars für 1681 entnahm Kochanski die Information, daß Kirch an die Fortführung der mit dem Jahr 1680 endenden astronomischen Ephemeriden von Johannes Hecker (1625–1675) dachte. Diese Mitteilung in dem Massenmedium Schreibkalender verdeutlicht deren Funktion als Medium der Kommunikation auch unter den Gelehrten. Zwar ist ein Exemplar des Jahrgangs 1681 nicht überliefert,[5] doch kann in einer anderen Kalenderreihe von Kirch die Ankündigung der Fortsetzung der Heckerschen Ephemeriden nach-

3 Die Korrespondenz des Astronomen und Kalendermachers Gottfried Kirch (1639–1710). In drei Bänden herausgegeben und bearbeitet von Klaus-Dieter Herbst unter Mitwirkung von Eberhard Knobloch und Manfred Simon sowie mit einer Graphik von Ekkehard C. Engelmann versehen. Bd. 1: Briefe 1665–1689, Bd. 2: Briefe 1689–1709, Bd. 3: Übersetzungen, Kommentare, Verzeichnisse. Jena 2006. Der in lateinischer Sprache gehaltene Brief ist in Bd. 1, S. 85–86 wiedergegeben. Zitiert wird hier die Übersetzung gemäß Bd. 3, S. 47.

4 Daß Kochanski tatsächlich diese Kalenderreihe meinte, folgt aus einer Passage in einem anderen Brief vom 25.11./5.12.1681: „Überaus gefallen mir auch die netten Einfälle Deiner Dialoge, welche einer jeden am Gespräch teilnehmenden Person eigen sind, und die den von der Anstrengung etwas erschöpften Leser in Abständen wieder wunderbar beleben und aufrichten.“ Zitiert nach Die Korrespondenz (wie Anm. 3), Bd. 3, S. 58. Der Astronomische Wunder-Kalender enthält im zweiten Teil mehrere Gespräche, welche „Sternhold und Erdmann mit einander halten“. Kirchs Christen-, Juden- und Türken-Kalender bringt solche Gespräche nicht.

5 Siehe die Übersicht zu den ermittelten Exemplaren in Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 115.

gelesen werden.[6] Nachdem die Ephemeriden von Kirch für die ersten Jahre gedruckt waren, wartete Kochanski auf die Zusendung dieser Stücke sowie auf weitere Kalenderjahrgänge, die Kirch bereitwillig schickte.[7]

III

Neben der bloßen Information über zu erwartende Druckwerke boten ausgewählte Kalenderreihen über das gesamte 17. Jahrhundert hinweg und noch zu Beginn des 18. Jahrhunderts auch solche Inhalte, denen Relevanz für die zeitgenössische astronomische Forschung zuzusprechen ist. In dieser Beziehung sind die von Gottfried Kirch verfaßten Kalenderreihen herausragend,[8] insbesondere die beiden bereits genannten Reihen des seit 1667 erschienenen Christen-, Juden- und Türken-Kalenders[9] sowie des seit 1677 erschienenen Astronomischen Wunder-Kalenders, aber auch der unter dem Namen Georg Fabricius seit 1677 erschienene „Warhafftige Himmels=Bothe/ Oder Astronomischer Wahr=Sager“[10] und der unter dem Namen Hipparchus ebenfalls seit 1677 erschienene „Historien= und Gespräch=Kalender“.[11] Der letzte wurde für 1677 zunächst mit dem vielversprechenden Titel versehen: „Die Verbesserung der Stern=Kunst und des Kalenders/ hoffet und schläget unmaßgeblich vor/ in einem Kalender“. Alle astronomischen Details, die in den von Kirch verfaßten Kalendern anzutreffen sind, aufzulisten, würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Verwiesen sei statt dessen auf bereits an anderen Stellen publizierte Beispiele.[12]

6 Gottfried Kirch: Alter und Neuer Christen= Jüden und Türcken=Kalender, Jg. 1680, gedruckt in Annaberg, S. C1a ff.

7 Vgl. z. B. Die Korrespondenz (wie Anm. 3), Bd. 1, S. 184.

8 Kirch schrieb zeitweise bis zu 14 verschiedene Kalender pro Jahrgang, darunter auch unter erdichteten Namen und unter den Namen bereits verstorbener Kalendermacher, deren Reihen er übernommen hatte. Zu Kirch als Kalendermacher siehe Klaus-Dieter Herbst: Die Kalender von Gottfried Kirch. In: Beiträge zur Astronomiegeschichte, Frankfurt am Main 2004, Bd. 7, S. 115–159. Beachte dazu die Entdeckung zahlreicher weiterer Exemplare, die aufgelistet sind in Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2).

9 Die ersten beiden Jahrgänge für 1667 und 1668 sind als Faksimiledruck 2008 bzw. 2009 neu herausgegeben worden. Siehe Klaus-Dieter Herbst (Hrsg.): Acta Calendariographica – Kalenderreihen, Bd. 1.1 (1667) und Bd. 1.2 (1668). Weitere Bände sollen folgen.

10 Siehe die Übersicht zu den ermittelten Exemplaren in Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 81.

11 Siehe die Übersicht zu den ermittelten Exemplaren in Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 108.

So bedeutsam Kirch mit seinen großen Schreibkalendern im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts für die an astronomischen Fragen interessierten Leser auch war, so sollten doch andere Kalendermacher aus dem gesamten Jahrhundert nicht übersehen werden. Beschränkt man sich auf die Astronomie,[13] so liefern die großen Schreibkalender mit ihren zweiten Teilen (den Prognostiken) folgender Personen weiteres Material für eine astronomiehistorische Auswertung:[14]

David Herlicius (1557–1636), erster Kalender für 1584
Johannes Krabbe (1553–1616), erster Kalender für 1592[15]
Johannes Kepler (1571–1630), erster Kalender für 1595[16]
Simon Marius 1573–1624), erster Kalender für 1601[17]
Peter Crüger (1580–1639), erster Kalender für 1609[18]
Paul Nagel (?–ca. 1628), erster Kalender für 1610[19]
Lorenz Eichstädt (1596–1660), erster Kalender für 1621
Johann Georg Schwalbach (vor 1614–nach 1641), erster Kalender für 1621

12 1. Klaus-Dieter Herbst: Die Jahreskalender – Ein Medium für gelehrte Kommunikation. In: Klaus-Dieter Herbst und Stefan Kratochwil (Hrsg.): Kommunikation in der Frühen Neuzeit. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Brüssel, New York, Oxford, Wien 2009, S. 189–224, bes. S. 196–198, 204–210, 221. Hierzu sei ergänzt, daß der auf S. 221 (Anm. 92) noch als nicht überliefert genannte wichtige Jahrgang 1694 von Kirchs Christen-, Juden- und Türken-Kalender von mir im September 2008 in der Österreichischen Nationalbibliothek Wien aufgefunden werden konnte.
2. Klaus-Dieter Herbst: Das Neueste im Jahresrhythmus. Zur Professionalisierung des Kalenderwesens im 17. Jahrhundert. In: Astrid Blome und Holger Böning (Hrsg.): Presse und Geschichte. Leistungen und Perspektiven der historischen Presseforschung. Bremen 2008, S. 97–124, bes. S. 114–117.
3. Klaus-Dieter Herbst: Wer half dem Astronomen Gottfried Kirch? In: Klaus Hentschel (Hrsg.): Unsichtbare Hände. Zur Rolle von Laborassistenten, Mechanikern, Zeichnern u. a. Amanuenses in der physikalischen Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Diepholz, Stuttgart, Berlin 2008, S. 51–68, bes. S. 62 u. 67.
4. Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 229–231.
5. Herbst, Die Kalender (wie Anm. 8), bes. S. 118–126.
6. Klaus-Dieter Herbst: Der Societätsgedanke bei Gottfried Kirch (1639–1710), untersucht unter Einbeziehung seiner Korrespondenz und Kalender. In: Beiträge zur Astronomiegeschichte, Frankfurt am Main 2002, Bd. 5, S. 115–151, bes. S. 117–124.

13 Beispiele aus den Gebieten der Medizin und der Meteorologie findet man z. B. in Herbst, Zur Professionalisierung (wie Anm. 12, Nr. 2), S. 118–122.

14 Zu den Titeln der Kalenderreihen sowie zur Übersicht der ermittelten Exemplare für den Zeitraum von 1600 bis 1700 siehe Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2). Die hier gegebene Namensliste basiert auf einer ersten, kursorischen Durchsicht von rund 6000 großen Schreibkalendern aus dem 17. Jahrhundert. Es ist nicht auszuschließen, daß bei intensiverer Suche nach astronomisch relevanten Inhalten auch einzelne Kalenderjahrgänge anderer Kalendermacher Material bieten.

15 Vgl. Herbst, Die Jahreskalender (wie Anm. 12, Nr. 1), S. 199–204.

16 Siehe Kepler Gesammelte Werke, Bd. 11/2.

Simeon Partlicius (vor 1612–nach 1647), erster Kalender für 1623
Johannes Remus Quietanus (1588?–1632?), erster Kalender für 1625[20]
Elias Crätschmair (?–1661), erster Kalender für 1627
Albert Linnemann (1603–1653), erster Kalender für 1636
Stephan Fuhrmann (?–1683), erster Kalender für 1638
Johann Christian Foman (1611–?), erster Kalender für 1641
Abdias Trew (1597–1669), erster Kalender für 1642
Christoph Schorer (1618–1671), erster Kalender für 1644
Johannes Magirus (1615–1697), erster Kalender für 1646[21]
Israel Hiebner (1619–1668), erster Kalender für 1646[22]
Johann Keyser (das ist J. Caesar, 1614–1694), erster Kalender für 1647
Caspar March (1619–1677), erster Kalender für 1648
Salome Schimpferin (?–?), erster Kalender für 1654
Christoph Neubarth (1607–1682), erster Kalender für 1655
Christoph Richter (1618–1680), erster Kalender für 1655[23]
Andreas Concius (1628–1682), erster Kalender für 1659
Johann Christoph Wagner (1640–?), erster Kalender für 1664[24]
Johann Heinrich Voigt (1613–1691), erster Kalender für 1665
Gottfried Kirch (1639–1710), erster Kalender für 1667[25]
Andreas Marquardt (?–?), erster Kalender für 1667

---

17 Vgl. Klaus-Dieter Herbst: Galilei's astronomical discoveries using the telescope and their evaluation found in a writing-calendar from 1611. In: Astronomische Nachrichten 330, No. 6/7, S. 536–539 (2009), bes. S. 538–539. Dazu auch Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 225.

18 Vgl. Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 218–222.

19 Vgl. Herbst, Galilei's (wie Anm. 17), S. 537–538. Dazu auch Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 222–224.

20 Vgl. Klaus-Dieter Herbst: Die erstmalige Benutzung von Keplers Rudolphinischen Tafeln für die Herstellung eines Schreibkalenders. In: Karsten Gaulke und Jürgen Hamel (Hrsg.): Kepler, Galilei, das Fernrohr und die Folgen. Frankfurt am Main 2009 (in Vorbereitung).

21 Vgl. Herbst, Die Jahreskalender (wie Anm. 12, Nr. 1), S. 218–219.

22 Vgl. Herbst, Die Jahreskalender (wie Anm. 12, Nr. 1), S. 215–217.

23 Vgl. Herbst, Zur Professionalisierung (wie Anm. 12, Nr. 2), S. 106–113.

24 Klaus-Dieter Herbst: Die Schreibkalender des Verlages Felsecker – Eine Bestandsaufnahme der Jahrgänge 1661 bis 1675. In: Johann Jakob Christoffel von Grimmelshausen. Simplicianische Jahreskalender. Europäischer Wundergeschichten Calender 1670 bis 1672 (Nürnberg), Schreib-Kalender 1675 (Molsheim). Faksimiledruck der vier Kalenderjahrgänge erstmals neu herausgegeben und kommentiert von Klaus Matthäus und Klaus-Dieter Herbst. Erlangen und Jena 2009, S. 279–354, bes. S. 309–315.

25 Vgl. ebenfalls die Kalenderreihen, die Kirch nicht unter seinem Namen veröffentlicht hatte, sondern unter „Jesaias Gräuf", „Sibylla Ptolomaein", „David Fabricius" und „Hipparchus". Auch die Reihe des Johann Neubarth (1636–1686), die nach dessen Tod von Kirch kontinuiert wurde, enthält wissenschaftshistorisch relevante Sachen, ebenso die von dem verstorbenen Christoph Richter übernommenen Reihen.

Christian Grüneberg (ca. 1640–nach 1694), erster Kalender für 1667
Johann Christoph Sturm (1635–1703), erster Kalender für 1669[26]
Philipp Jacob Himmelsburger (das ist vermutlich Jacob Honold), erster Kalender für 1673
Philipp Jacob Oswald Freiherr von Ochsenstein (vor 1659–?), erster Kalender für 1674
Johann Jacob Zimmermann (1644–1693), erster Kalender für 1675
Friedrich Büthner (1622–1701), erster Kalender für 1678
Jacob Honold (ca. 1630–1691), erster Kalender für 1678[27]
Cornelius Nordstern (das ist sicherlich ein Pseudonym), erster Kalender für 1682
Gottlieb von Himmelsfeld (das ist Nicolaus Lindenberg, ?–?), erster Kalender für 1685
Ulrich Junius (1670–1726), erster Kalender für 1700[28]
Johannes Gaupp (1667–1738), erster Kalender für 1700

IV

Das, was man in den großen Schreibkalendern dieser vielen Männer und einen Frau (!) finden kann, sind:

- Informationen, Erörterungen, Meinungen über astronomische Phänomene und Probleme
- öffentliche Auseinandersetzungen zwischen Kalendermachern über ein fachliches Problem
- Zitierungen aus gelehrten Journalen (Philosophical Transaction, Acta Eruditorum)
- Ankündigungen von Kollegs und Büchern
- Kritik naturwissenschaftlicher Bücher, speziell astronomischer Ephemeridenwerke
- Vergleiche der Rechnungen nach verschiedenen astronomischen Tafelwerken
- Aufforderungen zur Beobachtung astronomischer Ereignisse

26 Sturm begann seine Aktivitäten als Kalendermacher unter dem Pseudonym „Alethophilus von Uranien“. Vgl. Klaus Matthäus: Sturm als Kalendermacher. In: Hans Gaab, Pierre Leich und Günter Löffladt (Hrsg.): Johann Christoph Sturm (1635–1703). Frankfurt am Main 2004, S. 226–249. Klaus-Dieter Herbst: Der Beitrag von Johann Christoph Sturm zur astronomischen Forschung. In: Ebd, S. 203–225, bes. S. 220–224.

27 Vgl. Herbst, Zur Professionalisierung (wie Anm. 12, Nr. 2), S. 116–117.

28 Vgl. Herbst, Die Jahreskalender (wie Anm. 12, Nr. 1), S. 211–214.

- Beobachtungsprotokolle, teilweise abgedruckt in Briefform
- Diskussionen innovativer Vorschläge (Kalenderreform, Societätsgründung).

Einige Beispiele sollen diese Erwartungen illustrieren. Der eingangs erwähnte Eichstädt rechnete in seinen Kalendern und Ephemeriden sowohl nach den Dänischen Tafeln von Christian Severin Longomontan (1562–1647) als auch nach den Rudolphinischen Tafeln von Kepler. Im zweiten Teil seines Schreibkalenders für 1635 stellt er bei der Behandlung der Finsternisse zunächst die zu erwartenden zwei totalen Mondfinsternisse vor. Am Schluß des Kapitels heißt es dann:

„Die Astronomi haben jetzund vrsach vnd gelegenheit zuerforschen den vnterscheid der laenge der örter: Den man in gantzen Mondfinsternussen die Zeit der gantzen erlöschung des Monden/ vnd wenn er wiederumb ein wenig Liechts vberkommen/ noch besser als in partial Mondfinsternussen in acht nehmen kan. Bey der Observation der Mondfinsternuß im vorigen Jahr/ den 4. Mart. A. Cal. hatte ich zwar nit eine sichere Station ergriffen/ weil ich sie muste nehmen ob declivem Lunae situm, als ich sie haben könte: Dennoch hab ich 2. Observationes vberkommen/ welche mit fleiß von mir seyn genommen worden/ vnnd den anfang dieser Finsternuß vnnd das mittel anzeigen thun: Denn ich hatte erstlich zwo Horologia, welche auch die Minuten zeigten (deren eins ich ex communicatione des Ehrw. M. Samuelis Fuchsij, meines vielgeehrten Herrn Gevatters bekam) nach der Sonnen vntergang/ welcher geschah vmb 5. Vhr/ 49. Minut. rectificiret. Wie man nun mercken kunte/ daß am Rande des vollen Monden ein wenig Liechtes sich begunte zu verlieren/ zeigte der Minuten Seiger auff 7. Vhr/ 48. minuten; Hierauff nam ich bald hernach mit meinem Quadra[n]to die höhe des Löwen Hertzen in plaga Orientali, welche ich bekam 41. grad. 21. min. Seine Ascensio recta ward gefunden 147. grad. 13. min. Declinatio Borea 13. grad. 44. Min. Die Sonne war im 14. grad. 20. Minut. Piscium. Ascensio ejus recta 43. gr. 48. min. Elevatio Poli 53. Grad 30. Min. Daher entstehet das Tempus â meridie 7. Stunden 50 minuten. Wormit auch die beyden Minuten Vhr satis praecisè vbereinkamen: Waren demnach schon zwo minuta temporis â prima Observatione deficientis Lunae verflossen/ dahero der anfang gewesen Hor. 7. Minut. 48. Ferner da der dritte theyl des Lunae war verfinstert/ bekam ich altitudinem Cordis Leonis in eadem plaga Orientali 44 gr. 1 min. Hinc tempus horarium existit 8. horarum 13. Min. Da nun der Mond begunte am Liecht wiederumb zu zunehmen/ Ich aber mit meinem Instrument wegen der vielen bewegung der Bretter/ darauff es stand/ in beysein etlicher vornehmen Herren nicht kondte mehr vort-

kommen/ hab ich mich nur müssen an meine rectificirte MinutenVhren halten/ welche einhellig anzeigeten 10. Vhr 51 min. da noch der dritte theil des Monden verfinstert war. Hinc datur intervallum temporis inter utramque similem Phasin 2. horar. 38. Min Tempus bisectum est 1. hor. 19. min. quae addita horis 8. Minut. 13. praebent tempus mediae Eclipsis Lunae 9. Vhr 32. Min. et finem 11. hor. 16. Min. würde demnach Differentia longitudinis inter Vraniburgum et vetus Sedinum seyn 6. min. Welche ich doch hiebevor 8. minut. bekommen. Muß derwegen noch mehr exempla observationum fidelium colligiren, vnd darauß beyder Meridianorum differentiam eigentlich schliessen. So auch andere Astronomi haben an jhren Ort diese Finsternuß observiret, kan man auch mehr differentias longitudinum locorum vberkommen."[29]

Hier liegt unzweifelhaft der Bericht über eine astronomische Beobachtung vor, und zwar mit konkreten Zeitangaben, mit Nennung der Instrumente (zwei Minutenuhren, ein Quadrant) und mit Hinweis darauf, daß das Ergebnis hinsichtlich der Meridiandifferenz zwischen Uraniborg und Alten Stettin (ausgedrückt in 6 Minuten Zeitdifferenz) von der bisherigen Annahme (8 Minuten) abweicht.[30] Am Ende drückt Eichstädt noch die Hoffnung aus, daß mit den eventuellen Beobachtungen anderer Astronomen weitere Längengrade überprüft werden könnten. Hätte es damals (1635) bereits eine Gelehrtenzeitschrift gegeben, wäre dieser Bericht mit Sicherheit darin abgedruckt worden. Solange es dieses Medium jedoch nicht gab, erfüllten – neben den die Kommunikation dominierenden brieflichen Korrespondenzen – ausgewählte Schreibkalender die Funktion eines Mediums für die Kommunikation unter Gelehrten. Im Falle der Kalender ist noch hervorzuheben, daß diese Mitteilungen in der deutschen Muttersprache erfolgten!

Ein zweites Beispiel, wiederum einem großen Schreibkalender von Eichstädt entnommen, soll das hier Postulierte bekräftigen. In seinem Kalender für 1658 findet man im zweiten Teil das Kapitel „Von der kleinen Finsterniß

29 Lorenz Eichstädt: Alt vnd New Schreibcalender, Jg. 1635, gedruckt in Alten Stettin, zweiter Teil (Prognosticon Astrologicum Generale), S. D2a. Zitiert nach dem Exemplar der Sächsischen Landesbibliothek, Staats- und Universitätsbibliothek Dresden, Sign.: Chron. 734. Ein zweites Exemplar dieses Jahrgangs befindet sich in der Universitätsbibliothek Greifswald, Sign.: La 195, Band Nr. 16, Stück 4.

30 Vgl. Johannes Kepler: Tabulae Rudolphinae. Ulm 1627 (KGW, Bd. 10). Mit dem Catalogus Locorum Europae Praecipue, [...]. In: Tabularum Rudolphi Astronomicarum Pars Prima, S. 33–36. Zu Stettin siehe S. 36: „Stetinum Pomeraniae [Diff. Merid.] Ho. 0. Mi. 8 a.". Vgl. Lorenz Eichstädt: Pars Prima Ephemeridum Novarvm Et Motuum Coelestium Quinquennalis, Ad Annos AErae Christianae 1636. 1637. 1638. 1639. 1640. Stettin 1634. Darin S. 65–75 der Catalogus Civitatum, Germaniae praecipue, [...]. Zu Stettin siehe S. 74: „Stetinum Pomeraniae [Differ. Temp.] H. 0. / 8 A".

und Bedeckung des Martis vom Monde/ und von andern vornehmen Aspecten der Planeten des 1658 Jahrs/ und waß sich darauff an Zufällen begeben könne.“[31] Eichstädt fügte dieses Kapitel ein, weil für Danzig im Jahr 1658 keine sichtbaren Sonnen- und Mondfinsternisse zu vermelden waren. Statt dessen füllte er den Raum mit Details zu Stern- und Planetenbedeckungen durch den Mond. Er verweist zunächst auf zurückliegende Beobachtungen der Bedeckungen des Sterns Aldebaran („Palilitium“) und des Planeten Jupiter, die 1645 und 1646 in Danzig angestellt worden waren. Sodann führt er an, daß schon Aristoteles „im andern Buch der Beschreibung des Himmels am 12. Capitel [meldet]/ wie er zu seiner Zeit gesehen/ daß Mars sey bedecket worden vom ersten Quart des Mondes/ [...]“.[32] Eichstädt stellt die Überlegung an, in welchem Jahr dieses Ereignis gewesen sein könnte. Damit endet „die erste Anmerckung der Finsterniß Martis“ und er fährt fort:

„2. Hernach wie Dn. Ioh. Kepplerus, gewesener Keyserlicher Mathematicus, hatte Ephemeridas auff etzliche Jahr hinauß in den Druck verfertiget nach anleitung der Observationum des Edlen Tychonis Brahei/ hat er auch auffs Jahr Christi 1631 und 1632 in einem sonderlichen Tractätlein angedeutet/ was seltzames am Himmel in denselben Jahren würde zu sehen seyn. Insonderheit auch/ wie im Jahr Christi 1632 den 6 Februarii Newen Calenders würde zubetrachten seyn der Vollmond/ dabey sich Mars finde/ und tieff mit ihm vereiniget würde. Derowegen hat damalen Herr Petrus Gassendus, ein trefflicher Philosophus und Mathematicus/ diese zusammenkunfft Martis und des Mondes zu Paryß in Franckreich fleißig angemercket und wargenommen/ welcher Gestalt Mars Anno 1632. den 6. Feb: St. Novo/ des Morgens 3 Minuten nach 3. Uhr sey im 36. Grad/ 19. Minuten Leonis vom voll Mond verfinstert worden/ welche Finsterniß bey einer halben Stunden gewehret/ wie man davon seine eigene Epistel an Herrn Wilhelmum Schickardum Hebraeae Lingvae & Matheseos Professorem in Academià Tubingensi geschrieben pag. 4, nach lesen kan/ welche Epistel er nennet Mercurium in Sole visum.

3. Also auch/ da ich Anno Christi 1642. hatte die Ephemeridas Herrn Keppleri continuiret/ und darin that finden/ waß massen den 15. Augusti Neuen Calenders in demselben Jahr Mars von dem Mond würde bedecket wer-

31 Lorenz Eichstädt: Newer und Alter Schreib=Calender, Jg. 1658, gedruckt in Danzig, zweiter Teil (Prognosticon Astrologicum), S. F1b–G2a (die Bogenkennzeichnung des Prognostikums beginnt mit E1; Exemplar der Universitäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt Halle, Sign.: AB B 10343). Diese für Danzig herausgegebene Kalenderreihe hatte Eichstädt ab dem Jahrgang 1643 von Peter Crüger übernommen (siehe Eichstädts Aussage im Jahrgang 1658, S. E2b).

32 Eichstädt, Schreib=Calender (wie Anm. 31), S. F2a.

den/ habe ich auch achtung darauff gehabt/ und so viel ich mit blossem Gesicht erkennen können/ ist solche Vertunckelung geschehen/ des Abends etwa 3. Minuten nach 11. Uhr/ und hat gewehret fast einer halben Stunden lang/ wie ich dann auch in meinem kleinen Ephemeride auffs Jahr Christi 1644. am Ende unter meine Observationes habe angedeutet.

4. Gleicher Gestalt begibt sich auch zu Anfang dieses 1658. Jahrs eine kleine Finsterniß des Martis vom Mond verursacht; Vnd weil solche Finsterniß viel seltener/ als Sonnen und Mond Finsternissen/ wollen wir dieselbe an stat der andern Finsternissen in etwaß mit nehmen/ ehe wir zu Erzehlung der Aspecten schreiten. Sie wird aber eintreten den 9. Februarij New Calend. nach Mittag umb 10. Vhr und 21. Minuten: Denn der Mond alsdann so nahe wird an Martem gelangen/ daß er ihn endlich gar bedecke/ doch nur mit seinem eussersten Rande/ wie ich übungs halben die vornembsten Stücke der Rechnung solcher Finsterniß wil herbey setzen nach den Rudolphinischen Taffeln.

Recensio summorum capitum calculi occultationis stellae Martis â Lunâ ad diem 9. Februarii fer. 7. juxta Tabulas Rudolphinas.

	Signa v. Dies	Gradus v. Horae	Minuta.	Secunda.
Conjunctio vera Martis & Lunae in Horizonte Gedanensi	9. Febr.	8	44	0
Intervallum inter veram & visam seu apparentem conjunctionem	0	1	42	add.
Tempus apparens visae conjunctionis & Eclipseos Martis.	9 Febr.	10	26	0
Longitudo Martis ad hoc tempus visae conjunctionis.	1 Sig.	10	22	0
Latitudo Borea Martis Descendens.	0 Sig.	1	59	0
Anommalia Lunae coaequata.	0 Sig.	12	18	0
Sol ad tempus verae Conjunctionis Martis & Lunae.	10 Sig.	21	0	0
Parallaxis Horizontalis disci Lunaris	0 Sig.	0	58	25
Semidiameter Lunae	0 Sig.	0	15	1
Parallaxis altitutidinis [sic] Lunae.	0 Sig.	0	47	24
Pars deficiens, quae valet scrupula incidentiae	0 Sig.	0	2	30
Tempus incidentiae & dimidia duratio occultationis Martis.	0 Sig.	0	5	0

Principium occultationis Martis á Lunâ.	9 Febr.	10	21	0
Medium tempus obscurationis Martis.	9	10	26	0
Finis Eclipseos Martis.	9 Febr.	10	31	0
Altitudo Martis ab Horizonte occiduo tempore egressus.	0 Sig.	17	29	0
Mars occidet in nostro Meridiano Gedanensi.	Nocte	12	56	0

Aus diesem kutzen Begriff der Rechnung der Verfinsterung Martis ist zu ersehen/ daß es nur eine kleine Finsterniß Martis nach der Rechnung der Rudolphinischen Taffeln seyn werde: Sintemal Mars vom Mond wird bedecket umb 10. Uhr 21. Minuten nach Mittag/ und bleibet nur im Schatten des Mondes etwa bey 10. Minuten/ welche noch nicht eine Viertel Stunde machen: Hernach aber trit er algemählich wieder aus dem Schatten des Mondes herfür/ ist werth/ daß man drauff achtung gebe/ dieweil es nicht allein ein seltzam Spectacul ist/ und die Gewißheit der Sternkunst und des Lauffs Martis mit dem Mond darthut: Sondern auch eine feine Gelegenheit den Astronomis in Europâ an die Hand gibt/ ihrer Oerter Longitudines, über welcher Ungewißheit bißher in der Geographiâ grosse Klagen geführet worden/ durch Zusammenhaltung vieler Anmerckungen an unterschiedlichen Orten/ zu verbessern."[33]

Noch einmal wird in diesem ausführlichen Zitat deutlich, daß in den großen Schreibkalendern des 17. Jahrhunderts wissenschaftshistorisch relevante Inhalte vorkommen. In diesem Fall sind es die Verweise auf ältere Beobachtungen von Planetenbedeckungen anderer Astronomen (mit Angabe der von Eichstädt verwendeten Literatur), die Erwähnung eigener Beobachtungen und schließlich die Vorausberechnung für eine neue Beobachtung mit

33 Eichstädt, Schreib=Calender (wie Anm. 31), S. F2a–3a. Eichstädt geht dann zur Besprechung der Aspekte und ihrer Bedeutung über, wobei er Grundsätzliches über die zulässigen Aussagen eines christlichen Astrologen von sich gibt. Schließlich führt er die Erwartung des Jüngsten Tages an (mit dem Verweis auf Philipp Nicolais Buch vom Reiche Christi, „welches Buch M. Gothardus Arthus von Danzig Anno 1610. auß der Lateinischen in die Teutsche Sprache hat übersetzt/ und würdig zu lesen ist." S. G2a) und geht auf eine theologische Auseinandersetzung um die wahre Kirche ein. In den abschließenden Kapiteln werden für jede Mondphase das Wetter vorausgesagt sowie für jeden Tag die Positionen der Sonne und des Mondes im Tierkreis sowie die einfallenden Aspekte tabellarisch genannt. Es fällt auf, daß in diesem Kalender die sonst üblichen Kapitel zum Kriegsgeschehen, zu den Krankheiten und zur Fruchtbarkeit des Ackerbodens fehlen.

der Aufforderung an die Astronomen in Europa, diese Gelegenheit zur Verbesserung der Sternkunst und der Geographie nicht zu versäumen.

V

Verwundern den in der Astronomiegeschichte bewanderten heutigen Leser die astronomischen Bezüge in den Kalendern eines Lorenz Eichstädt nicht, so darf man bei den in der astronomischen Historiographie unbekannten Kalendermachern schon staunen, daß sich auch in ihren Kalendern Meldungen über Beobachtungen von Himmelsphänomenen finden lassen. Beispielsweise schildert der Pfarrer Stephan Fuhrmann, der sich über viele Jahre hinweg mit den Mathematikprofessoren Andreas Concius in Königsberg und Christian Grüneberg in Frankfurt an der Oder einen öffentlichen Streit über die Korrektheit der prognostischen Aussagen in den Kalendern geliefert hatte, seine eigene Beobachtung der Erscheinung eines Kometen.[34]

„Bericht von dem zweeten erschrecklichen Comet=Stern/ [...] Dann auch von solchem letzten Cometen sonder Zweiffel anderwärtig zur Gnüge in die Welt geschrieben/ als wil nur/ in aller Kürtze dieß wenige davon vermelden/ daß nemlich derselbe an Grösse/ beede deß Schweiffes und Cörpers/ dem ersten nicht viel nachgegeben; An Farbe aber/ mehr röther und feuriger gewesen/ als jener/ auch in sich scheinbarer und heller/ der Natur und Colör Martis fast ähnlich. Seinen Lauff hat er/ meiner Observantz nach/ etwan den 27 Mertzmonats (6 Aprilis) (andere advisiren/ sie haben ihn zeitiger gesehen) angefangen/ forn am Bauche deß fliegenden Pferdes/ da er Morgens frühe/ gleich umb 2 Uhr herfür getretten/ und seinen ungeheuren Schweiff für sich außgestreckt/ Südwest werts/ biß zu unserm Zenith hin; Und ist von da fortgelauffen/ an dem Wende Circul deß Krebses/ über den Flügel Pegasi unter dem Haupt Andromedae hin/ durch den Nördlichen Fisch/ biß zum Häupt und Horn deß Widders/ welches er umb den 9 (19) Aprilis erreicht/ da ihn die Sonne/ als im 29 gradu Arietis/ mit ihren Strahlen überschattet und bedecket/ daß man ihn weiter Morgens nicht absehen noch erkennen können. Ist überall 13 Tage am Firmament recht sichtbarlich erschienen ohne was vor und nach ge-

34 Es handelt sich um den Kometen C/1665 F1, der vom 17./27. März bis 10./20. April 1665 gesehen wurde. Der von Fuhrmann angesprochene erste Komet war C/1664 W1, der vom 7./17. November 1664 bis zum 10./20. März 1665 gesehen wurde. Siehe Gary W. Kronk: Cometography. A Catalog of Comets. Volume 1: Ancient–1799. Cambridge 1999, S. 350–360. Eine Druckschrift von Fuhrmann über diese Kometen ist nicht bekannt. Vgl. Volker Fritz Brüning: Bibliographie der Kometenliteratur. Stuttgart 2000.

schehen/ davon eben meines Orts keinen gründlichen Nachricht geben kan.“[35]

VI

Die eingangs formulierte These, die bisher mit Beispielen aus dem 17. Jahrhundert unterlegt worden ist, gilt auch noch für den Anfang des 18. Jahrhunderts. Neben den bereits genannten Kalenderreihen von Kirch und Junius liefern Exemplare des „Stern=Kunst und Wirthschaffts Calender[s]“ eines Ernst Uranophilus weiteres Material. Besonders interessant ist der Schluß des Jahrgangs 1708, der hier vollständig zitiert sei:

„Judicium eines Fürnehmen und Hochgelahrten Astronomi, extrahiret aus dessen Schreiben sub dato Berlin den 28. Maji 1707. an dem Autorem dieses Calenders/ die Vorrede/ seines auf das nechst=verwichene Jahr[36] ausgegebenen Calender=Prognostici betreffende.

Anlangend die beyden Calender/ welche „ „ „ „ „ M. H. mir geschickt/ so habe ich mich darüber erfreuet und betrübet. Erfreute/ daß „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ Betrübet/ daß die edle Astronomia von solchen Leuten/ die sie nicht verstehen/ und sich doch derselben rühmen/ so liederlich tractiret und verschimpffet wird. Was der Seel. Herr Christoph Richter/ ein Priester in Sachsen/ ein guter Astronomus, in seinen Calendern 1675. und 1678.[37] (wie inliegend zu ersehen) von den unverständigen Kalender=Schreibern judiciret/ trifft mit M. H. Meynung gantz überein/ welche Er in seiner Vorrede setzet/ der ich auch beystimme. Gewiß ist die Beschreibung der Finsternisse der rechte Pobier=Stein eines Astronomi. Ist die gut/ so beweiset er seine Kunst. Denn ein Stümpler kan es nicht thun/ wie M. H. und Herr Richter gar recht judiciren/ und Ihnen ein jeder rechtschaffener Mathematicus beystimmen muß. Es ist auch meine Art/ wann mir ein Calender unter Handen kömbt/ so sehe ich vors erste nach den Finsternissen/ daraus erkenne ich bald den Meister. Beschreibet er Anfang/ Mittel/ Ende/ Grösse etc. fein umständlich/ so habe ich gute

35 Stephan Fuhrmann: Neu und Alter Zeit= Schreib= Hauß= und Kunst=Kalender, Jg. 1667, gedruckt in Frankfurt am Main, zweiter Teil (Anderer Theil/ Oder Prognosticon), S. D2a–b. Exemplar der Universitäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt Halle, Sign.: AB 10202. Fuhrmann läßt sich nach der kurzen astronomischen Beschreibung über „die muthmaßliche Bedeutung“ dieser Kometenerscheinung aus.

36 Das wäre der noch nicht aufgefundene Jahrgang 1707 dieses Schreibkalenders. Der nicht namentlich genannte Astronom in Berlin schrieb darüber am 28. Mai 1707.

37 Das ist der Jahres-Zeiger Schreib-Kalender, siehe Herbst, Verzeichnis (wie Anm. 2), S. 138. Zu der in Richters Kalendern behandelten Problematik vgl. Herbst, Die Jahreskalender (wie Anm. 12, Nr. 1), S. 192–195.

Hoffnung zu ihm/ gehet er aber nur plumb über hin/ so ist seine Unwissenheit augenscheinlich zu erkennen. Denn so machen es die Stümpler/ weil sie selbst nichts rechnen können/ sondern ihre Sachen nur von andern mausen/ und sie doch die Sache/ welche sie abschreiben/ nicht recht vestehen/ so tölpeln sie weidlich ein: sonderlich sind ihnen die sichtbahre Sonnen=Finsternisse Böhmische Dörffer/ weil das Abschreiben damit nicht so leicht zugehet/ als mit den Mond=Finsternissen. Klug thun sie zwar vor ihre Person/ daß sie nur bey Stunden in ihren Beschreibungen verbleiben/ auch die Grösse nicht recht deutlich anmelden. Die Gelehrten aber/ welche der Astronomie erfahren/ derer es (Gott Lob!) itzt nicht wenig giebt/ sehen bald wo es dem armen Stümper sitzt. Gut wäre es noch/ wann solche Leute vor sich in ihrer Unwissenheit bleiben/ und andere ehrliche Leute/ welche sich umb die Astronomie bedient machen/ unverachtet liessen. So aber wollen sie selbst hoch angesehen seyn/ und wissen nicht wie sie die jenigen schimpflich genug durchhecheln sollen/ welche ihre Wissenschafft und unermüdeten Fleiß/ dem Nächsten zu Nutze/ darstellen. Freylich sticht es sie in die Augen/ wann ein rechtschaffener Astronomus alles umständlich und deutlich beschreibet/ den calculum Astronomicum öffentlich darleget/ welches ein Stümpffer freylich nicht ein mahl verstehet/ viel weniger leisten kan/ und wann es ihm sein Leben kosten solte. M. H. hat sich in seinem Calender als einen rechtschaffenen Astronomum erwiesen/ wie nicht allein aus denen Finsternissen der Sonnen und des Monden/ sondern auch aus der Erscheinung des Mercurii in der Sonnen/ gnugsam erhellet. Davon mancher Großsprecher nicht ein Wort gewust hat. Da doch dieses solch eine wichtige Sache ist/ die ein Astronomus billich der Welt anzeigen soll. Ich hatte diese seltzame Begebenheit zwar auch im „ „ „ „ Calender gesetzet. Aber „ „ „ „ hielt es nicht vor rathsam/ es so zeitlich zu setzen/ damit die Stümpler nicht Gelegenheit hätten es abzuschreiben/ und damit zu prahlen. Jedoch ist im ersten Satze einer wichtigen Sache gedacht worden/ welche in diesem 1707 Jahre am Himmel geschehen solte/ davon aber die Rechnung künfftig absonderlich heraus zu geben versprochen ward. Und ob zwar dieses nicht absonderlich geschehen/ so ist doch deßwegen ein absonderlicher Satz im Astronomischen Calender/[38] welcher am spätesten heraus kömmt/ gesetzet worden. M. H. fahre fort im fleißigen Calculo, und lasse sich nicht irren die Spott=Reden derer Unwissenden/ welche sich wie jener Fuchß/ der den Schwantz verlohren hatte/ und die andern überreden wol-

38 Vermutlich: „Astronomischer Verbesserter Calender“, seit 1702 im Auftrag der Brandenburgischen Societät der Wissenschaften von deren Astronom, Gottfried Kirch, verfaßt. Ein Exemplar für 1707 ist vermutlich nicht überliefert.

te/ er wäre unnütze und beschwerlich. Unser Heyland sagte: Siehestu darum so scheel/ daß ich so gütig bin. Also mögen wir uns auch nicht dran kehren/ wann die Ignoranten drauff sticheln/ daß wir es besser machen/ und die Finsternisse richtiger und deutlicher beschreiben/ als sie. Was gehet es sie an? Können sie es nicht/ oder sind sie zu faul dazu/ es zu rechnen/ so mögen sie es seyn. Sie lassen nur uns zu frieden. Recht wird doch recht bleiben. Ich bleibe darbey die Finsternisse richtig zu rechnen/ und zu beschreiben. Ein ander mag mit seiner Esopischen Fliege stichlen wie er will. Es werden den Leuten endlich doch die Augen aufgehen/ daß sie sehen was ein guter Astronomus ist/ oder ein prahlender Ignorant. Wunderlich gnug ists/ daß N. N. den 12. Maj. 1711 um 10. Uhr Vormittage eine grosse Sonnen=Finsterniß prognosticiret/ da doch der geringste Anfänger in der Astronomie augenscheinlich sehen kan/ daß es eine unmögliche Sache/ und deßwegen nicht werth ist/ es durch den Calculum zu untersuchen. Noch wunderlicher ists/ daß er sie vor so gewiß ausgiebt/ wann er schreibt: Einmal ist es gewiß/ daß sie der Calculus noch grösser als die vor järige determiret und angibt. Ich möchte den Calculum sehen/ und die Tafeln wissen/ wornach er gerechnet haben woll. Er kan es vor keinen Druckfehler entschuldigen/ weil er es pag. 3 nachmahl erwehnet. Daß er des Monds Auf= und Untergang aus dem Königsberg. Calender genommen/ ist daher klar zu erweisen: Denn da er solchen Auf= und Untergang nicht in Minuten/ sondern nur in Viertel=Stunden gesetzet/ hat er es doch an dreyen Orten versehen/ und hat/ neben den Stunden auch die im Königsbergischen Calender enthaltene Minuten gesetzet/ da er sich denn selbst verrathen: Als am ersten Martii stehet der Auffgang des Monds um 6. Uhr 5. M. vor Mittage/ da hat er ihn gesetzt um 6. Uhr 5. Virtel=Stunden. Den 14. Decemb. stehet der Auffgang des Monds um 10. Uhr 5. M. nach Mittage/ er aber setzet ihn um 10. Uhr und 5. Viertel=Stunden. Den 18. Decemb. ist der Auffgang des Monds um 2. Uhr 8. M. vor Mittage/ er aber hat sich verstossen/ und im Abschreiben sehr gefehlet/ indem er an statt 2. Uhr 8. M. 2. Uhr 8. Viertel=Stunden gesetzet. Ich möchte doch gerne wissen/ wie dieser Mann die grosse Sonnen=Finsterniß im Calender 1706 beschrieben hat. etc.“[39]

Bedeutsam ist, daß hiermit ein weiteres Beispiel, bei dem ein Schreibkalender von seinem Verfasser für den Abdruck eines ihm zugeschickten Briefes benutzt wurde. Der Verfasser des in dem Schreibkalender für 1708

39 Ernst Uranophilus: Neuer und Alter Stern=Kunst und Wirthschaffts Calender, Jg. 1708, gedruckt in Danzig, zweiter Teil (Des Calenders Anhang), S. G2a–b. Exemplar des Geheimen Staatsarchivs Preussischer Kulturbesitz Berlin, Sign.: 21 b 614.

extrahierten Briefes vom 28. Mai 1707 könnte Gottfried Kirch gewesen. Dieser war Astronom in Berlin, bestens vetraut mit den Kalendern des Pfarrers Christoph Richter, die er nach dessen Tod fortgeführt hatte, und Mitte der 1670er Jahre Initiator des Versuchs zur Gründung einer „Astronomischen Societät in Teutschland", die das Ziel haben sollte, den Kalenderstümplern das Handwerk zu legen und ein hohes Niveau bei den astronomischen Rechnungen zu sichern. Schon in jener Zeit wurden dieselben Argumente und sprachlichen Formulierungen gebraucht wie in diesem Schreiben aus dem Jahr 1707. Für Kirch spricht auch, daß er 1707 im Briefkontakt mit einem Danziger Astronomen war, und zwar mit Constantin Gabriel Hecker (1670–1721).[40] Sollte sich dieser hinter dem Pseudonym Ernst Uranophilus versteckt gehalten haben? Das könnte erklären, warum von Uranophilus nur Kalender bis 1720 bekannt sind.[41] Nach dem Tod von Uranophilus (= Hecker) hat Christfried Kirch (1694–1740) die Kalender für Danzig ab Jahrgang 1726 übernommen, von denen ein Exemplar des ersten Jahrgangs überliefert ist, das im Aufbau den Exemplaren von Uranophilus gleicht, wenngleich der Titel ein anderer ist.[42]

VII

Nicht immer sind die astronomischen Berichte über ältere und jüngere Beobachtungen, Vorausberechnungen von besonderen Himmelsereignissen und Bewertungen astronomischer Rechnungen anderer Kalendermacher so ausführlich und so augenscheinlich in einem eigenen Kapitel präsentiert, wie in den hier vorgestellten Fällen. Vielmehr ist rein Astronomisches häufig zwischen den traditionellen Kalenderinhalten versteckt, das dann nur bei intensivem Lesen aufgespürt werden kann. Die bisher bloß kursorische Analyse aller überlieferten Schreibkalender des 17. Jahrhunderts läßt jedoch schon

40 Vgl. Die Korrespondenz (wie Anm. 3), Bd. 2, S. 494 f. (Brief von Hecker an Kirch vom 30.10.1706), S. 510–513 (Brief von Hecker an Kirch nach dem 17.4.1707), S. 528 (ein nicht überlieferter Brief von Kirch an Hecker nach dem 27.8.1707).

41 Im Geheimen Staatsarchiv Preussischer Kulturbesitz Berlin befinden sich die Jahrgänge 1708, 1712, 1713, 1714, 1715, 1716, 1717 und 1720, die alle äußerst interessante Beiträge liefern, zum Beispiel im Exemplar für 1713 die Erklärung von Ebbe und Flut nach David Gregorys „Astronomia Physica & Geometria", im Exemplar für 1717 „Von der Ursache der Schwere" nach Isaac Newton und im Exemplar für 1720 eine Berechnung der Merkurpassage für den 27. April 1720 nach Edmond Halley.

42 Christfried Kirch: Curieuser Astronomischer und Historischer Calender, Jg. 1726, gedruckt in Danzig. Exemplar des Geheimen Staatsarchivs Preussischer Kulturbesitz Berlin, Sign.: 21 b 615.

jetzt eine regere astronomische Tätigkeit während des gesamten 17. Jahrhunderts erahnen, als sie in den gängigen Darstellungen zur Geschichte der Astronomie gezeichnet wird.

Angesichts des skizzierten Befundes einer wissenschafts-, speziell astronomiehistorischen Relevanz der großen Schreibkalender stellt sich die Frage, ob bzw. wie sich diese permanente Auseinandersetzung mit den Himmelsphänomenen und ihre Widerspiegelung in dem Massenmedium des großen Schreibkalenders auf die Herausbildung einer geistigen Verfaßtheit der Menschen, die schließlich im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts in die Frühaufklärung mündete, auswirkte. Daß einige Kalendermacher mit ihren in den Schreibkalendern gebotenen Inhalten frühaufklärerische Akzente gesetzt haben, wurde bereits in verschiedenen Arbeiten über Johann Christoph Sturm, Gottfried Kirch und Christoph Richter gezeigt. Andere Kalendermacher bieten weiteres Material. In den nächsten Jahren wird sich die Möglichkeit für derartige Untersuchungen entscheidend verbessern, denn das seit Ende 2008 im Aufbau befindliche „Portal historischer Kalender“[43] wird den enormen Fundus an Schreibkalendern, der im Oktober 2006 im Stadtarchiv von Altenburg für die wissenschaftliche Erschließung entdeckt worden ist,[44] präsentieren.[45] Damit werden den Historikern der verschiedenen Disziplinen rund 1500 Schreibkalender aus dem Zeitraum von 1644 bis 1700 online zur Verfügung stehen.

Mit der These von der Nutzung einiger Kalender als Mittel für gelehrte Kommunikation[46] erfährt die Betrachtung der Kommunikationsstrukturen in der Frühen Neuzeit eine nuancierte Erweiterung. Vor dem Auftauchen der ersten gelehrten Zeitschriften (Journale) übernahmen auch intellektuell anspruchsvolle Schreibkalender vornehmlich mit ihren astronomischen Berichten und Erörterungen verschiedener Themen in langen Vorreden oder Widmungsbriefen oder in zwischen die traditionellen Kapitel eingerückten bzw. diese Kapitel ersetzenden Abschnitten die Funktion des Austausches ge-

43 Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft als Gemeinschaftsprojekt der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek Jena, dem Institut für Deutsche Presseforschung der Universität Bremen und dem Stadtarchiv Altenburg.

44 Klaus-Dieter Herbst: Der Kalenderschatz im Stadtarchiv Altenburg. In: Jahrbuch für Kommunikationsgeschichte, Stuttgart 2008, Bd. 9 (2007), S. 211–239.

45 Vgl. für eine Kalenderreihe exemplarisch Klaus-Dieter Herbst: Der Jahres-Zeiger Schreib-Kalender von Christoph Richter (1618–1680). URL: <http://zs.thulb.uni-jena.de/content/main/journals/jzsk.xml> bzw. URN: <nbn:de:gbv:27-20090219-100952-3> [24.11.2008].

46 Diese These von mir und die nachfolgende Ausführung wurden erstmals im „Jahrbuch für Kommunikationsgeschichte“ (wie Anm. 44), S. 222 f. und dann in Herbst, Die Jahreskalender (wie Anm. 12, Nr. 1), S. 222 gedruckt.

lehrter Gedanken unter Gebildeten, das auch originäre Beiträge und eigene Meinungen des Kalenderautors beinhaltete. Ein solcher Kalender kann im Verhältnis zu den im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts sich etablierenden Gelehrtenzeitschriften als Mittler zwischen diesen und den gebildeten Lesern begriffen werden.[47] Eine Zeitschrift konnte nicht von jedem Gebildeten (auch nicht von jedem Gelehrten als den besonders Gebildeten) erworben werden, einen Schreibkalender zu kaufen war aber grundsätzlich auf allen Messen und Märkten möglich. Bei Wunsch nach einem ganz bestimmten Kalender halfen auch briefliche Kontakte, diesen zu besorgen.

47 Vgl. z. B. Hedwig Pompe: Zeitung / Kommunikation. Zur Rekonfiguration von Wissen, in: Jürgen Fohrmann (Hrsg.): Gelehrte Kommunikation. Wissenschaft und Medium zwischen dem 16. und 20. Jahrhundert, Wien, Köln und Weimar 2005, S. 155–322, bes. die Abschnitte „Zwischen Medium und Kommunikation“ (S. 157–184) und „Minerva greift ein: Gelehrtentum und Zeitung“ (S. 276–302). Die Gattung Kalender wird hier nur beiläufig erwähnt, z. B. in dem Sinne, daß sie im Rahmen wechselseitiger Austauschbeziehungen „womöglich“ als eine Anschlußstelle zur funktionsgeschichtlichen Bestimmung des Mediums Zeitung herangezogen werden könnte (ebd., S. 169). Als Medium für gelehrte Kommunikation (in der oben geschilderten Weise) wird der Kalender von Pompe nicht erkannt.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 49–59*

Thomas Posch

Hegels Kritik am Newtonschen Kraftbegriff und seine Verteidigung Keplers

Der gegenwärtige Vortrag zerfällt in drei Teile: zuerst möchte ich einige Worte über den problematischen Ruf der Hegelschen Naturphilosophie sagen; im zweiten Abschnitt gehe ich kurz auf die Grundlegung der Himmelsmechanik durch Kepler und Newton ein; erst im dritten Abschnitt komme ich schließlich auf Hegels Kritik an der „mathematischen Physik Newtons zu sprechen.

1. Einleitung: Der problematische Ruf der Hegelschen Naturphilosophie

Die Naturphilosophie war schon zu Hegels Zeit eine Disziplin, gegen die in der Gelehrtenwelt zahlreiche Vorurteile herrschten. Hegel selbst war mit diesen Vorurteilen bestens vertraut, wie wir etwa aus folgender Passage seiner *Enzyklopädie* schließen können:

„Man kann vielleicht sagen, daß zu unserer Zeit die Philosophie sich keiner besonderen Gunst und Zuneigung zu erfreuen habe […] Aber soviel läßt sich wohl ohne Bedenken als richtig annehmen, daß die *Naturphilosophie* insbesondere unter einer bedeutenden Abgunst liege.“[1]

Die Absicht Hegels war es ohne Zweifel, eine Naturphilosophie auszuarbeiten, die eben *nicht* ein „äußerlicher Formalismus“ und *nicht* ein „Instrument für die Oberflächlichkeit des Denkens“ sei, wie es von ihm der Schellingschen Naturphilosophie vorgeworfen worden war.

Doch der Großteil der Philosophen und Naturwissenschaftler erkannte gar keine wesentliche Differenz zwischen der Schellingschen und der Hegelschen Version einer Philosophie der Natur. Betrachten wir zum Beispiel Be-

1 G.W.F. Hegel, Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse, Zweiter Teil. Die Naturphilosophie. In: G.W.F. Hegel, Werke, Hrsg. E. Moldenhauer und K.M. Michel, Bd. 9. Frankfurt am Main 1986, S. 9.

nedetto Croce. Dieser setzte in seinem „Saggio sullo Hegel“ die Hegelsche der Schellingschen Methode der Naturphilosophie praktisch gleich:

„[…] anche la filosofia della natura di Hegel non può svolgersi se non per mezzo dell'*analogia*, sol che in essa l'analogia è quella delle forme del concetto, e vi si parla di giudizio, di sillogismo, di opposti dialettici.“[2]

Allgemeiner kann man folgendes feststellen: jegliche Philosophie der Natur, die im deutschen Idealismus ihren Ursprung hatte, wurde im Rahmen der Hauptströmungen der Philosophie des 19. (und 20.) Jahrhunderts als eine Verirrung des menschlichen Geistes angesehen. Als eine Verirrung nämlich deshalb, weil es sich – so die vorwaltende Meinung – bei den idealistischen Naturphilosophien sämtlich um Ansätze handle, die den Ergebnissen der empirischen Wissenschaften widersprächen. Eine merkwürdige Episode trug dazu bei, diese Meinung zu etablieren.

In seiner *Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum* hatte Hegel geschrieben, es sei nicht notwendig, die Existenz eines Planeten zwischen Mars und Jupiter anzunehmen, *wenn* die Zahlenreihe aus Platons *Timaios* die Abstände zwischen den Planeten annähernd richtig wiederspiegle, und *wenn weiters* die von Titius und Bode aufgestellte Reihe falsch wäre.

Unglücklicherweise begab es sich nun, dass gerade in dem Jahr, als Hegels *Dissertatio […] de Orbitis* veröffentlicht wurde – 1801 – der Zwergplanet Ceres zwischen Mars und Jupiter entdeckt wurde. Wenig später wurden bekanntlich weitere Kleinplaneten im selben Bereich unseres Sonnensystems gefunden. Die Gelehrtenwelt – und besonders der deutsche Astronom Baron von Zach – reagierten mit scharfen Polemiken gegen Hegel und Schelling. Teils ohne die Hegelsche *Dissertatio […] de Orbitis* wirklich gelesen zu haben, behaupteten von Zach und andere, Hegel habe *a priori* die Existenz eines jeglichen Himmelskörpers zwischen Mars und Jupiter ausschließen und ebenso *a priori* die Zahl der Planeten unseres Sonnensystems deduzieren wollen. Vor rund 17 Jahren hat sich Dieter B. Herrmann das Verdienst erworben, in einem breitenwirksamen Artikel in der Zeitschrift *Sterne und Weltraum* gezeigt zu haben, dass *diese* Vorwürfe gegen Hegel gar nicht den Tatsachen entsprechen.[3] Und doch waren sie im Laufe des 20. Jahrhunderts – von Karl Popper und anderen – so häufig wiederholt worden, dass sie noch

2 B. Croce, Saggio sullo Hegel, seguito da altri scritti della filosofia (1907). Bari 1967, S. 111f.

3 Vgl. Dieter B. Herrmann Hegels Dissertation und die Siebenzahl der Planeten. Kontroversen und Legenden um einen vermeintlichen Irrtum. In: Sterne und Weltraum 31 (1992), S. 688–691.

heute gleichsam Allgemeingut sind, mit der Folge, dass nicht zuletzt aufgrund dieser Vorwürfe die Hegelsche Philosophie der Natur weithin als eine haltlose Konstruktion gilt. Freilich trug zu dieser weit verbreiteten negativen Einschätzung auch die Tatsache bei, dass Hegels Philosophie als ganze in einer sehr schwer verständlichen Sprache abgefasst ist.

Was einer der Schüler Hegels, Karl Rosenkranz, schon 1868 festgestellt hatte: dass nämlich die negativen Vorurteile gegen Hegels Philosophie sich in keinem Punkte stärker festgesetzt hätten als in Bezug auf die Naturphilosophie, das trifft heute – trotz verdienstvoller Arbeiten wie jener D.B. Herrmanns – nach wie vor zu.[4]

Ich schildere diese Situation gleichsam nur als historischen Hintergrund, den man bei jeglicher Anknüpfung an Teile der Hegelschen Naturphilosophie im Kopf haben sollte, auch und gerade dann, wenn man so wie ich der Überzeugung ist, dass diese Philosophie weit besser ist als ihr Ruf. Um meine grobe Skizze des gleichsam düsteren Hintergrundes, vor dem jede Anknüpfung an Hegels Philosophie der Natur heute steht, zu vervollständigen, möchte ich noch einen frühen englischen Hegelianer – den heute kaum mehr bekannten James Hutchison Stirling (1820–1909) – zitieren. Dieser schilderte wortgewandt den Eindruck, welchen Hegels Philosophie infolge ihres Stils fast zwangsläufig auf den unbefangenen Leser mache:

„I have before me not an active, sensible, intelligent man, with his wits about him, looking at *the thing* in a business-like manner, and treating it so on the common stage of education and intelligence as it is now, but an out-of-the-way sort of body, […] who, in pure ignorance, non-knowledge, non-education, non-intelligence, simply impregnates a mist of his own with confused figures of his own, that have no earthly application to the business in hand […]. That any reputable persons of the usual education and position, should be caught with such self-evident, [...] muddle-headed nonsense, fills me with […] surprise, regret, sorrow […].”[5]

Indem Stirling diese (ironischen!) Zeilen schrieb, konnte er sich auf eine durchaus auch in England schon real bestehende Situation der Kritik an Hegel beziehen. In England hatte Hegels Kritik an Newton – auf die ich noch ein-

4 K. Rosenkranz, Hegel’s Naturphilosophie und die Bearbeitung derselben durch den italienischen Philosophen Augusto Vera. Berlin (Nicolai) 1868, Nachdruck Hildesheim 1979, S. 13.

5 J.H. Stirling, Lectures on the Philosophy of Law. Together with Whewell and Hegel, and Hegel and Mr W.R. Smith, A Vindication in a Physico-mathematical Regard. London 1873, S. 70.

gehen werde – naturgemäß schon im 19. Jahrhundert einige Wogen hochgehen lassen. So etwa hatte der Wissenschaftshistoriker und Physiker William Whewell (1794–1866) zu beweisen versucht, dass Hegels Newton-Kritik ungerechtfertigt und das Resultat einer mangelhaften wissenschaftlichen Bildung sei.

Stirling suchte hingegen zu zeigen,

1. dass Hegel nicht die Physik durch Philosophie ersetzen wollte;
2. dass Hegel in seiner Behauptung, es gebe Inkonsistenzen in Newtons Gebrauch des Konzepts der Zentrifugalkraft, Recht gehabt habe.[6]

Auf den zweiten Punkt – betreffend die Zentrifugalkraft – komme ich demnächst zurück.

2. Kepler versus Newton

Bevor ich auf den Hegelschen Blick auf Keplers Gesetze der Planetenbewegung und Newtons Konzeption von Kraftgesetzen eingehe, soll zuerst kurz der Wortlaut und Gehalt jener Gesetze in Erinnerung gerufen werden.

I. Kepler

Vor genau 400 Jahren, nämlich 1609, erschien Keplers Astronomia Nova, welche die ersten beiden Keplerschen Gesetze enthält. Diese lauten in heutiger Formulierung:

Erstes Keplersches Gesetz:

„Die Bahnen der Planeten um die Sonne sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht."

Zweites Keplersches Gesetz: (Flächensatz):

„Der Vektor Sonne – Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen."

Erst mit der wesentlich späteren Publikation der „Weltharmonik" kam das dritte Keplersche Gesetz ans Licht der Welt:

Drittes Keplersches Gesetz:

„Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten um die Sonne verhalten sich zueinander wie die Kuben der jeweiligen großen Bahnhalbachsen."

Nach einer Gesetzmäßigkeit für den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne hatte Kepler bekanntlich fast sein ganzes Forscherleben lang gesucht.[7] Schon in seinem ersten Buch, dem „Mysterium cosmographicum"

6 Vgl. Cinzia Ferrini, Il giovane Hegel critico di Newton. Intersezioni, Anno XVII, n. 3, Dic. 1997, S. 398.

(1596), hatte er bekanntlich Vorstöße in diese Richtung unternommen, die aber, weil nur auf den räumlichen Aspekt (Platonische Körper!), nicht auf das raumzeitliche Ganze der Planetenbahnen bezogen, im wesentlichen erfolglos blieben.

Wichtig für das Folgende ist die Feststellung, dass die Keplerschen Gesetze ohne den Begriff einer (gravitativen) „Kraft" auskommen. Dieser Umstand bleibt auch dann erwähnenswert, wenn wir in Keplers Schriften an verschiedenen Stellen sehr wohl Spekulationen über eine „magnetische oder seelische" Kraft finden – eine Kraft, die der Sonne inhärent sei und die Bewegung der Planeten antreibe (jedenfalls die Bewegungen längs der Ekliptikebene). Kepler spricht in seiner „Astronomia nova" auch von einer Schwere oder wechselseitigen Anziehungskraft zwischen Erde und Mond („tellurem quoque, et Lunam vi gravitatis in sese niti mutuo"[8]) und stellt darüber hinaus Axiome zu einer „wahren Lehre über die Schwere" auf.[9] Dennoch gehen diese Keplerschen Überlegungen zu einer im ganzen Sonnensystem wirkenden Schwerkraft nicht in die explizite Formulierung seiner Gesetze der Planetenbewegung ein. Anders ist es bei Newton, wie ich gleich zeigen werde.

II. Newton

Newton, der 12 Jahre nach dem Tod Keplers geboren wurde, veröffentlichte 1687 seine *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie*. Schon im Vorwort zu diesem Buch erklärt Newton, dass die Suche nach den Kräften, die die natürlichen Bewegungen und natürlichen Prozesse beherrschen, die Hauptaufgabe der Naturwissenschaft sei. (Genauer gesagt spricht Newton von der Suche nach den Kräften als zentraler Aufgabe der „Philosophie"; allerdings hat der Begriff „Philosophie" in diesem Zusammenhang etwa dieselbe Bedeutung wie der Begriff „Naturwissenschaft". Noch heute gibt es ja in Cambridge einen Lehrstuhl für Astronomie unter dem Namen „Lehrstuhl für

7 Vgl. G.W.F. Hegel, Vorlesung über Naturphilosophie Berlin 1821/22, Nachschrift von Boris von Uexküll, hg. von Gilles Marmasse und Thomas Posch. Frankfurt am Main u.a. 2002, S. 62: „An diesem Gesetz hat Kepler 27 Jahre gesucht, der große Glaube, daß Vernunft in der Bewegung der himmlischen Körper sein müsse, hat ihn nicht verlassen, und durch diese Treue ist er zu diesem Gesetz gekommen." (im Folgenden zitiert als: Hegel, Uexküll-Nachschrift).

8 Johannes Kepler, Astronomia nova, 1609, Einleitung (zitiert nach Cinzia Ferrini, Guida al De Orbitis, Bern et al. 1995, S. 83).

9 Johannes Kepler, Astronomia Nova. Übersetzt von Max Caspar. Durchgesehen und ergänzt sowie mit Glossar und einer Einleitung versehen von Fritz Krafft. Wiesbaden 2005, S. 28ff. – Vgl. MacLaurin, An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries. London 1748, p.52: „In his preface to the commentaries concerning the planet Mars, he speaks of gravity as of a power that was mutual betwixt bodies".

experimentelle Philosophie". In diesem Falle hat sich die Synonymie von (‚experimenteller') Philosophie und Naturwissenschaft bis heute erhalten.)

Ich gebe im Folgenden – nach der englischen Übersetzung – Newtons Worte über die zentrale Rolle der Kräfte in der Naturwissenschaft bzw. Naturphilosophie wieder, wie sie im *Vorwort* zur ersten Ausgabe der *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie* artikuliert werden. Sie lauten:

„[A]ll the difficulty of philosophy seems to consist in this: from the phenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena […] I am induced by many reasons to suspect that they may all depend upon certain forces by which the particles of bodies, by some causes hitherto unknown, are either mutually impelled towards each other, and cohere in regular figures, or are repelled and recede from each other; which forces being unknown, philosophers have hitherto attempted the search of nature in vain; but I hope the principles here laid down will afford some light either to this or some truer method of philosophy."[10]

Dies ist das *Programm* der Newtonschen Mechanik. Die *spezielle Kraft*, die an späterer Stelle in den *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie* eingeführt wird, ist bekanntlich die Gravitation. Auch wenn ich im gegenwärtigen Beitrag nur auf die Bewegung der Planeten abziele, scheint es mir wichtig zu betonen, dass der Newtonsche Kraftbegriff – wie er in den berühmten drei Newtonschen Axiomen zum Ausdruck kommt – als ein *allgemeiner Rahmen* für alle Kräfte konzipiert wurde, egal ob diese nun mechanischer, elektrischer, magnetischer oder anderer Art seien. Und in der Tat werden die Newtonschen Axiome ja auch in zahlreichen anderen Teildisziplinen der Physik angewandt.

Wenn wir nun aber zur genaueren Betrachtung der Newtonschen Beschreibung der Planetenbewegung fortschreiten, so finden wir ein – von Hegel gesehenes, heute aber kaum mehr bekanntes – Problem in Newtons Kraftbegriff.

Newtons Beschreibung der Planetenbewegung beruht einerseits auf dem universalen Gravitationsgesetz. Es lautet in heute üblicher Formulierung: „Jeglicher Körper im Universum zieht jeglichen anderen Körper mit einer Kraft an, die längs der Verbindungslinie der Schwerezentren der beiden Körper ausgerichtet ist und deren Stärke dem Produkt der Massen der beiden

10 I. Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica, Preface.

Körper direkt sowie dem Quadrat ihrer gegenseitigen Entfernung indirekt proportional ist."

Andererseits erachtet Newton selbst aber das universale Gravitationsgesetz nicht als hinreichend für die Beschreibung der Planetenbewegungen. Warum nicht? Das Gravitationsgesetz liefert im wesentlichen radiale Kraftkomponenten, die von den Planeten aus gesehen zur Sonne gerichtet sind. Newton führte aber noch eine zweite Kraftkomponente ein, die er für nötig hielt, um die Planetenbewegungen zu erklären: die sogenannte „Trägheitskraft". Diese soll in tangentialer Richtung wirksam sein. Diese zweite angebliche Kraftkomponente hat in der Geschichte der Physik für ziemlich viel Verwirrung gesorgt und hat auch Hegels Kritik an Newton entscheidend mit motiviert.

Was Newton als „Trägheitskraft" bezeichnet, ist die Tendenz eines jeden Körpers, im Speziellen eines jeden Planeten, seine Bahngeschwindigkeit – in Abwesenheit eines bremsenden Mediums – beizubehalten. Im Sinne der Definitionen, die Newton seinem Werk voranstellt, ist die sogenannte „Trägheitskraft" eine „vis insita", eine inhärierender Bewegungsimpuls, hingegen *nicht* eine Kraft im Sinne des zweiten Newtonschen Axioms (F = m x a, Kraft = Masse mal Beschleunigung). Ja, man kann dies noch stärker formulieren: der von Newton noch verwendete Begriff einer „vis insita" *widerspricht* geradezu den beiden ersten Newtonschen Axiomen.[11] Die sogenannte vis insita ist ein in der Regel tangentialer *Impuls*; eine Kraft hingegen ist, gemäß den beiden ersten Newtonschen Axiomen, eine zeitliche Änderung des Impulses (F = dp/dt). Die Fehlkonzeption der „vis insita" als Kraft (nicht bloß als Impuls) im Werk Newtons hat freilich historisch verständliche Gründe: die „vis insita" ist ein Überrest der mittelalterlichen Theorie des Impulses als einer Körpern inhärierenden Bewegungskraft.[12]

Die Verwirrung, welche durch die Anwendung des Newtonschen Kräfteparallelogramms auf die Planetenbewegung entstand, blieb nicht auf das Problem der „vis insita" beschränkt. Im Gefolge Newtons unterlief es manchen Physikern, diese Verwirrung noch zu vergrößern, indem sie die Trägheitskraft oder vis insita als Zentrifugalkraft bezeichneten – während wir heute gewöhnt sind, die Zentrifugalkraft nicht tangential, sondern radial nach außen

11 Cf. K.-N. Ihmig, Hegels Deutung der Gravitation. Frankfurt am Main 1989, S. 46: „[…] die Annahme einer Trägheitskraft resp. ‚vis insita' sowie die Konstruktion des Kräfteparallelogramms, die eine gleichförmige Bewegung auf die Wirkung einer Kraft zurückführt, steht natürlich im Widerspruch zu den ersten beiden Axiomen der Bewegung."

12 Ebd., S. 43.

gerichtet und überdies als eine „Scheinkraft“ zu konzipieren. Zu den Autoren, die die (tangentiale) Trägheitskraft als Zentrifugalkraft bezeichneten, gehörten Pierre Simon de Laplace in Frankreich und Benjamin Martin in Deutschland.

3. Die Hegelsche Kritik an Newtons Mechanik

Ein Teil der Hegelschen Kritik an Newtons Kraftbegriff bezieht sich auf das unübersichtliche Gewirr von Kräften, die bei und nach Newton für die Beschreibung der Planetenbewegung nötig sein sollten. Hegel bemerkt jedoch, dass zu seinen Lebzeiten jenes unübersichtliche Gewirr schon im Begriff war, entwirrt zu werden. Er bemerkte dementsprechend in seiner Vorlesung über Naturphilosophie aus dem Jahre 1821/22:

„Newton hat dann die Ansicht aufgestellt, dass diese Linien verschiedenen Kräften angehören, und so ist die Vorstellung von einer besonderen Attraktiv- und von einer besonderen Repulsivkraft entstanden. Betrachtet man die Formen in den neuesten mathematischen Darstellungen, so findet man bald, dass die Vorstellung der einen dieser Kräfte nach und nach ganz verschwunden ist.“[13]

Doch allein die Revision der Rolle der Trägheitskraft in der Beschreibung der Planetenbewegung genügte Hegel nicht. Hegel hatte grundlegendere Einwände, die ihn sogar zu dem Ausspruch verleiteten, der Ruhm Newtons habe den Ruhm Keplers verdunkelt.[14] Wie kommt der Autor der *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften* zu einem so scharfen Urteil? Einer seiner Grundeinwände gegen Newtons Kräftelehre ist:

a. Die von Newton eingeführten Kräfte sind gar nicht nötig, um Bewegungen zu erklären oder zu beschreiben. Deren Einführung stellt eigentlich keinen wissenschaftlichen Fortschritt dar.

In der schon erwähnten Vorlesung über Naturphilosophie aus den Jahren 1821/22 schreibt Hegel:

13 Hegel, Uexküll-Nachschrift, S. 45: „Newton hat dann die Ansicht aufgestellt, daß diese Linien verschiedenen Kräften angehören, und so ist die Vorstellung von einer besonderen Attraktiv- und von einer besonderen Repulsivkraft entstanden. Betrachtet man die Formen in den neuesten mathematischen Darstellungen, so findet man bald, daß die Vorstellung der einen dieser Kräfte nach und nach ganz verschwunden ist…“.
„In der sogenannten physikalischen Astronomie, die durch Newton ihre Gestalt erhalten hat, sind es Zentralkräfte, welche das Bestimmende ausmachen. Diese Zentralkräfte werden vorgestellt als Zentrifugal- und Zentripetalkräfte“ (§ 201 Anmerkung).

14 Vgl. Hegel, Uexküll-Nachschrift, Uexküll, Ms S. 62.

„In der mathematischen Konstruktion der Mechanik hat man mancherlei Linien notwendig, *allein diese hat man nicht für etwas Physikalisch-Reelles zu betrachten.* Newton [ge]braucht den Namen Kräfte, ungeachtet seiner öfteren Protestationen, daß hiemit nur mathematische Bestimmungen gemeint seien."[15]

In einer späteren Vorlesung (vom Wintersemester 1825/26) heißt es in ähnlichem Sinne:

„Wenn nichts physikalisch bestimmt werden soll, so wäre der Ausdruck ‚Kraft' ganz wegzulassen."[16]

Der Hegelianer Augusto Vera drückte dasselbe so aus:

„Newton versichert, man könne ohne Weiteres die Wirkungen und den *modus operandi* einer Kraft kennen, ohne etwas über das Wesen jener Kraft zu wissen […] Newton überlässt anderen die Aufgabe, die Ursache oder den inneren Grund der Gravitationskraft zu erforschen. Er äußert sich auch nicht darüber, wie die genaue Wirkungsweise jener Kraft sei, ob sie etwa in der Weise infinitesimal kleiner Kraftstöße agiere oder auf irgendeine andere Weise. Er versichert uns nur, daß jene Kraft existiere…".[17]

Sowohl Hegel als auch Vera erkannten klar das folgende Grundproblem in Newtons Physik: Einerseits erklärt Newton, nicht die Absicht zu haben, eine *physische Erklärung* der Phänomene zu entwickeln, vielmehr die Kräfte nur als mathematische Hilfsbegriffe einzuführen – sodass sich über eine „Natur" oder ein „Wesen" jener Kräfte nicht sinnvoll sprechen lasse. Andererseits sind es gerade die Kräfte – etwa die Zentripetalkraft –, die Newton und seine Anhänger als zentrale Errungenschaft der *Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie* ausgeben. Hegels Vorschlag zur Auflösung dieses Widerspruchs lautet: Wenn es nicht um einen erklärenden Zugang zu den Naturerscheinungen geht, vielmehr nur um eine möglichst elegante Beschreibung und Berechnung derselben, dann sei es wohl das Beste, die Kräfte ganz aus dem Spiel zu lassen. Wie wir noch sehen werden, ist dieser Vorschlag des Philosophen Hegel auch unabhängig von ihm innerhalb der Physik gemacht worden.

15 Hegel, Uexküll-Nachschrift, S. 58, Hervorhebung hinzugefügt.

16 G.W.F. Hegel, Vorlesungen über Naturphilosophie Berlin 1825/26. Nachschrift von H.W. Dove. Hrsg. von K. Bal, G. Marmasse, Th. Posch und K. Vieweg. Hamburg 2007, S. 68.

17 Philosophie de la Nature de Hegel. Traduite pour la première fois et accompagnée d'une introduction et d'un commentaire perpétuel [von A. Vera], 3 Bde. Paris 1863–65. Nachdruck Brüssel 1969, 1. Bd., Introduction, S. 66/67.

b. Das Verhältnis zwischen dem 3. Keplerschen Gesetz und Newtons Gravitationsgesetz: letztere fügt nach Hegel dem ersteren nichts Wesentliches hinzu.

Für diese These argumentiert Hegel folgendermaßen:

Das 3. Keplersche Gesetz:

$A^3/T^2 = a^3/t^2$

kann ja offenbar auch so geschrieben werden:

$A^2 \cdot A/T^2 = a^2 \cdot a/t^2$.

Dies ist aber dann weiters äquivalent zu:

$A/T^2 : a/t^2 = a^2/A^2$

Und so scheint es in der Tat, dass der wesentliche Gehalt des Newtonschen Gravitationsgesetzes – die $1/r^2$-Abhängigkeit der Schwerebeschleunigung – aus dem 3. Keplerschen Gesetz ableitbar sei.

Das Problem bei dieser „Ableitung" ist allerdings, dass noch eigens bewiesen werden müsste, dass man den Quotienten A/T^2 als Schwerebeschleunigung interpretieren kann.

Dies ist nicht so selbstverständlich, wie Hegel meint, da doch „A" die mittlere Entfernung Sonne – Planet ist und „T" die Umlaufperiode. Also ist die Größe „A" nicht unmittelbar mit einer infinitesimalen Fallstrecke und „T" nicht unmittelbar mit einer infinitesimalen Fallzeit gleichzusetzen. Und eben daher bedürfte es, wie gesagt, erst des Beweises, dass A/T^2 die mittlere Beschleunigung eines Planeten sei. Der Beweis dafür wird von Newton auch geliefert, jedoch noch nicht von Kepler.

Schlussfolgerungen

Wenn wir summarisch Hegels Kritik an Newtons Mechanik betrachten, so können wir erstens feststellen, dass seine Polemik gegen den Gebrauch des Zentrifugalkraft-Begriffs durchaus legitim ist; sie ist es abgesehen von den angeführten Gründen auch deswegen, weil die Entwicklung der theoretischen Physik im 19. Jahrhundert zu ähnlichen Kritiken des Newtonschen Kraftbegriffs führte, so etwa bei Heinrich Hertz, der die Kräfte „leergehende Räder" in der Klassischen Mechanik nannte.

Wenn Newton, statt von Kräften zu sprechen und diesen soviel Gewicht beizulegen, von lokalen Beschleunigungen gesprochen hätte, so hätte meines Erachtens auch Hegel dem etwas abgewinnen und darin einen Fortschritt gegenüber Kepler sehen können. Merkwürdigerweise sind es gerade infinitesimale Beschleunigungen, die auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie von

grundlegender Bedeutung bleiben, während sich dies von den Kräften nicht in gleicher Weise sagen lässt. Mindestens zwei bedeutende Physiker – Heinrich Hertz und Albert Einstein – die beide wohl so gut wie nichts von Hegels Philosophie der Natur wussten – haben auf je unterschiedliche Weise eine Mechanik „ohne Newtonsche Kräfte" ausgearbeitet, so wie sie Hegel vorschwebte.

Das was meines Erachtens auch heute noch von Hegels Polemik gegen Newton gültig bleibt ist die darin zum Ausdruck gebrachte Forderung nach einer „nüchternen" Physik (das heißt nach einer Physik, die darauf verzichtet, im strengen Sinne kausale Erklärungen der natürlichen Bewegungen geben zu wollen.) Auch wenn die *opinio communis* dahin geht, Newton sei der antimetaphysische Wissenschaftler und Hegel sei der große Metaphysiker, so zeigt doch ein Studium der Originaltexte, dass Hegels Vorstellung von Physik nüchterner war als die Newtonsche. Denn Newton glaubte wenigstens in einem gewissen Sinne, eine *kausale Erklärung* der Naturvorgänge liefern zu sollen. Die Kräfte galten ihm als die *realen Ursachen* der Bewegungen. Es überrascht daher nicht, dass einige Wissenschaftshistoriker folgende Formel prägten: Kepler habe erkannt, *wie* sich die Planeten um die Sonne bewegten, Newton aber darüber hinaus erkannt, *warum* sie dies tun. In dieser Perspektive wäre die Leistung Keplers die Auffindung *phänomenologischer* Gesetze der Planetenbewegung gewesen; die Leistung Newtons dagegen die Auffindung *kausaler* Gesetze der Planetenbewegung. Und diese letzteren, kausalen Gesetze erscheinen weiters als höherwertig denn die phänomenologischen.

Auch Hegel sagt, Newton habe „die Kraftgesetze an die Stelle der Gesetze der Phänomene gestellt". Doch nach Hegel war dies, wie wir sahen, eben *kein* echter Fortschritt (oder nicht in jeder Hinsicht ein Fortschritt), und die Aufgabe der Physik besteht für ihn *nicht* darin, „kausale" anstelle von phänomenologischen Gesetzen zu finden. Vielmehr erscheint dieser Anspruch aus Hegelscher Perspektive als ein illegitimer. Dies ist nicht gleichbedeutend mit der Behauptung, das Gravitationsgesetz sei falsch. Der Punkt ist vielmehr, dass dieses Gesetz einen Begriff – den Begriff der *Kraft* – benötigt, der keine wirkliche „Erklärung" der Phänomene liefert, weil er mehr Fragen aufwirft als er beantwortet. So etwa bleibt die Frage nach der Natur der Kraft und nach der Beziehung der verschiedenen Kräfte (Zentripetalkraft, Trägheitskraft, Zentrifugalkraft, Schwerkraft) offen. Diese Fragen stellen sich in Bezug auf die Keplerschen Gesetze nicht. Insofern sind die Keplerschen Gesetze, wie Hegel erkannte, erkenntnistheoretisch weniger problematisch als Newtons Kräftelehre und das darauf aufbauende Gravitationsgesetz.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 61–68*

Tobias Jung

Statik und Dynamik im astronomischen Weltbild

Dieter B. Hermann schreibt in seinem Büchlein „Das Weltall. Aufbau, Geschichte, Rätsel“:[1]

„Dass wir Menschen heute in der Lage sind, die allein zeitlich unvorstellbare *Lebensgeschichte des Universums* wenigstens in groben Zügen zu verstehen und beschreiben, ist eine höchst erstaunliche Tatsache.“

Diese „Lebensgeschichte des Universums“ wird im Rahmen des heutigen Standardmodells der Kosmologie expliziert.[2] Das Universum begann vor etwa 13,7 Milliarden Jahren mit dem Urknall. Innerhalb von 10^{-10} s bildeten sich aus einer ursprünglichen Urkraft die vier uns heute bekannten fundamentalen Grundkräfte, die Gravitation, der Elektromagnetismus, die starke Kraft und die schwache Kraft. Innerhalb der ersten Minuten entstand das Quark-Gluon-Plasma, aus diesem das Hadronen-Plasma und in der primordialen Nukleosynthese das Wasserstoff-Helium-Plasma. Es entwickelten sich Strukturen wie Sterne, Galaxien, Galaxienhaufen, Superhaufen und Leerräume, wobei die Dunkle Materie eine bedeutende Rolle spielte.

Fundamentale Kräfte, Teilchen und Strukturen entstehen und entwickeln sich. Folglich ist eine Entwicklung oder Evolution, anders gesagt: Geschichtlichkeit, ein grundlegender Aspekt der modernen Kosmologie. Darauf weist auch der Philosoph Georg Picht (1913–1982), ein enger Freund von Carl Friedrich von Weizsäcker (1912–2007), ausdrücklich hin:[3]

„Die kosmologischen Entwürfe der Astrophysiker in den letzten Jahrzehnten sind insgesamt Geschichtsentwürfe. Man kann das daran erkennen,

1 Dieter B. Herrmann: Das Weltall. Aufbau, Geschichte, Rätsel, C. H. Beck, München, 2006, S. 71, meine Hervorhebung.

2 Vergleiche zum Beispiel Peter Coles, Francesco Lucchin: Cosmology. The origin and evolution of cosmic structure, John Wiley & Sons, Chichester, 1997, Andrew Liddle: Einführung in die moderne Kosmologie, Wiley-VCH, Weinheim, 2009 sowie John A. Peacock: Cosmological physics, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.

3 Georg Picht: Der Begriff der Natur und seine Geschichte, Klett-Cotta, Stuttgart, 1998, 4. Auflage, S. 25.

dass sie durchgängig (in, wie mir scheint, höchst fragwürdiger Weise) physikalische Spekulationen über den Anfang und das Ende der Geschichte des Universums enthalten."

Auch heutige Wissenschaftler wie Hans-Joachim Blome (geb. 1950) vertreten die Ansicht, „dass Astronomen und Kosmologen nichts anderes als fragende Historiker des Universums sind."[4]

Die Bedeutung dieser Geschichtlichkeit als ein wesentlicher Grundzug der Kosmologie scheint mir philosophisch nach wie vor nicht genügend reflektiert zu sein. Wissenschaftshistorisch stellt sich zunächst die Frage, wie dieser Gedanke der Geschichtlichkeit aufkam und Eingang in die kosmologischen Entwürfe fand. Auf diese Frage möchte ich in dieser Arbeit einige Schlaglichter werfen.

Der griechische Philosoph Aristoteles (384 v. Chr.–322 v. Chr.) unterteilte den Kosmos in eine sublunare und eine supralunare Sphäre.[5] Die sublunare Sphäre, also der Bereich unterhalb der Mondbahn, ist der Bereich der Veränderung. Die vier Elemente des Empedokles (um 494 v. Chr.–um 434 v. Chr.), Feuer, Erde, Wasser und Luft, wandeln sich ständig ineinander um. In der supralunaren Sphäre, dem Bereich oberhalb der Mondbahn, befinden sich die Himmelskörper. Sie bestehen aus dem Äther, der Quintessenz, also dem fünften Element, und bewegen sich auf unveränderlichen, ewigen, göttlichen Kreisbahnen.[6] Diese Unterteilung erwies sich als so wirkungsmächtig, dass sich die Physik des Himmels von der irdischen Physik trennte. Eine mathematische Beschreibung der Planetenbewegungen als den damals als wesentlich angesehenen Himmelskörpern auf Grundlage astronomischer Beobachtungsdaten gelang Johannes Kepler (1571–1630).[7] In seiner 1609 veröffentlichten „Astronomia nova" formulierte er das 1. und das 2. Keplersche Gesetz. Die Planeten bewegen sich demnach auf elliptischen Bahnen um die

4 Hans-Joachim Blome, Harald Zaun: Der Urknall. Anfang und Zukunft des Universums, C. H. Beck, München, 2007, 2., aktualisierte Auflage, S. 11.

5 Aristoteles, De caelo, A 268 b 1 ff.

6 Die Kreisbewegungen der Himmelskörper stellen zwar eine Veränderung dar, die aber nicht im Sinne einer Entwicklung zu verstehen ist. Hier kommt die Differenzierung des Begriffs der Bewegung bei Aristoteles zum Tragen. Ortsveränderung ist nur eine Art der Bewegung neben quantitativer Veränderung, qualitativer Veränderung und substantialer Veränderung (Wesensveränderung).

7 Vergleiche zum Beispiel Volker Bialas: Johannes Kepler, C. H. Beck, München, 2004; Martin Carrier, Jürgen Mittelstraß: Johannes Kepler (1571–1630), in: Gernot Böhme (Hrsg.): Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule, C. H. Beck, München, 1989, S. 136–157 sowie Bruce Stephenson: Kepler's physical astronomy, Princeton University Press, Princeton (New Jersey/USA), 1994.

Sonne, die in einem Brennpunkt der Ellipse steht. Der Radiusvektor von der Sonne zum Planeten überstreicht dabei in gleichen Zeiten gleiche Flächen. 1619 erschien Keplers „Harmonice mundi", die sein 3. Gesetz enthält, in dem eine Beziehung zwischen zwei Planetenbahnen um die Sonne als dem gemeinsamen Zentralkörper konstatiert wird: die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die Kuben der großen Halbachsen der Ellipsen. Grundlegende Gesetze der irdischen Physik fand etwa zeitgleich Galileo Galilei (1564–1642) mit den Fallgesetzen oder den Gesetzen der Pendelbewegung.[8] Es war die große Leistung von Isaac Newton (1643–1727), die getrennten Bereiche der Himmelsphysik und der irdischen Physik auf Grundlage seiner drei Axiome und des Gravitationsgesetzes zu vereinen.[9] Diese Grundlagen legte er in seinem Werk „Principia mathematica philosophiae naturalis" aus dem Jahr 1687 dar. Mit den drei Axiomen und dem Gravitationsgesetz schaffte Newton auch das Fundament für eine physikalische Kosmogonie und Kosmologie. Aber er selbst war hinsichtlich einer kosmologischen Anwendung seiner Theorie eher zurückhaltend. Am deutlichsten äußerte er seine kosmologischen Vorstellungen in einem Briefwechsel mit dem Gräzisten und Theologen Richard Bentley (1662–1742) aus den Jahren 1692 und 1693. Er argumentierte zugunsten eines unendlichen, statischen Sternenuniversums auf Grundlage des kosmologischen Prinzips, also der homogenen und isotropen Verteilung der Materie. Dass die Sterne ihre Positionen zeitlich nicht verändern, dass die Sternenverteilung also statisch ist, nahm Newton implizit ohne weitere Erläuterung an. Empirische Evidenz, die für eine Eigenbewegung der Sterne spricht, fehlte zu dieser Zeit auch völlig. Deshalb schreibt der französische Mathematiker, Naturforscher und Philosoph René Descartes (1596–1650) in seinem erstmals 1644 erschienenen Werk „Principia philosophiae":[10]

„Unter den Sternen besteht der Unterschied, daß die Fixsterne immer ihre gegenseitige Entfernung und Stellung zueinander bewahren, die anderen aber ihre Stellung fortwährend ändern, weshalb sie Planeten oder Wandelsterne heißen."

8 Vergleiche zum Beispiel Stillman Drake: Galileo at work. His scientific biography, Dover, Mineola (New York/USA), 2003.

9 Vergleiche zum Beispiel Werner Kutschmann: Isaac Newton (1643–1727), in: Gernot Böhme (Hrsg.): Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule, C. H. Beck, München, 1989, S. 171–186 sowie Richard S. Westfall: Never at rest. A biography of Isaac Newton, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.

10 René Descartes: Die Prinzipien der Philosophie, übers. und mit Anm. von Artur Buchenau, Meiner, Hamburg, 1992, 8., durchges. Aufl., S. 67 f.

Im Briefwechsel mit Bentley äußerte Newton den Gedanken einer Entstehung und Entwicklung der Sonne, der Planeten und der übrigen Sterne, um ihn aber sogleich wieder zu verwerfen:[11]

„But if the matter was evenly dispersed throughout an infinite space, it would never convene into one mass, but some of it would convene into one mass and some into another, so as to make an infinite number of great masses, scattered at great distances from one another throughout all that infinite space. And thus might the sun and the fixed stars be formed, supposing the matter were of a lucid nature. But how the matter should divide itself into two sorts, and that part of it, which is fit to compose a shining body, should fall down into one mass and make a sun, and the rest, which is fit to compose an opaque body, should coalesce, not into one great body, like the shining matter, but into many little ones or if the sun at first were an opaque body like the planets, or the planets lucid bodies like the sun, how it alone should be changed into a shining body, while all they continue opaque, or all they be changed into opaque ones, while it remains unchanged, I do not think explicable by mere natural causes, but am forced to ascribe it to counsel and contrivance of a voluntary agent."

Im Jahre 1755 veröffentlichte der junge Immanuel Kant (1724–1804) anonym eine Schrift mit dem Titel „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels oder Versuch von der Verfassung und dem mechanischren Ursprunge des ganzen Weltgebäudes nach Newtonischen Grundsätzen abgehandelt". Jürgen Hamel (geb. 1951) bemerkt in seinem Nachwort zur Ausgabe der Kantschen Schrift in „Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften" völlig zu Recht:[12]

„Es war die erste Schrift, die eine geschlossene Theorie der Kosmologie und Kosmogonie auf der Grundlage der […] Newtonschen Physik bot."

Kant ging davon aus, dass „die Fixsterne nicht als ein ohne sichtbare Ordnung zerstreutes Gewimmel, sondern als ein System anzusehen [sind], welches mit einem planetischen die größte Ähnlichkeit hat".[13] Deshalb konnte er exemplarisch die Entstehung des Planetensystems einschließlich der Sonne auf Grundlage der Newtonschen Physik abzuleiten versuchen und die Erkenntnisse dann per Analogieschluss auf andere Sonnensysteme und größere

11 Isaac Newton: Philosophical writings, hrsg. von Andrew Janiak, Cambridge University Press, Cambridge, 2004, S. 94 f.

12 Jürgen Hamel: „Nachwort", in: Immanuel Kant: Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, mit einem Nachwort von Jürgen Hamel, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 12, Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2005, 4. Auflage, S. 148.

13 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte", A XXXVII.

Systeme wie Galaxien, deren Existenz Kant behauptete, übertragen. Kant setzte die Existenz von zwei Arten von Kräften, nämlich anziehende und abstoßende Kräfte, voraus. Als anziehende Kraft war die Gravitationskraft bekannt, die „Zurückstoßungskraft […] [offenbaret] sich in der Elastizität der Dünste, dem Ausflusse starkriechender Körper und der Ausbreitung aller geistigen Materien".[14] Als Anfangszustand nahm Kant ein Chaos an, das aber bereits eine gewisse Struktur in Form von Teilchen verschiedener Masse aufwies, wobei die relative Häufigkeit der Teilchen mit der Masse abnehmen sollte. Kant schreibt:[15]

„[D]ie Materie […] hat in ihrem einfachsten Zustande eine Bestrebung, sich durch eine *natürliche Entwickelung* zu einer vollkommeneren Verfassung zu bilden."

Aufgrund der unterschiedlichen Massen, welche die Teilchen aufweisen, differieren auch ihre jeweiligen Gravitationspotenziale. Dadurch dauert „[b]ei einem auf solche Weise erfüllten Raume […] die allgemeine Ruhe nur einen Augenblick"[16] und „das Chaos [fängt] in den Punkten der stärker anziehenden Partikeln sich zu bilden an […]".[17] Kant beschreibt, wie sich ein vorhandener Dichtekontrast gravitativ verstärken kann. Damit ist grundsätzlich verstanden, wie sich aus einer gleichförmigen Materieverteilung, oder besser gesagt einer zufälligen Verteilung von Teilchen unterschiedlicher Masse im Raum, überhaupt Strukturen bilden können. Allerdings würde man aus einer Fortsetzung der Kontraktion die Entstehung von einem einzigen Materieklumpen und nicht von verschiedenen Körpern wie der Sonne und den Planeten erwarten. Für das Planetensystem ist zudem zu klären, warum die Planeten näherungsweise auf Kreisbahnen um die Sonne laufen, warum die Planetenbewegungen um die Sonne denselben Umlaufsinn zeigen und warum alle Planeten in nahezu einer Ebene umlaufen. Die Entwicklung von „Kreisbewegungen" – Kant subsumiert unter Kreis Figuren wie Ellipse und Zirkel – erläutert Kant beispielsweise folgendermaßen:[18]

„Durch die […] Zurückstoßungskraft […] werden die zu ihren Anziehungspunkten sinkende Elemente durcheinander von der geradlinichten Bewegung seitwärts gelenket, und der senkrechte Fall schlägt in Kreisbewegungen aus, die den Mittelpunkt der Senkung umfassen."

14 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte", A 29.
15 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte", A 27 f., meine Hervorhebung.
16 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte", A 29.
17 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte", A 28.
18 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte", A 29 f.

Kant weist ferner explizit auf die mögliche Entwicklung der Himmelskörper selbst hin, wenn er von der „Sonne“ spricht, „ob sie gleich diejenige flammende Glut alsdenn noch nicht hat, die nach vollendeter Bildung auf ihrer Oberfläche hervor bricht“.[19] Trotz aller Kritik, die man berechtigterweise *ex post* an den Kantschen Ausführungen zu üben vermag, besteht Kants Verdienst darin, die Unifizierung von himmlischer und irdischer Physik ernst genommen und einen großen Schritt vorangebracht zu haben. In der zeitgenössischen Geologie war es unbestritten, dass sich die Erde entwickelt, und auch die Erdbildungslehren hatten sich vom theologischen Einfluss durch die Schöpfungslehre befreien können.[20] Dies wäre auch für Aristoteles nicht verwunderlich gewesen, da sie zur sublunaren Sphäre der Veränderung gehört. Die Übertragung des Entstehungs- und Entwicklungsgedankens auf das Sonnensystem und größere kosmische Systeme durch Kant ist daher für die Bedeutung einer einheitlichen Physik nicht zu unterschätzen.

Das Modell eines sich entwickelnden Universums wird aber zunächst nicht von der Naturwissenschaft aufgenommen. Dies lag auch daran, dass im 19. Jahrhundert die Stellarstatistik die wichtigste Aufgabe der Astronomie war und die Kosmologie meines Wissens eine sehr untergeordnete Rolle spielte. Ein konsistentes kosmologisches Modell stellte erst wieder Albert Einstein (1879–1955) im Jahre 1917 mit seinen „Kosmologischen Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie“[21] vor.[22] Einstein ging wie Newton von einer gleichförmig verteilten Materie aus und betrachtete die Sterne als fundamentale Teilchen. Er nahm die Statik der Sternenverteilung an und begründete sie damit, dass die Pekuliargeschwindigkeiten der Sterne klein sind verglichen mit der Lichtgeschwindigkeit. Statt der Newtonschen Physik setzte er natürlich die Allgemeine Relativitätstheorie voraus. Zunächst kämpfte er mit dem Problem, zur Lösung der Feldgleichungen Randbedingungen im Unendlichen vorzugeben. Dann löste er das Problem, indem er es

19 Kant: „Allgemeine Naturgeschichte“, A 32.

20 Vergleiche Jürgen Hamel: „Nachwort“, in: Immanuel Kant: Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, mit einem Nachwort von Jürgen Hamel, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Band 12, Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2005, 4. Aufl., S. 149 ff.

21 Albert Einstein: Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1917, S. 142–152.

22 Vergleiche Tobias Jung: Einsteins Beitrag zur Kosmologie – ein Überblick, in: Wolfgang Dick, Hilmar Duerbeck (Hrsg.), Einsteins Kosmos – Untersuchungen zur Geschichte der Kosmologie, Relativitätstheorie und zu Einsteins Wirken und Nachwirken, Acta Historica Astronomiae Vol. 27, Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2005, S. 67–107.

einfach auflöste: in einem endlichen, aber unbegrenzten, das heißt in sich gekrümmten Raum wäre eine Setzung von Randbedingungen gar nicht nötig. Aber seine Gleichungen erlaubten keine Lösung für einen positiv gekrümmten, statischen Sternenkosmos. Aus diesem Grunde sah sich Einstein gezwungen, seine ursprünglichen Feldgleichungen zu modifizieren und einen Term mit kosmologischer Konstante hinzuzufügen. Anschaulich gesprochen entspricht dieser kosmologischen Konstante eine repulsive Kraft, die der attraktiven Gravitationskraft die Waage hält. Die Einführung der kosmologischen Konstanten soll Einstein später als „größte Eselei seines Lebens“[23] bezeichnet haben. Der statische Einstein-Kosmos ist übrigens genauso wenig stabil wie Newtons Sternenuniversum. Eine kleine Dichtefluktuation würde sich jeweils verstärken und bei Einsteins Modell eine Expansion oder Kontraktion des Kosmos und bei Newtons Modell einen Gravitationskollaps nach sich ziehen. Dies erkannte jedoch Einstein nicht; erst 1930 konnte der Physiker Arthur Stanley Eddington (1882–1944) den Nachweis der Instabilität des Einstein-Universums erbringen.[24]

Der Entstehungs- und Entwicklungsgedanke wurde schließlich 1931 vom belgischen Physiker und Priester Georges Lemaître (1894–1966) wieder in die Kosmologie eingeführt. Lemaître formulierte in einem kurzen Aufsatz,[25] der in der Zeitschrift „Nature“ erschien, seine Idee eines Uratoms, aus dem in einem radioaktiven Zerfall die chemischen Elemente hervorgebracht werden. Sein Gedanke stellt gewissermaßen den vorläufigen Abschluss des Übergangs vom statischen Sternenkosmos zu einem expandierenden Galaxienuniversum dar. Zu diesem Übergang hatten neben Lemaîtres eigenen Arbeiten vor allem die Arbeiten des russischen Mathematikers, Meteorologen und Physikers Alexander Friedmann (1888–1925) sowie die astronomischen Beobachtungen von Edwin Powell Hubble (1889–1953) beigetragen. Friedmann hatte verschiedene kosmologische Modelle auf Grundlage der Allgemeinen Relativitätstheorie entwickelt, in denen der Weltradius expandiert, kontrahiert oder oszilliert.[26] Hubble hatte Ende 1923 gezeigt, dass die neb-

23 Gängige deutsche Übers. von George Gamow: My world line: An informal autobiography, Viking Press, New York, 1970, S. 44.

24 Vergleiche Arthur Stanley Eddington: On the instability of Einstein’s spherical world, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **90**, 1930, S. 668–678.

25 Georges Lemaître: The beginning of the world from the point of view of quantum theory, Nature, 1931, S. 706.

26 Vergleiche hierzu Tobias Jung: Friedmann und Lemaître: ‚Väter des Urknalls‘? Ein Vergleich ihrer kosmologischen Arbeiten aus den 1920er Jahren, Philosophia Naturalis **41**, 2004, S. 53–89.

ligen Fleckchen zum Teil extragalaktischer Natur sind, dass es sich also um eigenständige Sternsysteme außerhalb unserer Galaxis handelt. 1929 formuliere er die Rotverschiebungs-Entfernungs-Relation für Galaxien, die von anderen Wissenschaftlern als Fluchtbewegung der Galaxien voneinander weg und damit als Manifestation der Expansion des Universums interpretiert wurde.

Die Einführung des Entstehungs- und Entwicklungsgedanken im Rahmen einer geschlossenen kosmologischen Theorie verdanken wir Kant, der sich damit von Newton absetzte. Kants Ideen mussten, nachdem Einstein in Anlehnung an Newton sein statisches Weltmodell entwickelt hatte, im Rahmen der allgemeinrelativistischen Kosmologie wieder neu entdeckt werden. Heute stellt die Entstehung und Entwicklung des Universums einen wesentlichen Grundzug des Standardmodells der Kosmologie dar. Damit erweist sich Geschichtlichkeit als weit über die spezifisch menschliche Geschichte hinausgehendes Phänomen.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 69–75*

Helmut Lindner

Astronomie in der Schule

Astronomie in der Schule, Astronomie als Unterrichtsfach – das ist ein Thema, um das seit rund 200 Jahren gestritten wird. Es bewegt die Gemüter, seit die Astronomie aus dem selbstverständlichen, allgemein akzeptierten Kanon der Unterrichtsgegenstände ausschied, dem sie von alters her angehörte.

In Klosterschulen und Universitäten des ausgehenden Mittelalters war Astronomie innerhalb des Quadriviums, des mathematischen Teils der sieben freien Künste, präsent, und auch die Stadt- und Ratsschulen des 15. und 16. Jahrhunderts boten Astronomie als selbstständiges Fach von gleichem Range wie Arithmetik und Geographie an. Erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts finden sich in Schulprogrammen und Lehrbüchern deutliche Hinweise darauf, dass astronomisches Bildungsgut zum Bestandteil anderer Unterrichtsfächer reduziert wurde. Vornehmlich Mathematik und Geographie teilten sich das Erbe, später trat auch die Physik hinzu.

Dass astronomisches Wissen, dass Kenntnisse über Sonne, Mond, Sterne und Planeten zum wesentlichen Kulturgut der Menschheit zu rechnen sind, ist weithin unbestritten. Anerkannt ist auch, dass die Astronomie ein bedeutender Bereich der exakten Naturwissenschaften ist und dass die bekannte Diesterwegsche Forderung, „kein Schüler sollte aus der Schule entlassen werden, ohne Anschauung und Kenntnis des Himmels und seiner Wunder gewonnen zu haben“, heute wie ehedem zu Recht besteht.

Wie aber, in welcher schulorganisatorisch praktikablen Art und Weise soll Astronomie den Schülern nahegebracht werden? Soll Astronomie ein ordentliches Fach sein, oder kann man astronomisches Bildungsgut ebenso gut oder vielleicht sogar besser vermitteln, wenn man es unterschiedlichen Fächern zuordnet und es in unterschiedliche Jahrgangsstufen verpackt? Muss Astronomie im curricularen Zusammenhang unterrichtet werden oder ist es besser, sie in kleineren und größeren Portionen wohldosiert in den Unterricht der etablierten Fächer einfließen zu lassen?

Wir kennen Beispiele für beide Wege. Der erste ist in der DDR beschritten worden, aber auch in einigen Altbundesländern gibt es das Fach Astronomie, dort allerdings nur im Wahl- oder im Wahlpflichtbereich. Vor etwa 20 Jahren nannte die Kommission 46 (Teaching of Astronomy) der Internationalen Astronomischen Union (IAU) als Länder mit selbständigem Astronomieunterricht außer der DDR die Sowjetunion, Griechenland, Argentinien und Mexiko. Auch von Bulgarien und Kuba war in diesem Zusammenhang die Rede. Das ist nicht viel, wenn man bedenkt, dass die IAU eine weltumspannende Organisation ist. Offenbar waren und sind die Widerstände gegen die Einrichtung eines ordentlichen Unterrichtsfaches Astronomie erheblich.

Um so höher ist es einzuschätzen, dass nach der Wiedervereinigung Deutschlands vier der fünf ostdeutschen Länder die Tradition des selbstständigen Faches Astronomie fortführten. Dabei ist sicher nicht entscheidend, dass es sich um ein Erbstück aus dem Schulwesen der DDR handelte. Vielmehr dürften für die begrüßenswerte Entscheidung der Kultusministerien von Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zwei sehr gewichtige Argumente entscheidend gewesen sein:

1. Jeder Schüler soll eine knappe, aber richtige Vorstellung vom Aufbau der Welt und vom Geschehen im Weltall erhalten. Das geschieht am intensivsten und am rationellsten in einem geschlossenen Lehrgang, der eine betonte Schülerorientierung ermöglicht.
2. Es gab in den neuen Ländern viele gut ausgebildete Astronomielehrer. Ihr fachliches und didaktisches Potenzial konnte nur in einem ordentlichen Unterrichtsfach Astronomie voll ausgenutzt werden.

Nun ist der Erwerb eines naturwissenschaftlichen Weltverständnisses, das auch die Grundlagen eines astronomischen Weltbildes umfasst, gewiss nicht vom Vorhandensein eines eigens dafür bestimmten Unterrichtsfaches abhängig. Astronomie kann auch unter dem Dach eines anderen Faches vermittelt werden, *wenn dieses Fach mit einem geschlossenen Themenbereich Astronomie ausgestattet ist und wenn die Lehrer dieses Faches über das erforderliche Wissen und Können verfügen und die Bereitschaft mitbringen, die Besonderheiten der Astronomie als Lehrgegenstand zu beachten*. Voraussetzung für diese Variante sind also Physiklehrer, die die ganze Astronomie beherrschen, nicht nur die Astrophysik, und die in der Lage sind, die Schüler kompetent anzusprechen – und zwar unter den Bedingungen, die für Schulfächer grundsätzlich gelten: pädagogisch verantwortet, didaktisch ausgewiesen, curricular geordnet und an ein allgemeines Erziehungsziel angebunden, so dass der An-

spruch der in diesem Bereich behandelten Gegenstände dem für Schule prinzipiell geltenden Maßstab gerecht wird.

So weit so gut? Nein! Denn überall dort, wo die Astronomie den Status eines eigenständigen Unterrichtsfaches zu verlieren drohte oder verloren hat, ist auch darüber nachgedacht worden, bestimmte astronomische Sachverhalte bereits in vorgelagerten Klassenstufen der Fächer Geografie, Mathematik, Geschichte, Chemie, Biologie, Ethik und Religion zu vermitteln.

Wie könnte das aussehen? Die Physik würde wohl den astrophysikalischen Anteil der Astronomie-Lehrpläne übernehmen. Die Betrachtung der Erde als Himmelskörper und Beobachtungsstandort würde der Geografie zugewiesen, die Entwicklung der Erkenntnisse über das Weltall könnte man der Geschichte übergeben. Lebensbedingungen im Kosmos und auf der Erde behandelt die Biologie, die Zusammensetzung der interstellaren Materie die Chemie, und für die „astronomischen" Zahlen ist die Mathematik zuständig … Und da sind ja noch die unterschiedlichen Klassenstufen, auf die sich beispielsweise der Anteil der Physik aufteilen ließe, beginnend mit der Behandlung der Finsternisse in Klassenstufe 6, der Sonne als Energiequelle in Klassen 7, dem Erdmagnetfeld in Klasse 9 und so weiter.

Das Ergebnis solcher Bildungsplanung wäre für das Anliegen des Astronomieunterrichts schlicht eine Katastrophe. Die Wegnahme wesentlicher Bestandteile der Astronomie und ihre Eingliederung in unterschiedliche Klassenstufen anderer Fächer würde das Verständnis für das Gesamtbild vom Kosmos und den Ort der Erde wesentlich erschweren oder gänzlich verhindern:

- Würde z.B. die Erde als Himmelskörper im Fach Geographie behandelt, so müsste die Frage nach der Stellung des Menschen im Weltall unbeantwortet bleiben.
- Würden Teile der Astronomie in den Mathematikunterricht übernommen, so wären sie dort nichts weiter als eine Sammlung von Beispielaufgaben; eine geschlossene Darstellung auch einzelner Lernbereiche der Astronomie kann so nicht erreicht werden.
- Würde die Entwicklung des astronomischen Weltbildes im Geschichtsunterricht behandelt, so müsste den Schülern der astronomische Sachverhalt unbekannt bleiben. (Man kann über die Entwicklung einer Wissenschaft nur dann Kenntnisse erwerben, wenn man gleichzeitig oder vorhergehend Kenntnisse über diese Wissenschaft selbst gewonnen hat.)
- Die Vermittlung einzelner astronomischer Sachverhalte im Chemie-, Biologie-, Religions- oder Ethikunterricht ermöglicht nicht die Zusammenfügung der astronomischen Wissens zu einem ganzheitlichen Bild der

Welt.
Eine Vielzahl zusammenhangloser Wissenspartikel, die die Schüler zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten und unter dem Dach unterschiedlicher Unterrichtsfächer erreichen, lässt sich nicht mehr zu einem Ganzen zusammenfügen. Wissen um die Stellung der Erde (und mit ihr des Menschen) in der Welt kann so nicht entstehen. Auf dieses Wissen aber haben unsere Schüler Anspruch. Sie dürfen die Schule nicht mit dem naturwissenschaftlichen Weltbild ihrer Urgroßeltern verlassen.

Weshalb diese Betonung des kompakten Unterrichtsgebietes, diese Forderung nach einem geschlossenen Lehrgang? Sie ist darin begründet, dass die Schüler im 9. oder 10. Schuljahr längst Kenntnisse über astronomische Objekte, Erscheinungen und Vorgänge erlangt haben – nur leider die wenigsten davon in der Schule. Sie verfügen über eine Vielzahl astronomischer Begriffe, sind aber selten in der Lage, diese Begriffe mit Inhalten zu füllen. Außerdem verfügen nur sehr wenige Schüler über ein System, in das sie ihre Vorkenntnisse und das neuerworbene Wissen einordnen könnten.

Ich nenne Ihnen einige Beispiele:

- Planetenbewegung um die Sonne – wie sieht das von der Erde aus betrachtet aus?
- Unterschied zwischen wahrer und scheinbarer Mondbewegung.
- Wie entstehen die Mondphasen? Erdschatten?
- Warum alle 4 Jahre ein Schalttag?
- Das astronomische Weltbild endet oft bei Copernicus (auch bei sehr guten Schülern).

Astronomieunterricht soll mehr umfassen als eine Beschreibung dessen, was ist. Zur Astronomie gehören nicht allein die Objekte im Weltall, sondern auch die Vorgänge, die sich dort abspielen, die Zusammenhänge und die ihnen zugrundeliegenden Gesetze, alles in strenger Auswahl und in didaktischer Vereinfachung. Aber auch auf einige Methoden der astronomischen Forschung sollte der Astronomieunterricht aufmerksam machen. Wenn dies einem Lehrplanentwurf zugrunde gelegt wird, dann stellt sich sehr schnell heraus, dass das Fach Astronomie ohne sein naturwissenschaftliches Umfeld im Fächerkanon der Schule nicht lebensfähig ist.

Astronomie in der Schule ist ein Mittel der Integration und der Synthese. An dieser Stelle sollten wir Astronomielehrer hellhörig werden. Denn gerade in Bezug auf das Vernetzen von Wissen und Können kann der Astronomieunterricht Wesentliches leisten. Er fordert und fördert kumulative Kompetenz und vermittelt strukturierendes Überblickswissen. Wie wohl kein anderer

Lehrgegenstand der allgemeinbildenden Schule integriert er fachübergreifende Fragestellungen. Und diese Schwerpunkte können in verschiedene Kontexte gestellt werden:

- aus *Mathematik*: Rechnen mit abgetrennten Zehnerpotenzen, ebene Trigonometrie, Stereometrie;
- aus *Physik*: Grundbegriffe der Dynamik und Statik, Gravitation, Gesetze der Planetenbewegung, Energie und Leistung, Thermodynamik, Strahlung, Atombau, Kernphysik;
- aus *Chemie*: Atombau, Periodensystem der Elemente, Zusammensetzung der Planetenatmosphären;
- aus *Biologie*: Entwicklung des Lebens auf der Erde; Bedingungen für Leben; die Erde als Träger intelligenten Lebens
- aus *Geographie*: Erde als Himmelskörper, Klima, Erdatmosphäre; Erde als Prototyp der erdähnlichen Planeten
- aus *Geschichte*: Sternmythen ferner Kulturen, Astronomie in der Steinzeit; Entwicklung des naturwissenschaftlichen Weltbildes; Wandlung der Astrologie in Astronomie; die griechische Mythologie als Sternbildnamensgeber; Naturwissenschaften im klassischen Altertum, im Mittelalter und in der Neuzeit
- aus *Religion* und *Ethik*: Astronomisches in biblischen Texten; Stellung des Menschen im Kosmos; Astronomie für die Erde; Werteorientierung.

Wohlgemerkt: Der Astronomieunterricht integriert diese Themen, nicht umgekehrt! Jedes der genannten Fächer liefert dazu einen spezifischen Beitrag an disziplinärem Fachwissen. Der Astronomieunterricht muss die spezifischen Potenziale des Denkens und Wissens erschließen, die von Bildungsbereichen außerhalb der Astronomie nicht in gleicher Weise oder gar nicht erbracht werden können. Das sind:

- die Ausbildung des räumlichen und zeitlichen Vorstellungsvermögens;
- der Umgang mit Dimensionen und Intervallen von Größen außerhalb der Erfahrungswelt;
- die Erweiterung des Weltbildes im Großen; Verknüpfung der Mikrowelt (Elementarteilchenphysik) mit der Makrowelt (Kosmologie, Großstrukturen des Kosmos);
- das Verständnis für den Zusammenhang von Zustand und Entwicklungsprozess der Himmelskörper bis hin zum Kosmos als Ganzem;
- die Stellung des Menschen im Kosmos; und auch
- die Ausbildung von Kritikfähigkeit gegenüber der heutigen Astrologie und ähnlichen scheinwissenschaftlichen Lehren.

Insbesondere ist der Erwerb von Methodenkenntnissen ein wichtiges Charakteristikum des Astronomieunterrichts. Außerdem gewinnen die Schüler wichtige Kenntnisse über den Beitrag der Naturwissenschaften zur kulturellen Entwicklung unserer Gesellschaft und die kulturgeschichtliche Herkunft einer der wichtigsten Grundlagen des Weltverständnisses. Damit trägt der Astronomieunterricht der Aufgabe der Schule zur Vermittlung von Werteorientierungen Rechnung.

Ein Astronomieunterricht, der ein einigermaßen konkretes Bild vom Aufbau der Welt vermitteln soll, kann schwerlich vor Klasse 8 beginnen, weil doch eine ganze Menge Voraussetzungen aus Physik und Mathematik gebraucht werden. Besser ist Klasse 9. In Klasse 10 war das Fach Astronomie in der Polytechnischen Oberschule der DDR etwas zu spät angesiedelt: Da ist einmal das schon erwähnte Problem des ungeordneten Vorwissens. Außerdem hat es ein Einstundenfach im ohnehin durch die Abschlussprüfung verkürzten letzten Schuljahr auch im Hinblick auf die Lernmotivation nicht gerade leicht.

Der Astronomieunterricht muss durch eine für die Schüler einsichtige sachlogische Gliederung strukturiert sein. Diese Gliederung muss sowohl den Gesamtrahmen des Unterrichts liefern, als auch die Binnenstrukturen. Für die Planung des Astronomielehrganges bietet sich als naheliegendes Prinzip das Fortschreiten von der räumlichen Nähe in immer größere Entfernungen an. Das heißt nicht nur, zuerst die erdnahen Himmelskörper – den Mond, die Planeten und die anderen Körper des Sonnensystems zu behandeln und dann die Betrachtungen auf entferntere kosmische Gebilde – Sterne, Sternsysteme und schließlich das ganze Weltall – auszudehnen. Das heißt vor allem, die Erde als Standort des Beobachters, als Basis für die astronomische Beobachtung und die sich daraus ergebenden Phänomene an den Anfang des Unterrichts zu stellen. Orientierung am Sternhimmel, astronomische Phänomenologie, Sternbilder, tägliche und jährliche Bewegung des Sternhimmels, scheinbare Sonnenbahn, Zeit und Kalender – das muss den Anfang eines sachlogisch stimmigen Astronomieunterrichts bilden, denn es ist der Teil der Astronomie, der uns im Alltag entgegentritt, der auch den Nichtastronomen interessiert, und der neben dem Verstand auch das Gefühl anzusprechen vermag.

Schulastronomie ist also eine recht anspruchsvolle Aufgabe. Sie kann diesem Anspruch nur gerecht werden, wenn die Didaktiker sie für die Lehrer handhabbar machen, wenn sie die Voraussetzungen für den Unterrichtserfolg schaffen. Didaktische Aufbereitung und Verarbeitung des Bildungsgutes sind für den Astronomieunterricht unverzichtbar. Fachdidaktik ist einer der

Grundpfeiler eines guten Astronomieunterrichts. Die Schulastronomie kann aber nicht ohne den fachlich kompetenten Astronomielehrer auskommen, der über dem Stoff steht, der aus dem Vollen schöpfen kann und der dadurch in der Lage ist, mit einem Blick, einer Geste, einem Satz Wesentliches vom Unwesentlichen zu trennen, der die Bedeutung eines Sachverhalts für die Allgemeinbildung zu beurteilen und sie auch seinen Schülern nahezubringen vermag.

Die Schüler eines solchen Lehrers werden dieses fachliche Vermögen unschwer spüren, und das wird sich auf den Unterricht und seine Wirksamkeit, vor allem aber auf das Verhältnis zwischen ihnen und ihrem Lehrer auswirken. Der Lehrer, der mit der Entwicklung der Fachwissenschaft mitgeht und der die Entwicklung der Didaktik seines Fach verfolgt, wird seine Schüler stets etwas von dieser Entwicklung verspüren lassen. Er wird in ihnen ein Gefühl dafür wecken, wie aufregend schön es sein kann, am wissenschaftlichen Fortschritt denkend und verstehend teilzunehmen; mitzuerleben, wie offene Fragen beantwortet, unklare Einsichten gesichert werden. Er wird ihnen ein großartiges Geschenk mitgeben: Wissen vom Bau der Welt, Interesse an Wissenschaft und Freude an geistiger Arbeit.

Unser Land braucht Schüler, die darüber verfügen. Es braucht deshalb auch solche Lehrer!

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 77–94*

Jörg Zaun

Astronomische Instrumente aus Berliner und Potsdamer Werkstätten

Als Produktionsstandorte für den wissenschaftlichen Instrumentenbau spielten Berlin[1] und Potsdam vor dem 19. Jahrhundert keine Rolle. Erst in den Jahrzehnten zwischen Wiener Kongress und Reichsgründung etablierten sich die ersten namhaften Werkstätten. Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts entwickelte sich das Gewerbe mit einer enormen Dynamik, so dass man um 1900 hier einen der weltweit führenden Produktionsstandorte vorfand. Die beiden Weltkriege führten jeweils zum Ausbau der Produktionskapazitäten um den Bedarf an militärischen Instrumenten zu decken, in der Folge aber zu einem raschen Niedergang des Gewerbes. Die hier skizzierte Entwicklung soll im Folgenden mit dem Fokus auf die Hersteller astronomischer Instrumente detaillierter dargestellt werden.

Die Instrumentenbauer der Berliner Sternwarte im 18. Jahrhundert

Da es im 18. Jahrhundert in Berlin keinen Instrumentenbauer gab, der große astronomische Instrumente herstellen konnte, mussten die Akademie die Ausrüstung für die Sternwarte aus dem Ausland importieren.[2] Die Instrumente mussten aber regelmäßig gewartet werden und gelegentlich waren Reparaturen notwendig, deshalb kam man an der Berliner Sternwarte nicht ganz ohne die Hilfe ortsansässiger Mechaniker und Optiker aus. Bereits 1705 wurde Johann Ernst Essling als ‚Mechanicus der Societät bestallt' und 1712 zu-

1 Wenn hier von Berlin die Rede ist, so ist das Territorium der Stadt in ihrer heutigen Ausdehnung gemeint.

2 So stammen der 1768 angeschafften Mauerquadrant aus der Werkstatt von Bird und die im 18. Jahrhundert angeschafften größeren Teleskope von Dollond und anderen Londoner Werkstätten.

sätzlich Joseph Christoph Rembold als ‚Opticus'.[3] Beide erhielten für die Wartung der Instrumente eine feste Vergütung, während die Anfertigung von neuen Instrumenten und größere Reparaturen gesondert abgerechnet wurden. Diese Regelung wurde auch bei den Nachfolgern von Essling und Rembold beibehalten, wobei die Grundvergütung für den Mechaniker Johann Heinrich Ring 1767 auf den beträchtlichen Betrag von 300 Talern angehoben wurde. Außerdem wurde ab 1783 neben dem Optiker und dem Mechaniker mit Giovanni Baptista Schiavetto noch ein meteorologischer Instrumentenbauer von der Akademie beschäftigt.[4]

Nach dem Tod von Ring jun. im Jahr 1810, der 1793 die Nachfolge seines Vaters Johann Heinrich angetreten hatte, beschloss die Akademie die Stelle nicht wieder zu besetzen, da sie nun keinen Bedarf mehr für einen Akademiemechaniker sah.

Über den tatsächlichen Umfang der Tätigkeit der besoldeten Instrumentenbauer für die Akademie ließ sich nur wenig ermitteln. In den Akten der Akademie sind nur vereinzelte Rechnungen für Instrumente oder große Reparaturen nachweisbar. Da aber durchgehend mehrere Instrumentenbauer gleichzeitig im Dienste der Akademie standen und eine relativ hohe Vergütung erhielten, muss angenommen werden, dass sie doch in erheblichem Umfang für die Akademie tätig waren. Alle Instrumentenbauer der Akademie unterhielten weiterhin eigene Werkstätten und fertigten nicht ausschließlich für die Akademie. Von den meisten lassen sich heute in verschiedenen Sammlungen Instrumente nachweisen, herausragende Stücke sind darunter jedoch nicht zu finden und mit Brander in Augsburg oder Dollond und Bird in Großbritannien konnte sich keiner messen.

---

3 Zaun, Jörg: *Optici und Mechanici der Berliner Akademie und ihrer Sternwarte*, in W. R. Dick und K. Fritze (Hg.): 300 Jahre Astronomie in Berlin und Potsdam. Thun 2000, S. 86–90 sowie Körber, Hans-Günther: *Die Berliner Instrumentenmacher im 18. Jahrhundert*, in: Actes du XIIIe Congrès international d'Histoire des Sciences, Moscou 18–24 août 1971. Moskau 1974, S. 271–276. Wie weit sich die Bezeichnungen Mechaniker für Essling und Optiker für Rembold auf eine tatsächliche Aufgabentrennung beider bezogen lässt sich nicht mehr ermitteln.

4 Ab Ende des 18. Jahrhundert wurde der Titel Akademiemechanikus oder Akademieoptikus offenbar auch als Ehrentitel für verdiente Instrumentenbauer verliehen, vergleichbar dem eines Hoflieferanten in anderen Handwerkszweigen, ohne dass damit eine Anstellung an der Akademie verbunden war.

Die Werkstätten von Carl Theodor Nathan Mendelssohn und Carl Philipp Heinrich Pistor

Bild 1: Universalinstrument, Pistor & Schiek, 1826 (Astrophysikalisches Institut Potsdam)

1806 gründete Carl Theodor Nathan Mendelssohn (1782–1852) eine feinmechanische Werkstatt in der Behrenstraße 60 in Berlin.[5] Der Sohn des Berliner Philosophen Moses Mendelssohn hatte in Paris und London sein Handwerk gelernt. Obwohl Mendelssohn ein umfangreiches Preisverzeichnis in den Annalen der Physik veröffentlichte und die Konkurrenz in Berlin, wie gerade ausgeführt, nicht bedeutend war, blieb ihm der Erfolg versagt. Für die Berliner Sternwarte hat er ein Passageinstrument hergestellt, das leider nicht erhalten ist. Der Versuch eine funktionstüchtige Kreisteilmaschine herzustellen, die ihn in die Lage versetzt hätte, auch größere Instrumente zur Positionsbestimmung zu fertigen, scheiterte. Mit der Kriegserklärung Preußens an Frankreich 1813 wandelte Mendelssohn seine Werkstatt zunächst in eine Piken-

5 Zaun, Jörg: *Instrumente für die Wissenschaft. Innovationen in der Berliner Feinmechanik und Optik*, 1871–1914. Berlin 2002, S. 45–48.

schmiede für Landwehr und Landsturm um und stellte dann seine Produktion ein. Die Werkstatt von Mendelssohn kann trotzdem als eine Keimzelle der Berliner Feinmechanik und Optik betrachtet werden, da Carl Pistor, der bedeutendste Berliner Instrumentenbauer aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, zeitweise bei Mendelssohn gearbeitet hat.

Bild 2: Richtungsfernrohr, Pistor & Martins, Berlin 1842 (Astrophysikalisches Institut Potsdam)

Carl Phillip Heinrich Pistor (1778–1847) war im Alter von 15 Jahren in den Dienst der preußischen Post eingetreten und nutzte seine zahlreichen Dienstreisen als Postsekretär um an verschiedenen Orten die Polhöhe zu messen sowie Kontakte zu führenden Astronomen aufzubauen, darunter Zach, Olbers, Schumacher und Bessel.[6] Vermutlich schon kurz nach der Gründung der Mendelssohnschen Werkstatt 1806 waren Pistor und Mendelssohn in Kontakt gekommen. Da Pistor keine Ausbildung als Optiker oder Feinmechaniker hatte, dürfte er durch die Zusammenarbeit mit Mendelssohn wesentliche Fertigkeiten für sein späteres Wirken erlernt haben, und auch der Misserfolg mit der Kreisteilmaschine gehörte sicher zu den wichtigen Erfahrungen dieser Zeit. 1809 schrieb Achim von Arnim, der zu dieser Zeit drei Räume im Haus seines Freundes Pistor angemietet hatte, an Bettina von Brentano: „Ich freue mich der Maimorgen im Garten, der recht artig verwildert ist, seit Pistor seine

6 Zaun, Jörg: *Pistor & Martins, die Erbauer der Berliner Meridiankreise*, in W. R. Dick und K. Fritze (Hg.): 300 Jahre Astronomie in Berlin und Potsdam. Thun 2000, S. 91–106.

Leidenschaft für Blumenzucht auf messingene Instrumente gewendet, die er jetzt in großer Vollkommenheit macht."[7] 1813 wurde Pistor auf eine Dienstreise nach London geschickt und nutzte diese Gelegenheit sich in den dortigen Werkstätten umzusehen. 1814 veröffentlichte er dann seine erste umfangreiche Preisliste und stellt das erste größere achromatische Objektiv für den Berliner Physiker Johann Georg Tralles her. Den ersten Auftrag für ein großes astronomisches Instrument, einen Meridiankreis für die Berliner Sternwarte, erhielt Pistor 1828. Diesen Auftrag verdankte Pistor offenbar der Fürsprache Bessels, der eine hohe Meinung von Pistors Fähigkeiten hatte. Allerdings brauchte Pistor fast 10 Jahre um das Instrument fertig zu stellen.

Bild 3: Dass., Herstellersignatur am Mittelwürfel

Pistor stand weiterhin im Dienste der preußischen Post, wo er bis zum Geheimen Ober-Postrat aufstieg und mit vielfältigen Aufgaben betraut war. Außerdem war er an der Errichtung der optischen Telegrafenlinie von Berlin nach Koblenz beteiligt und am Bau der ersten in Berlin hergestellten Dampfmaschine. Bei dem Umfang dieser Projekte dürfte ein Großteil der Arbeit in der Werkstatt von Pistors Gehilfen und Teilhabern erledigt worden sein. Die in den Jahren 1817 bis 1819 gebaute Kreisteilmaschine soll Friedrich Wilhelm Schieck (1790–1870) unter Pistors Anleitung hergestellt haben. 1824

7 Zitiert nach Steig, Reinhold: *Achim von Arnim und Bettina von Brentano, Achim von Arnim und die ihm nahe standen*, Bd. 2. Berlin 1913, S. 278.

wurde er Werkstattleiter und Teilhaber bei Pistor, die Werkstatt firmierte nun unter dem Namen Pistor & Schieck. Nachdem sich Schieck Ende 1836 von Pistor getrennt hatte und eine eigene Werkstatt gründete, nahm Pistor 1841 seinen Gehilfen und Schwiegersohn Martins als Teilhaber in das Geschäft, das nun unter dem Namen Pistor & Martins firmierte. Carl Otto Albrecht Martins (1816–1871) hatte 1833 eine Lehre bei Pistor begonnen und blieb anschließend bei ihm als Gehilfe tätig. Nachdem Pistor 1844 einen Schlaganfall erlitten hatte, führte Martins die Werkstatt zusammen mit Georg Pistor, einem unehelichen Sohn des Gründers, weiter.

Bild 4: Universalinstrument, Pistor & Martins, Berlin um 1860 (Universitätssternwarte Wien)

In den 30 Jahren unter Martins Leitung war die Werkstatt enorm produktiv: 1845 wurde ein Meridiankreis für die Sternwarte Bonn fertig gestellt und 11 weitere folgten in den nächsten Jahren.[8] Ein Äquatorial für die Sternwarte Leipzig wurde 1862 fertig, ein zweites Äquatorial, für Santiago (Chile) bestimmt, ging 1869 infolge eines Schiffbruchs verloren. Für das Observatorium Dunsink (Irland) lieferten Pistor und Martins einen großen Refraktor und

einen Meridiankreis. Der Tod von Martins führte zu einem raschen Niedergang der Werkstatt. Der letzte Meridiankreis für Dunsink wurde zwar noch fertig gestellt, die Werkstatt aber Ende 1873 aufgelöst. Sie hatte jedoch durch ihre Lehrlinge Örtling, Reichel und Töpfer sowie ihre Gesellen Schieck, Halske, Hildebrand und Bamberg einen bleibenden Einfluss auf die Entwicklung der Berliner Feinmechanik und Optik genommen.

Blütezeit der Berliner Feinmechanik und Optik

Überblickt man die Entwicklung des wissenschaftlichen Instrumentenbaus in Berlin und Potsdam, so fällt auf, dass in den zwei Jahrzehnten von 1860 bis 1880 sehr viele der bedeutenden Werkstätten gegründet wurden, genannt seien hier die Werkstätten von C. Bamberg, R. Fuess, B. Halle, H. Heele, M. Hildebrand, C. Reichel, F. Schmidt & Haensch, O. Töpfer, J. Wanschaff.[9] Insgesamt stieg die Zahl auf ca. 120 Werkstätten. Trotzdem sprachen kurz nach der Reichsgründung zahlreiche Zeitgenossen, darunter prominente Vertreter der Akademie der Wissenschaften und des preußischen Militärs, von einer Krise des deutschen Instrumentenbaus. Als Gründe für diese Kreise wurden unter Anderem eine mangelnde staatliche Unterstützung dieses Gewerbes benannt, ein Abwandern der fähigsten Gesellen in die elektrotechnische Industrie, wo sie erheblich mehr verdienen konnten, eine mangelnde Kooperation zwischen Instrumentenbau und Wissenschaft sowie ein, durch eine große Nachfragesteigerung bei Wissenschaft und Militär verursachter, Produktionsengpass. Bereits gegen Ende der 70er Jahre wurde die Lage jedoch wieder deutlich positiver beurteilt. Otto von Morozowicz, Chef der preußischen Landestriangulation, schrieb in seinem Vorwort zu dem Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1879: „[die Berliner Mechaniker] führen Erzeugnisse vor, wie man sie wenige Jahre vorher in diesem Zweige der Kunstindustrie vergeblich gesucht haben würde."[10] Ebenso urteilte der Direktor der Berliner Sternwarte Wilhelm Julius Förster, der das erste Kapitel in dem Bericht über die ausgestell-

8 Die weiteren Meridiankreise lieferte Pistor & Martins nach Ann-Arbor (USA) 1854, Palermo (Italien) 1855, Albany (USA) 1856, Parma (Italien) 1856, Kopenhagen (Dänemark) 1860, Leiden (Niederlande) 1861, Washington (USA) 1865, Leipzig 1865, Massachusetts (USA) 1865, Berlin 1868 und Dunsink (Irland) 1873.

9 Zu den Folgenden Ausführungen vgl. Zaun, Jörg: *Instrumente für die Wissenschaft* (wie Anm. 5), S. 74–117.

10 Morozowicz, O. v.: *Vorwort*, in: Löwenherz, L. (Hrsg.): Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879. Berlin 1880, S. VIII.

ten astronomischen Instrumente verfasste, sehr positiv über die gezeigten Leistungen.

Gegen Ende des Jahrhunderts hatte sich die Berliner Feinmechanik und Optik eine internationale Spitzenstellung erarbeitet. Wesentlich dazu beigetragen hatte die Deutsche Gesellschaft für Mechanik und Optik, die 1877 unter dem Namen Fachverein Berliner Mechaniker und Optiker gegründet worden war, und auf vielen Gebieten fördernd gewirkt hatte, sei es durch eine gezielte Lobbyarbeit, ihr Engagement um eine verbesserte Lehrlingsausbildung, die Organisation kollektiver Präsentationen auf zahlreichen Weltausstellungen oder die Förderung eines Dialoges zwischen Wissenschaft und Instrumentenbau.[11] Die Anzahl der Betriebe in Berlin und Potsdam war seit 1880 nur noch unwesentlich gestiegen, aber viele Betriebe waren inzwischen zu mittelständischen Unternehmen von beträchtlicher Größe angewachsen. An keinem anderem Standort im Deutschen Reich und kaum irgendwo auf der Welt konnte man eine solche Dichte renommierter Firmen finden. Einige dieser Betriebe hatten sich auf bestimmte Instrumentengattungen spezialisiert, andere versuchten weiter ein breites Spektrum abzudecken. Aus der Vielzahl der Betriebe sollen im Folgenden diejenigen genauer vorgestellt werden, die auf dem Gebiet des astronomischen Instrumentenbaus wesentliches geleistet haben.

Carl Bamberg

Carl Bamberg (1847–1892) hatte sich nach der Lehre bei Carl Zeiss und einer Gesellenzeit bei Pistor & Martins 1871 selbständig gemacht.[12] Sein wichtigster Auftraggeber wurde die kaiserliche Marine, für die Bamberg einen Fluid-Kompass entwickelt hatte. Im Dezember 1873 wurde ihm vom Marineministerium auch die Inspektion der wissenschaftlichen Sammlung der Admiralität übertragen. Im gleichen Jahr lieferte er für die Expedition der Astronomischen Gesellschaft, die zur Beobachtung des Venusdurchgangs nach Afrika entsandt worden war, die astronomischen Instrumente. 1874 erhielt er, vermittelt durch Förster, seinen ersten Auftrag für ein großes Äquatorial für die Sternwarte Düsseldorf. Weitere Äquatoriale wurden geliefert an die Stern-

11 Zaun, Jörg: *The success of the German instrument industry and the role of the Deutsche Gesellschaft für Mechanik und Optik*, in M. Dorikens (Hg.): Scientific Instruments and Museums, Proceedings of the XXth International Congress of History of Science, Liège 1997, Vol. XVI (De Diversis Artibus, Tome 59, N.S. ; 23). Turnhout 2002, S. 325–336.

12 Feldhaus, F. M.: *Carl Bamberg – Ein Rückblick auf sein Wirken und auf die Feinmechanik.* Berlin 1929; Teufert, O.: *16.10.1961: 90 Jahre Askania-Werke*, Askania-Warte 18 (1961) S. 1–8.

warte Jena sowie zwei Instrumente für die Sternwarte der Berliner Urania.

Bild 5: Heliometer, Call Bamberg, Berlin-Friedenau um 1880-1890 auf Dreibeinstativ (Universitätssternwarte Wien)

Bild 6: Dass. mit gegeneinander verschobenen Objektivhälften

Bild 7: Dass., Herstellersignatur

Auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879 wurde auch das gerade für die Berliner Sternwarte fertig gestellte Universal-Transit präsentiert, mit dem der Observator Friedrich Küstner die Schwankung der Polhöhe nachwies. Nachdem Carl Bamberg 1892 kurz vor Vollendung des 45. Lebensjahres verstarb, führte die Witwe Emma Bamberg die Werkstatt weiter, bevor 1904 der Sohn Paul Adolf Bamberg (1876–1946) die Leitung übernehmen konnte. Die Werkstatt blieb auch weiterhin ein bedeutender Hersteller astronomischer Instrumente, so wurde 1897 ein Zenitteleskop für die Sternwarte Leipzig geliefert und es folgten Transit-Instrumente für die Sternwarten in Belgrad, der Universität Washington (USA) und der Columbia Universität (USA).

Otto Töpfer & Sohn

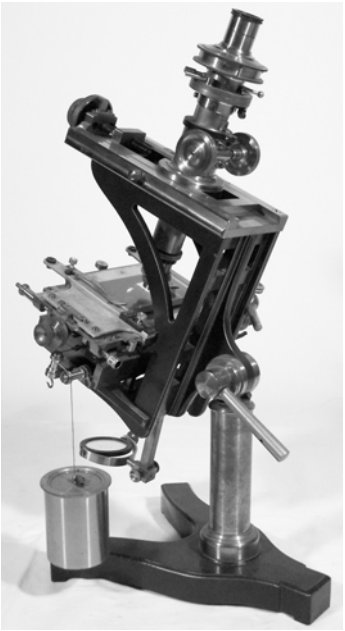

Bild 8: Plattenmessapparat, Otto Töpfer & Sohn, Potsdam um 1900 (Universitätssternwarte Wien)

Otto Töpfer (1845–1918) arbeitete nach seiner Lehrzeit fast zehn Jahre als Geselle in verschiedenen Werkstätten, bevor er sich 1873 in Potsdam selbständig machte.[13] Zunächst war er vor allem als Zulieferer für den ebenfalls in Potsdam ansässigen Mikroskophersteller Edmund Hartnack tätig. Seine Werkstatt profitierte von der unmittelbaren Nachbarschaft zu den ab 1874 neu errichteten Observatorien auf dem Potsdamer Telegraphenberg. 1888 baute er für den Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums Hermann Carl Vogel den ersten Spektrographen. In den folgenden Jahren entstanden aus der Zusammenarbeit des Astrophysikalischen Observatoriums mit Töpfer zahlreiche verbesserte Spektrographen, Photometer, Sensitometer zum Testen der Photoschichten sowie Messmikroskope und Mikrophotometer für die Auswertung der Spektren, wobei Töpfer meist nur die mechanischen Teile fertigte und die optischen Komponenten von anderen Firmen bezog. 1896 übernahm der Sohn Reinhold Töpfer (1873–1951) die technische Leitung des Betriebes und führte ihn ab 1910 alleine weiter.

Bild 9: Herstellersignatur von Otto Töpffer an einem Messmikroskop, Potsdam um 1890 (Archenhold-Sternwarte Berlin-Treptow)

Bei der Verlegung der Berliner Sternwarte nach Babelsberg besorgte Töpfer den Abbau der Instrumente in Berlin und ihre Neuaufstellung in Babelsberg. Außerdem wurden für Babelsberg ein Astrograph sowie ein Durchgangsinstrument gefertigt. Die neuen Aufgaben machten eine Erweiterung des Betriebes notwendig; zeitweise waren etwa 60 Personen bei Töpfer beschäftigt.

13 Zaun, Jörg: *Instrumente für die Wissenschaft* (wie Anm. 5), S. 153–159.

Trotzdem ging es dem Betrieb finanziell nie sehr gut und wiederholt musste Töpfer um größere Vorschüsse auf in Arbeit befindliche Instrumente nachsuchen. Anfang 1919 wurde ein Konkursverfahren eröffnet und nur durch den Verzicht einiger Gläubiger auf Teile ihrer Forderungen konnte der Konkurs vermieden werden. Noch im gleichen Jahr übernahm Bamberg die Werkstatt und Reinhold Töpfer sowie eine Reihe seiner früheren Mitarbeiter wurden nun bei Bamberg tätig.

Bernhard Halle Nachf.

Bernhard Halle (1842–1926)[14] absolvierte eine Lehre als Uhrmacher und war nach einigen Jahren der Wanderschaft neun Jahre beim Optiker und Feinmechaniker Hugo Schröder in Hamburg tätig. Anfang der 70er Jahre lernte Halle den Mikroskopproduzenten Hartnack kennen, der ihn nach Potsdam holte. 1873 machte sich Halle in Potsdam selbständig und spezialisierte sich auf die Fertigung von optischen Bauelementen aus den Materialien Kalkspat, Quarz, Steinsalz, Turmalin und Glimmer, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften schwer zu bearbeiten waren. Kalkspat, Turmalin, Glimmer und Quarz wurde vor allem für die verschiedenen Polarisationsinstrumente benötigt, Linsen und Prismen aus Quarz oder Steinsalz waren für Instrumente unersetzlich, die weit im UV- oder Infrarotbereich eingesetzt werden sollten, da die damals verfügbaren Glassorten diese Wellenlängenbereiche absorbierten. Halle lieferte optische Bauteile aus diesen Materialien an viele renommierte Firmen, unter anderem an R. Fuess in Berlin, C.A. Steinheil in München oder Roß & Co in London. Auch alle von Töpfer gebauten UV-Spektrographen für astronomische Observatorien waren mit Quarzoptiken von Halle ausgestattet. 1893 verlegte Halle seine Werkstatt von Potsdam nach Steglitz und verkaufte sie 1906 an seine Mitarbeiter Erich Ritter (1883–1971) und Anton Frank (1878–1928). Ritter hat sich unter anderem um die Weiterentwicklung der Interferenzoptiken verdient gemacht und die Firma Halle war später eine der wenigen Hersteller weltweit für H-alpha-Filter, die in der Sonnenforschung eine bedeutende Rolle gespielt haben. Als hoch spezialisierte Firma konnte sich der Betrieb durch alle Krisen des 20 Jahrhunderts retten und ist von den hier behandelten Firmen als einzige noch heute existent.

14 Bernhard Halle Nachf. (Hrsg.): *90 Jahre im Dienste der Optik.* Berlin 1963.

Hans Heele

Hans Heele gründete seine Werkstatt 1876 und hat für die 1898 fertig gestellte Sternwarte Altenburg einen photographischen Doppelrefraktor, ein Keilphotometer, eine Pendeluhr und ein Passageinstrument geliefert.[15] Außer astronomischen Instrumenten baute er Spektralapparate, Photometer sowie Polarimeter und war häufiger auch für die Physikalisch-Technische Reichsanstalt und die Normal-Eichungskommission tätig. Um 1900 baute Heele das Berliner Äquatorial um, dabei entwickelte er gemeinsam mit dem Observator Viktor Knorre verschiedene Verbesserungen der Montierung.[16] Ein kleines Äquatorial von Heele für Knorre war später an der Sternwarte in Münster aufgestellt.[17] 1923 wurde die Werkstatt von C. Bamberg aufgekauft.

15 Krüger, F.: *Die Sternwarte Altenburg*, Centralzeitung für Optik und Mechanik 20 (1899) S. 91–94, 101–102, 111–113, 121–122.

16 Knorre, Viktor: *Neuerungen an der Montierung von Äquatorialen*, Astronomische Nachrichten 160 (1903) S. 133–140; ders.: *Montierung von Äquatorealen nach Knorre und Heele*, Astronomische Nachrichten 177 (1908) S. 177–192, 178 (1908) S. 273–288, 181 (1909) 17–20, 188 (1919) 273–280.

17 Ebell, E.: *Todesanzeige Professor Dr. Viktor Knorre*, Astronomische Nachrichten 209 (1919) 367–368.

Julius Wanschaff

Bild 10: Universalinstrument, Julius Wanschaff, Berlin um 1880 (Astrophysikalisches Institut Potsdam)

Julius Wanschaff (1844–1903) gründete 1875/76 seine Werkstatt, die für sehr präzise Kreis- und Längenteilungen bekannt wurde.[18] Wanschaff stellte ein breites Spektrum astronomischer und geodätischer Präzisionsinstrumente her, wobei insbesondere seine großen Theodoliten und Universalinstrumente auch im Ausland einen guten Absatz fanden. Auch für das Astrophysikalische Observatorium Potsdam war er mehrfach tätig, so lieferte er unter Anderem ein Photometer nach Zöllner und einen großen Spektralapparat. Außerdem fanden seine Interferenzgitter hohe Anerkennung bei Wissenschaftlern. Mit einem solchen Gitter wurde am Astrophysikalischen Observatorium von Gustav Müller und Paul Kempf die Ångströmsche Wellenlängenskala wesentlich verbessert. 1899 stattete Wanschaff alle Stationen des ‚Internationalen Breitendienstes' mit Zenitteleskopen aus und für die Sternwarte Babels-

18 Zaun, Jörg: *Instrumente für die Wissenschaft* (wie Anm. 5), S. 163.

berg lieferte er 1911 einen großen Vertikalkreis. Der Betrieb wurde zunächst von seinem Sohn Hermann Wanschaff fortgeführt und 1922 von C. Bamberg gekauft.

Bild 11: Dass., Herstellersignatur mit Azimutkreis und Objektivende eines Ablesemikroskops mit Reinigungsring

Carl Paul Goerz AG

Carl Paul Goerz (1854–1923) hatte eine kaufmännische Lehre in der Optischen Industrieanstalt E. Busch in Rathenow absolviert, bevor er Ende 1886 in Berlin ein Versandhaus für mathematische Instrumente, Reißzeug und ähnliche Dinge gründete.[19] 1887 nahm er photographische Apparate und Zubehör in sein Angebotsspektrum auf und erwarb 1888 eine kleine mechanische Werkstatt um die Apparate selber produzieren zu können. Im folgenden Jahr begann er mit der Produktion von Photoobjektiven. 1892 erhielt er den ersten Auftrag für Galilei-Fernrohre vom preußischen Heer, und die ab 1897 hergestellten Prismenfernrohre konnte Goerz in erheblichen Umfang an das deutsche wie auch ausländische Militär absetzen. In kurzer Zeit avancierte Goerz zum weltweit größten Produzenten militärischer Optik mit inter-

19 *Festschrift. Herausgegeben von der Optischen Anstalt C.P. Goerz AG Berlin Friedenau anläßlich der Feier ihres 25 jährigen Bestehens 1886–1911*. Berlin 1911; Feldhaus, F. M.: *Das Goerz-Werk*, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 23 (1922) S. 341–385; Döring, W.: *Carl Paul Goerz*, Neue Deutsche Biographie, Bd. 6, Berlin 1964, S. 540.

nationalem Absatz. Entwickelt und produziert wurden verschiedene Typen von Entfernungsmessern, Zielgeräten für Geschütze, Scherenfernrohre, U-Boot Periskope. 1911 war die Zahl der Beschäftigten in Berlin auf 2500 angewachsen, die Firma inzwischen in eine Aktiengesellschaft umgewandelt. Zweigwerke waren 1902 in New York, 1905 in St. Petersburg und Wien, 1908 in Preßburg (Bratislava) gegründet worden. Goerz war nach Zeiss der zweitgrößte optische Betrieb in Deutschland und im Segment der militärischen Optik international der Marktführer. Ab 1911 versuchte Goerz im Bereich astronomischer Instrumente Fuß zu fassen. Zu diesem Zweck kooperierte man mit der Werkstatt von Bernhard Schmidt (1879–1935) in Mittweida.[20] Die großen von Schmidt geschliffenen Linsen und Parabolspiegel genossen in der Fachwelt bereits einen ausgezeichneten Ruf. 1911 wurde ein Spiegelteleskop für die Technische Hochschule Charlottenburg fertig gestellt; 1913 stiftete Goerz dem Deutschen Museum in München ein Cassegrain-System mit 40 cm-Spiegel. 1913/14 wurde außerdem die Ausrüstung für eine Sonnenfinsternisexpedition hergestellt. Die Expedition wurde von der Sonnenwarte der Technischen Hochschule Berlin, unter Leitung von Miethe, gemeinsam mit der Goerz A.G., vorbereitet und durchgeführt.[21] Mit Ausbruch des ersten Weltkrieges wurde die Entwicklung dieses neuen Geschäftszweigs jedoch gleich wieder unterbrochen.

Zwei Weltkriege und der Niedergang der Berliner Feinmechanik und Optik

Im Laufe des I. Weltkrieges sank die Zahl der Feinmechanischen und Optischen Betriebe im Deutschen Reich leicht, da einige kleinere Werkstätten schlossen. Die Anzahl der Beschäftigten in diesem Gewerbezweig stieg aber trotz Einberufung zahlreicher Fachkräfte zum Kriegsdienst um mehr als 50 % und die Produktion dank erfolgreicher Rationalisierungsmaßnahmen um 200 %, da das Militär einen hohen Bedarf an verschiedensten Instrumenten hatte.[22] Diese während des Krieges aufgebauten Überkapazitäten führten nach

20 Müürsepp, P.: *Die Jugendjahre von Bernhard Schmidt und sein Briefwechsel mit dem Potsdamer Observatorium*, Tallinn 1982.

21 Miethe, A., Seegert, B., Weidert, F.: *Die totale Sonnenfinsternis vom 21. August 1914, Gemeinsame Expedition der Sternwarte der Kgl. Technischen Hochschule Berlin und der Optischen Anstalt C.P. Goerz.* Braunschweig 1916.

22 Krüss, Hugo: *Die Entwicklung der feinmechanischen und optischen Industrie im Kriege*, Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik (1918) 37–40, 136–137; Braun, R.: *Optik und Feinmechanik in Deutschland.* Berlin 1921.

Kriegsende zu einem scharfen Wettbewerb, den zahlreiche kleinere Firmen nicht lange durchhalten konnten.

Mit dem Versailler Vertrag wurde der deutschen feinmechanischen und optischen Industrie die Produktion militärischer Instrumente untersagt. Nur C. Zeiss in Jena erhielt die Genehmigung, zur Belieferung des deutschen Militärs im begrenzten Umfang solche Güter zu produzieren. Diese Regelung traf vor allen Dingen die C.P. Goerz AG, die vorher der weltweit bedeutendste Produzent militärischer Optik gewesen war. 1924 kaufte Zeiss von Goerz die Zweigwerke in Wien und Preßburg, das Zweigwerk in St. Petersburg war mit der Oktoberrevolution enteignet worden, das Zweigwerk in New York mit Kriegseintritt der USA vom Mutterhaus gelöst worden und nach Kriegsende als eigenständiges Unternehmen in US-Besitz geblieben. 1926 wurden unter Federführung von Zeiss die Unternehmen ICA AG Dresden, Ernemann AG Dresden, Goerz AG Berlin, Contessa Nettel AG Stuttgart zur Zeiss Ikon AG Dresden fusioniert. Die neue Firma verzichtet auf die Herstellung von optischen Geräten, die optischen Abteilungen von Goerz und Ernemann wurden aufgelöst.[23]

Der Betrieb von Bamberg hatte Aufgrund seiner traditionell engen Verbindung zur deutschen Marine von Kriegsaufträgen besonders profitiert und war von etwa 60 auf 750 Mitarbeiter gewachsen. Um wenigsten einen Teil dieser Kapazitäten weiter nutzen zu können musste ein neues Geschäftsfeld erschlossen werden. Die Neuaufstellung des Betriebes wurde wesentlich durch Max Roux (1886–1946) vorangetrieben, der Neffe von Carl Bamberg war seit 1912 in der Geschäftsleitung der Firma. Man begann mit dem Bau von Messgeräten für Gasdruck und Gasmengen. Auf dieser Grundlage wurde 1921 die Fusion mit dem Gasgerätewerk Dessau der Deutschen Continental-Gas-Gesellschaft zur Askania-Werke AG herbeigeführt. Im Berliner Stammwerk wurden aber auch weiterhin astronomische und geophysikalische Instrumente gebaut. Dieser Produktionszweig wurde durch die Übernahme zahlreicher kleinerer Konkurrenten wie Otto Töpfer & Sohn, H. Heele und J. Wanschaff gestärkt. Mit der Übernahme von A. Koepsel kam 1927 auch noch eine Firma für elektrotechnische Messinstrumente hinzu. Askania fertigte zwischen den beiden Weltkriegen zahlreiche größere astronomische Instrumente, unter Anderem für die Bosscha-Sternwarte in Lembang auf Java 1922 einen Astrographen und 1928 einen Refraktor mit 360 mm Öffnung sowie für

23 Mühlfriedel, Wolfgang und Walter, Rolf: *Carl Zeiss. Die Geschichte eines Unternehmens*. Bd. 2 Rolf Walter: Zeiss 1905–1945. Köln 2000.

die Sternwarte in Belgrad einen großen Meridiankreis, einen Transit, einen Vertikalkreis, einen photographischen Refraktor und ein Zenittelekop.[24] Trotzdem schrumpfte das Berliner Werk bis 1926 auf 390 Mitarbeiter.[25]

Reinhold Töpfer trennte sich 1929 von Askania und machte sich erneut in Potsdam selbständig. 1931 baute er einen photographischen Doppelrefraktor für die Sternwarte Königsberg und 1934 einen Coelostaten für Babelsberg. Auch nach 1945 war Töpfer weiter für die Observatorien auf dem Telegraphenberg tätig und er erhielt Aufträge aus verschiedenen osteuropäischen Staaten, darunter auch der Moskauer Akademie der Wissenschaften. Nach dem Tod von Reinhold Töpfer 1951 wurde die Werkstatt von Georg Görisch weiter geführt, der bereits 1908 als Lehrling bei Töpfer begonnen hatte.[26]

Hatte Berlin bereits durch den I. Weltkrieg die führende Rolle in der Feinmechanik und Optik im Deutschen Reich eingebüßt, so sollte der II. Weltkrieg zum endgültigen Niedergang des Gewerbes führen. Während des Krieges wurden erneut enorme Kapazitäten für militärische Instrumente aufgebaut und auch diesmal hat Askania von dieser Entwicklung stark profitiert, insbesondere der seit 1928 aufgebaute Produktionszweig Luftfahrtgeräte wurde ernorm erweitert. Nach dem Ende des II. Weltkriegs wurde das Askania-Werk in Berlin komplett demontiert. Der Wiederaufbau gestaltete sich daher schwierig, aber 1950 erhielt das Werk den ersten Auftrag für ein großes astronomisches Instrument, ein Schmidt-Teleskop mit 50 cm Öffnung für die Sternwarte Bonn. Das Instrument mit Gabelmontierung wurde 1953 fertig gestellt. Weitere große Instrumente folgten, 1961 ein Schmidtspiegel für das Centro de Investigaciones de Astronomía in Venezuela und 1967 für die Sternwarte Hoher List bei Bonn ein Cassegrain-Spiegel. Wieder aufgenommen wurde auch die Produktion von transportablen Passageinstrumenten und Meridiankreisen. Ende der 1960er Jahre hat offenbar Zeiss Oberkochem die Konstruktionsdaten der Schmidtspiegel von Askania übernommen. 1971 wurde die Firma in verschiedene Abteilungen zerlegt, verkauft und das Werk in Berlin geschlossen. Damit war nur noch die kleine Werkstatt B. Halle Nachf. in Berlin übrig geblieben.

24 Feldhaus, F. M.: *Carl Bamberg* (wie Anm. 13); Askania-Werke A.G.: *Astronomical Instruments.* Berlin [ca. 1930], http://www.mast.br/catalogo/busca_fabricante.asp; Fröhlich, Carl: *Askania-Großinstrumententechnik im letzten Jahrzehnt*, Sterne und Weltraum (1963/4) S. 82–84.

25 Zum Vergleich, Zeiss hatte im Stammhaus in Jena 4600 Mitarbeiter und Zeiss-Ikon 3400, siehe: Mühlfriedel: *Carl Zeiss* (wie Anm. 23) S. 157 f.

26 Vgl. Wattenberg, Diedrich: *Reinhold Toepfer*, Die Sterne 27 (1951) S. 174–176.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 95–113*

Rolf Riekher

Fraunhofer und der Beginn der Astrospektroskopie

Im Jahr 2008 wurde in den Niederlanden der 400. Geburtstag des Fernrohrs gefeiert. Ende September 1608 hatte der Brillenmacher Hans Lipperhey aus Middelburg dem Prinzen Moritz von Nassau ein Instrument überreicht, mit dem man vom Turm in Den Haag die 6 km entfernte Kirchturmuhr in Delft und auch die Fenster der Kirche in Leiden in 18 km Abstand deutlich sehen konnte. Das geht aus einem damals gedruckten kleinen Nachrichtenblatt in französischer Sprache hervor. Darin heißt es weiter: „…und selbst Sterne, die wegen ihrer Kleinheit und der Schwäche unserer Augen unsichtbar sind, können mittels dieses Instrumentes gesehen werden.“[1]

Durch Persönlichkeiten die zu Waffenstillstandsverhandlungen in Den Haag weilten und bei der Präsentation des Instrumentes anwesend waren, wurde das Instrument sehr schnell in Europa bekannt. Auch die Verbreitung des kleinen Nachrichtenblattes hat zum Bekanntwerden beigetragen. Bereits im November 1608 hielt der angesehene Historiker Paolo Sarpi in Venedig ein Exemplar dieser Schrift in den Händen.

Galilei, der in Padua lebte und mit Sarpi bekannt war, bemühte sich ab Mitte 1609 um die Herstellung von Fernrohren. Im Herbst 1609 begann er das Fernrohr für astronomische Beobachtungen zu nutzen.[2]

Galileis aufregende Entdeckungen am Himmel veranlassten wiederum Kepler, sich ab April 1610 gründlich, sowohl theoretisch, als auch praktisch, mit dem Fernrohr zu befassen.[3]

1 Stillman Drake: The Unsung Journalist and the Origin of the Telescope. Los Angeles 1976. Embassies of the King of Siam sent to His Excellency Prince Maurits, arrived in The Hague on 10 September 1608. Transl. from the French orig. by Henk Zoomers, ed. by Huib Zuidervaart. Wassenaar 2008

2 Galilei, Galileo: Sidereus Nuncius. Venedig 1610; deutsche Übers. von H. Blumenberg. Frankfurt a.M. 1965

3 Kepler, Johannes: Schriften zur Optik 1604–1611 Eingeführt und ergänzt durch historische Beiträge zur Optik und Fernrohrgeschichte von Rolf Riekher. Frankfurt am Main 2008 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften; 198)

Mit diesen Ereignissen beginnen
1. der Siegeszug des Fernrohrs in der Astronomie,
2. unablässige Bemühungen um die Verbesserung der Fernrohre und
3. eine vertiefte Beschäftigung mit optischen Problemen.

Im Folgenden soll der Beginn der *Astrospektroskopie* skizziert werden. Diese Forschungsrichtung ist – zwei Jahrhunderte nach Lipperhey, Galilei und Kepler – direkt den Bemühungen um die Verbesserung der Fernrohre zu verdanken. Unser heutiges Wissen über den Aufbau des Kosmos und der Materie wurde durch sie in entscheidendem Maße gefördert.

Am Beginn der Astrospektroskopie steht der Optiker, Teleskopbauer und Physiker Joseph Fraunhofer (Bild 1). Die von ihm im Sonnenspektrum entdeckten viele hundert feinen Linien tragen den Namen „Fraunhofersche Linien".

Bild 1: Joseph Fraunhofer (26.3.1787–7.6.1826)

Doch zuvor ein kurzer Rückblick zur Vor- und Frühgeschichte der Beobachtung von Spektren:

Ende 1610 hat Kepler seine *Dioptrik* fertiggestellt. Es ist das erste moderne Buch über geometrische Optik. Nicht nur die Funktion des holländischen Fernrohrs wird im Zusammenwirken mit dem Auge richtig beschrieben. Auch drei neue Instrumente: das astronomische Fernrohr, das terrestrische Fernrohr und das Teleobjektiv werden bekannt gemacht.

Kepler zeigt in der *Dioptrik* wie bei einem gleichseitigen (60°) Prisma ein Lichtstrahl an den Ein- und Austrittsflächen gebrochen und reflektiert wird und fügt hinzu: „Bei einer solchen Größe der Brechung erscheinen die Regenbogenfarben in herrlichster Weise, gleichgültig ob nun das Auge hindurchsieht oder die Sonne hindurchleuchtet.“[4]

An etwas späterer Stelle weist Kepler darauf hin, daß bei einer zu großen Konvexlinse als Objektiv eines Fernrohrs das Bild durch „Regenbogenfarben“ und „Nebel“ verschlechtert wird und wie durch Abblenden der Objektivlinse eine Verbesserung erfolgen kann.[5] Weiter ist Kepler nicht auf diesen, später als chromatische Aberration bezeichneten Abbildungsfehler eingegangen.

1648 beschrieb Johannes Marcus Marci (1595–1667) wie durch ein Prisma vor einer Lochkamera ein Sonnenstrahl in ein farbiges Spektrum ausgebreitet wird. Ein durch eine kleine Öffnung im Bildschirm herausgeblendeter farbiger Strahl läßt sich jedoch durch ein zweites Prisma nicht weiter zerlegen.[6]

Isaac Newton (1643–1727) erkannte um 1665, daß die chromatische Aberration ein entscheidendes Hinderniß für die Verbesserung der Linsenfernrohre ist. Durch seine berühmten Prismenversuche hat er wichtige Erkenntnisse über die Natur des Lichtes gewonnen.[7] Versuche, in denen Newton Glas- und Wasserprismen kombinierte, führten ihn zu der Annahme, daß mit einer Ablenkung des Lichtes durch Refraktion prinzipiell immer eine Dispersion, also Farbenzerstreuung, verbunden ist. Er zog daraus den Schluß, daß die Beseitigung der chromatischen Aberration bei Linsenfernrohren nicht möglich sei.

Diese Schlußfolgerung Newtons ist falsch. Aber weil sie von einem großen Gelehrten statuiert wurde, hat dieser Irrtum den Fortschritt um Jahrzehnte verzögert. Zweifel brachten David Gregory und Leonhard Euler vor: Sie hielten achromatische Objektive für möglich, weil sie irrtümlicherweise annahmen, daß das Auge eine von Farbenfehlern freie Abbildung leistet.

Überwunden wurde Newtons Irrtum in England durch Chester Moor Hall um 1730 und dann durch John Dollond 1758. Ihnen gelang es, achromatische

4 Wie Anm. 3, S. 452

5 Wie Anm. 3, S. 511

6 Marci, Johannes Marcus: Thamantias liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura, ortu, et causis. Prag 1648

7 Newton, Isaac: Optics, or a treasure of the reflexions, inflexions and colours of light. London 1704; Boegehold, H.: Der Glas-Wasser-Versuch von Newton und Dollond. In: Forsch. z. Gesch. d. Optik 1 (1928)

Objektive zu realisieren. Dollonds Achromate wurden ein großer wissenschaftlicher und auch ökonomischer Erfolg. Sie waren der wichtigste Fortschritt der Linsenfernrohre, aber durch sie wurden die ausführenden Optiker vor fundamentale neue praktische und theoretische Probleme gestellt. Die zwei (oder drei) Linsen eines Achromaten mußten aus Gläsern mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften hergestellt werden. Neben der chromatischen Aberration mußte auch die sphärische Aberration bei der Konstruktion des Objektivs berücksichtigt werden. Die Vorausbestimmung aller Linsenradien ging nicht ohne eine sehr genaue Kenntnis der Glasdaten.[8]

Aus historischer Sicht können wir zwei Entwicklungsphasen unterscheiden:

In der ersten wurden keilförmige Prismen aus Kronglas und aus Flintglas kombiniert und dann einer der Winkel solange verändert, bis durch die Prismenkombination eine Ablenkung, jedoch keine Dispersion erfolgte. Das Verhältnis der Winkel der beiden Prismen zueinander diente als Grundlage für die Bestimmung der Brechkräfte der sammelnden Kronglas- und der zerstreuenden Flintglaslinse eines achromatischen Objektivs. Verbleibende Restfehler wurden durch „Pröbeln", also durch probeweise Änderung von Radien oder durch die Retusche einer Linsenfläche korrigiert. Das „Pröbeln" erforderte große Erfahrung und hohe Geschicklichkeit des ausführenden Optikers.

In der zweiten Entwicklungsphase erfolgte eine sehr genaue Messung der Lichtbrechung für ausgewählte Spektralfarben als Grundlage für die exakte Vorausberechnung des Objektivs und dann die meßtechnische Kontrolle aller Fertigungsschritte. Diesen Weg mußte Fraunhofer beschreiten, weil er in Bayern über keine im „Pröbeln" erfahrenen Optiker verfügte, sondern mit ungelernten jungen Kräften arbeiten mußte.

Das mathematisch-mechanische Institut in München und das optische Institut in Benediktbeuern[9]

1802 hatten Georg Reichenbach (1771–1826) und Joseph Liebherr (1767–1840) in München eine mathematische Werkstätte gegründet; 1804 schloss sich Joseph Utzschneider (1763–1840) den beiden an. Die drei beschlossen den Betrieb als mathematisch-mechanisches Institut zu vergrößern und geodätische und astronomische Messinstrumente herzustellen. Die mechanische Seite war mit dem genialen Ingenieur Reichenbach und dem viel-

8 Riekher, Rolf: Fernrohre und ihre Meister. Berlin 1990
9 Wie Anm. 8, S. 144–177

seitigen Mechaniker und Uhrmacher Liebherr gut abgesichert. Ein offenes Problem war die Herstellung der für die Instrumente benötigten Objektive. Auch die Beschaffung des zur Herstellung achromatischer Objektive benötigten Flintglases war ungelöst. Utzschneider unternahm folgende Aktivitäten:

- 1805 engagierte er in der Schweiz den Glasschmelzer Pierre Louis Guinand (1748–1824).
- Im gleichen Jahr kaufte er das säkularisierte Kloster Benediktbeuern und errichtete dort mit Guinand eine Glashütte.
- Um die Herstellung achromatischer Objektive hatte sich kurze Zeit der Optiker Johannes Niggl (1778–1835) bemüht. Dann wurde seit 1806/7 der junge Joseph Fraunhofer mit dieser Aufgabe betraut.
- 1808 wurde in Benediktbeuern das optische Institut eingerichtet. Es wurde für 11 Jahre Fraunhofers Wirkungsstätte und dann ab 1819 nach München verlegt.

Bemühungen um hochgenaue Brechzahlmessungen

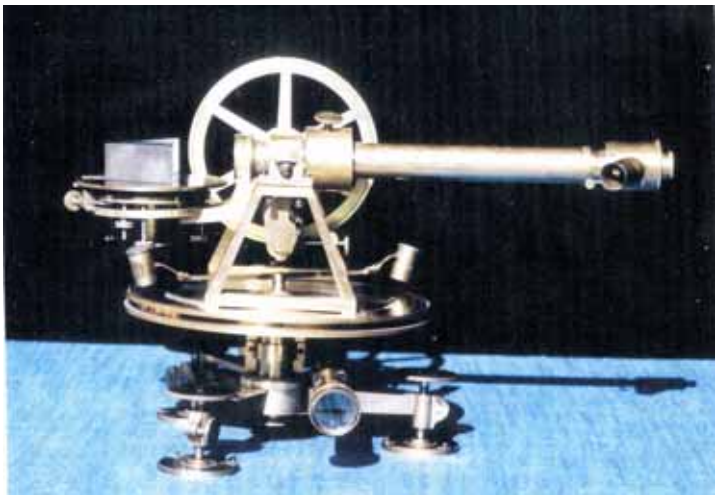

Bild 2: Fraunhofers Prismenspektrometer (Theodolitfernrohr mit Teilkreis) (Original Deutsches Museum München)

Zur Berechnung hochwertiger achromatischer Fernrohrobjektive suchte Fraunhofer nach Möglichkeiten Brechzahl und Dispersion optischer Gläser mit wesentlich gesteigerter Genauigkeit zu messen. Für Winkelmessungen an

Prismen und deren unterschiedliche Ablenkung des Lichtes verschiedener Farben benutzte er ein Theodolitfernrohr mit Teilkreis (Bild 2, 3). Seine Versuche, bei diesen Messungen Sonnenlicht anzuwenden, führten ihn zur Entdeckung hunderter feiner Linien in dem durch ein Prisma erzeugten Sonnenspektrum. Die Gruppierung und Lage dieser Linien hat er untersucht und vermessen und in einer sehr genauen Zeichnung dargestellt (Bild 4). Besonders auffallende Linien hat er mit großen und kleinen Buchstaben bezeichnet. Ausgewählte „Fraunhoferscher Linien" dienten Fraunhofer als definierte und reproduzierbare Meßmarken im Farbenspektrum. In Verbindung mit den eingesetzten technischen Mitteln zur Winkelmessung und der Beobachtung des Spektrums mittels Fernrohr war Fraunhofer in der Lage, Brechzahl und Dispersion optischer Medien mit einer bis dahin unvorstellbaren Genauigkeit zu bestimmen.

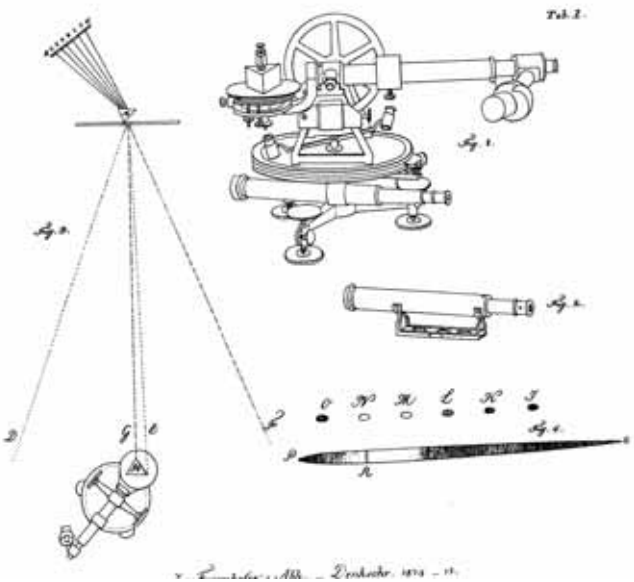

Bild 3: Fraunhofers Zeichnung zur Messung von Prismen und Beobachtung von Spektren (1817)

Weder Newton, noch Wollaston konnten diese vielen feinen Linien im Sonnenspektrum entdecken. William Hyde Wollaston (1766–1828) hatte 1802 in den *Philosophical Transactions* eine Arbeit unter dem Titel *A method of examining refractive and dispersive Powers, by prismatic Reflection* veröffent-

licht.[10] Er beschreibt hier die Beobachtung des Grenzwinkels der Totalreflexion in Verbindung mit einem geometrischen Mechanismus zur Anzeige der mittleren Brechzahl auf zwei bis drei Dezimalstellen. Am Schluß dieser Arbeit schildert er die Beobachtung eines von Sonnenlicht beleuchteten Spaltes von 1,3 mm Breite aus einer Entfernung von ca. 3 bis 3,5 m durch ein direkt vor das Auge gehaltenen Prisma. Er will zeigen, daß das Sonnenspektrum weder aus 7 noch aus 3, sondern aus 4 Farben besteht, deren Grenzen er durch Linien in einer kleinen Skizze beschreibt. Die Spaltbreite ist zu groß und das Auflösungsvermögen des Auges nicht hinreichend, um die vielen feinen Fraunhoferschen Linien zu beobachten. Fraunhofer äußert sich am 21. Januar 1823 darüber in einem Brief an H. C. Schumacher: „Hätte auch Wollaston zwey oder fünf Linien im Spectrum als das erkannt was sie sind /: welches aber nicht der Fall ist :/, so bliebe mir noch die Entdeckung der übrigen 569 Linien. Wollaston sah mit freiem Auge durch das Prisma, was in diesem Falle zu sehen ist, ist leicht zu begreifen.“[11]

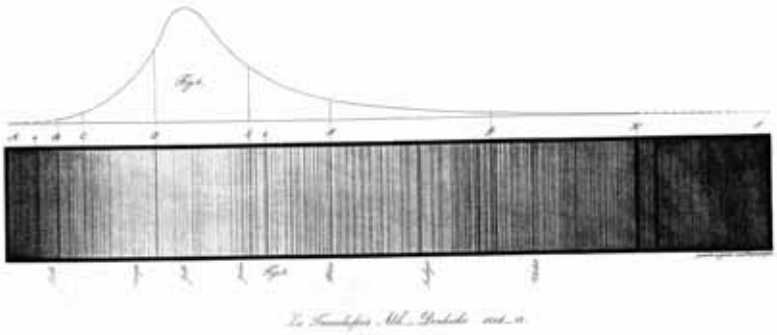

Bild 4: Fraunhofers Zeichnung des Sonnenspektrums (Ausschnitt)

Erst die gegenüber dem Auge vergrößerte Apertur durch Fraunhofers Benutzung eines Fernrohrs und die Anwendung von Prismen aus schlierenfreiem Glas brachten die hinreichende Auflösung zur Entdeckung hunderter feiner Linien im Sonnenspektrum.

10 Wollaston, William Hyde: A Method of examining refractive and dispersive Powers, by prismatic Reflection. In: Phil. Trans. of the Royal Society 92 (1802), 365–380, s. auch die deutsche Darstellung von Karl Brandan Mollweide in: Ann. d. Physik 31 (1809), 235–415

11 Fraunhofer an Heinrich Christian Schumacher, Brief vom 21. Januar 1823. Staatsbibliothek Preuß.Kulturbesitz (SBPK) Berlin, NL Schumacher

Seine wichtigen Entdeckungen hat Fraunhofer 1817 veröffentlicht.[12]

Erste Beobachtungen des Spektrums der Venus und heller Fixsterne

Am Schluß seiner Arbeit von 1817 fügte Fraunhofer einige Beobachtungen des Spektrums der Venus und einiger heller Fixsterne hinzu. Er benutzte sein Theodolit-Fernrohr mit 29,3 mm Öffnung in Verbindung mit einem vor dem Objektiv befindlichen Prisma. Das Licht der Gestirne lenkte er mit einem Spiegel in das Instrument.

Im Planetenlicht fand er die gleichen Linien, die er schon im Spektrum der Sonne entdeckt und mit Buchstaben bezeichnet hatte. Vor allem die Linien *D*, *E*, *b* und *F* waren klar zu erkennen. Er überzeugte sich, dass diese Linien die gleiche Position wie im Sonnenspektrum besaßen. Erkannt wurde auch, dass die Linie *b* aus einer stärkeren und einer schwächeren Komponente besteht. Die Aufspaltung der stärkeren in zwei Komponenten, so wie im Sonnenspektrum, konnte nicht gesehen werden. Die Linien im violetten und äußersten roten Bereich waren schwer zu erkennen.

Im Spektrum des Sirius stellte er drei breite Streifen fest, einen im grünen Bereich und zwei im blauen. Eine Ähnlichkeit mit dem Sonnenspektrum war nicht gegeben. Auch die Spektren anderer Sterne 1. Größe zeigten Streifen, die von Stern zu Stern verschieden waren.

Dieser erste Beitrag zur Sternspektroskopie bildet in Fraunhofers Veröffentlichung von 1817 nur eine kurze, am Schluß hinzugefügte Ergänzung.

Astrospektroskopische Beobachtungen 1819 in Benediktbeuern mit einem Fernrohr mit großem Objektivprisma

Obwohl Fraunhofer mit anderen Aufgaben stark belastet war setzte er die Versuche fort. Am 30. März 1819 schrieb er an den Instrumentenbauer Johann Georg Repsold in Hamburg und fast gleichlautend auch an den Astronomen Heinrich Christian Schumacher in Kopenhagen: „Ich habe verflossenen Winter einen neuen Apparat zu Versuchen über die Natur des Lichtes der Fixsterne vollendet und mich mit demselben völlig überzeugt, daß das Licht dieser Sterne, in Bezug auf die Streifen des Farbenspectrums, unter sich und vom Lichte der Sonne verschieden sey.“[13]

12 Fraunhofer, Joseph: Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre. In: Ann. d. Physik 56 (1817), 264–313

Fraunhofer hat 1823 als Zusatz zu einer Veröffentlichung über Beugungserscheinungen diesen „neuen Apparat“ kurz beschrieben, aber nicht abgebildet.[14] Er spricht von einem achromatischen Fernrohr von 108 mm Öffnung vor dessen Objektiv Fraunhofer ein Prisma von gleichem Durchmesser angeordnet hat. Für das Prisma gibt er einen brechenden Winkel von 37° 40’ an. Er hat es ins Minimum der Ablenkung gestellt. Zum Einstellen des Sternes und auch zu Winkelmessungen war das Fernrohr mit einem zweiten, kleineren Sucherfernrohr unter einem Winkel von ca. 26° fest verbunden. Ein Fadenkreuz im Sucherfernrohr, bzw. fünf Fäden bekannter Distanz, sowie ein Schraubenmikrometer am Prismafernrohr ermöglichten genaue Winkelmessungen. Von einem Stern wurde im Gesichtsfeld des großen Fernrohrs ein linienförmiges Spektrum von über 3,5 cm Länge erzeugt, das er durch eine Zylinderlinse verbreiterte.

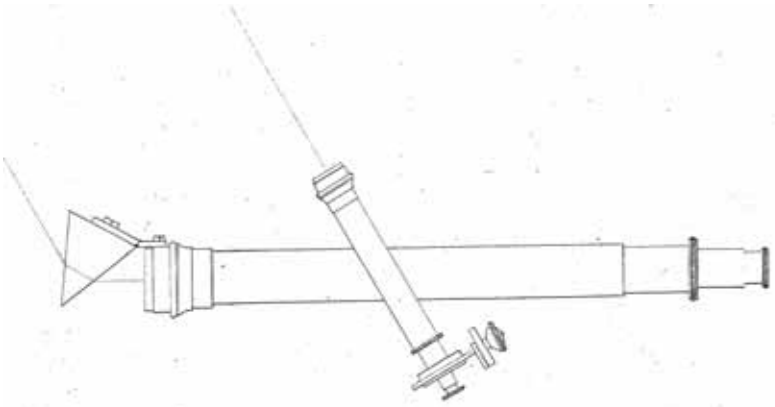

Bild 5: Fraunhofers „Prisma-Fernrohr“ von 1819
Erste Anwendung eines Objektivprismas zur Beobachtung von Sternspektren (Zeichnung im Archiv der Sternwarte Bogenhausen, aufgefunden im September 2003 durch den Autor)

Bei meinen Recherchen im Archiv der Sternwarte Bogenhausen hatte ich im September 2003 das Glück, eine bisher unbekannte Zeichnung dieses Instru-

13 Fraunhofer an Johann Georg Repsold , Brief vom 30. März 1819, Staatsarchiv Hamburg, Best. Repsold 621-1, AV al; Brief Fraunhofers an Schumacher, 30. März 1819, SBPK Berlin, Slg. Darmstaetter, NL Fraunhofer

14 Fraunhofer, Joseph: Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben. In: Annalen der Physik 74 (1823), Zusatz S. 374–378 vom 14. Juli 1823

mentes zu finden (Bild 5).[15] Sie befand sich unter ganz anderen Dokumenten, stammt aber offensichtlich von Fraunhofer.

Auf dieser Zeichnung ist der Winkel des Prismas jedoch mit 46° und der zwischen Sucherfernrohr und dem Prismafernrohr mit 60° gezeichnet. Beide Winkel sind also größer als von Fraunhofer 1823 angegeben.

In handschriftlichen Aufzeichnungen Fraunhofers[16] von Anfang März 1819 fand ich folgende Notiz: „Da das gebrauchte Prisma einen großen Winkel hat, so ist es nur geeignet die Streifen in den helleren Farben zu entdecken; für die übrigen Farben müßte der Winkel kleiner seyn." Dieser Unterschied spricht dafür, daß die Zeichnung das Instrument so darstellt, wie es im Februar/März 1819 beschaffen war. Fraunhofer hat also bei seinen ersten Beobachtungen 1819 noch ein Prisma mit einem größeren Winkel verwendet und dieses später ausgetauscht oder umgeschliffen.

Bild 6: Manuskript Fraunhofers über physisch-optische Versuche, 1819–1820
Ausschnitt mit Beobachtungen von Sternspektren mit dem großen „Prismenfernrohr" von 108 mm Öffnung (SBPK Berlin, NL Fraunhofer)

15 Häfner, Reinhold: Die Universitäts-Sternwarte München im Wandel ihrer Geschichte. München 2003, S. 17 u. 100. Häfner, Reinhold und Rolf Riekher: Die Pioniere der Sternspektroskopie: Die stellarspektroskopischen Untersuchungen von Fraunhofer (1816–1820) und Lamont (1836). In: Beiträge zur Astronomiegeschichte, Band 6. Frankfurt a. M. 2003 (Acta Historica Astronomiae; 18), hrsg. Wolfgang R. Dick und Jürgen Hamel, S. 137–165

16 Fraunhofer (Manuskript), Tagebuch für die physisch-optischen Versuche von Febr. 1819 bis [5.4.1820]. SBPK Berlin, Slg. Darmstaetter, NL Fraunhofer, Kasten 2

Das Prisma hat Fraunhofer aus einer besonders gelungenen Flintglasschmelze von 1817 hergestellt. Nur Fraunhofer war damals als Glasschmelzer und auch als Optiker in der Lage ein so homogenes und genaues Prisma herzustellen um die feinen Linien in Spektren von Planeten und Fixsternen zu beobachten.

Fraunhofers Ziel bei der Anwendung seines „Prismafernrohrs“ war es festzustellen, wie sich die von ihm entdeckten Linien in den Spektren des Lichtes verschiedener Sterne untereinander und vom Licht der Planeten und der Sonne unterscheiden. Die handschriftlichen Aufzeichnungen Fraunhofers aus der Zeit von Februar 1819 bis April 1820 geben einen Einblick in seine Aktivitäten zur Sternspektroskopie (Bild 6).

Am 20. Februar 1819 notierte Fraunhofer: „An dem Fernrohr zur Untersuchung des Fixsternlichtes wurden die nöthigen Correctionen mittels Lampenlicht gemacht, und dazu das 3“ige Cylindrische Glas gebraucht. Es wurde beobachtet, daß das Öllicht die helle Linie im Farbenbild nicht so deutlich zeigt wie Talglicht.“

Am 1. und 2. März 1819 konnte er mit seinem neuen Prismafernrohr Sternspektren von Sirius, Beteigeuze, Capella, Rigel und Aldebaran beobachten. Obwohl die Beobachtungsbedingungen nicht sehr gut waren, stellte er typische Unterschiede in den Spektren fest und beschrieb sie zutreffend.

„Das Farbenbild des roten Sternes Beteigeuze ist voll von Linien und Streifen, die sich jedoch ganz anders zu gruppieren scheinen als die von Sonnenlicht.“

2. März: „Die Capella hat im Farbenbild sehr kenntliche Spuren von Streifen. Der Rigel scheint vielle Streifen zu haben. Auch Aldebaran scheint Streifen zu haben…Die Streifen von Beteigeuze waren heute sehr kenntlich; es scheinen deren im ganzen Farbenbilde zu seyn.

Im Sirius war heute der dunkle Streifen im Grünen sehr gut zu sehen; die Form desselben scheint dem Streifen H im Sonnenlicht sehr ähnlich. Ich erkannte heute in diesem Lichte im blauen einen Streifen, aber nur undeutlich. Auch am Ende der rothen Farbe glaubte ich einige mal einen Streifen wahrgenommen zu haben; doch nicht immer, woran vielleicht die Ondulation schuld seyn mag…“.

Am 15. März 1819 hat Fraunhofer wieder das Spektrum des Sirius beobachtet. Ocular und cylindrisches Glas hatte er ausgetauscht. Die Streifen im Siriusspektrum waren sehr gut zu sehen. „Ich sah außer dem breiten Streifen im Grünen und den beyden großen Streifen im Blauen noch einen breiten Streifen tiefer im Blauen so daß in dieser Farbe drey Streifen sind wovon die letzten beyden nicht sehr weit von einander entfernt sind. Ich habe auch an

einem Stern 2 ter Größe östlich vom Sirius in der grünen Farbe einen sehr deutlichen Streifen gesehen."

Am 9. April 1819 findet sich eine Eintragung über die Beobachtung des Mondes, die jedoch wegen der flächenhaften Ausdehnung mit seinem stationären Spektrometer wie bei der Untersuchung des Sonnenspektrums erfolgte. „Ich sah heute im Farbenbild vom Lichte des Mondes, welches ich durch das Heliostat einfallen ließ, all die Linien und Streifen die im Spectrum von Sonnenlicht gesehen werden. Ich erkannte die Linien D, E, b, F, G und selbst H noch schwach, auch einen großen Theil der zwischen diesen Räumen liegenden schwächeren Linien. Man erkennt schon im ersten Augenblick, daß alle Linien sich eben so wie im Sonnenlicht gruppieren."

Ende Mai 1819 mußte Fraunhofer seine Versuche in Benediktbeuern abbrechen. Utzschneider mußte 1819 die Klostergebäude an den Staat verkaufen und das optische Institut nach München verlegen. Das war für Fraunhofer als Leiter eine hohe Belastung. Etwa 40 Mitarbeiter arbeiteten an astronomischen Fernrohren, Handfernrohren und Mikroskopen. Vorbereitung und Umzug stellten Fraunhofer vor viele Probleme, sodaß ihm keine Zeit für seine wissenschaftlichen Interessen blieb. Erst im März 1820 konnte er die Beobachtung von Sternspektren wieder fortsetzen.

Fortsetzung der Beobachtungen 1820 auf der Sternwarte Bogenhausen.

Am 26. März 1820 notierte Fraunhofer: „Ich habe vorige Woche das große Prisma Fernrohr nach Bogenhausen auf den westlichen Thurm gestellt und vorher noch die Entfernung der Fäden im Sucher gemessen…".

Die Bogenhausener Sternwarte (Bild 7) war durch Fraunhofers Aktivität ab März 1820 die erste Sternwarte der Welt auf der spektroskopische Beobachtungen der Gestirne durchgeführt werden konnten. Direktor der neuen Sternwarte war J. G. Soldner (1776–1833) (Bild 8). Zwischen Soldner und Fraunhofer bestand seit längerer Zeit ein freundschaftlicher Kontakt. Es war naheliegend, daß der Optiker Fraunhofer den Astronomen Soldner für seine sternspektroskopischen Entdeckungen interessieren wollte.

Soldner hatte sich mit Positionsmessungen befaßt. Ihm ging es um das damals diskutierte Problem, ob bei Positionsmessungen verschiedenfarbiger Sterne unterschiedliche Refraktionstafeln verwendet werden müssen.

Bei der Untersuchung von Sternspektren mit Fraunhofers Prismafernrohr mußten zwei Personen gleichzeitig beobachten. Fraunhofer und Soldner haben gemeinsam die Spektren einer Reihe heller Sterne beobachtet. Die Ergebnisse wurden nur von Fraunhofer in seinen handschriftlichen Aufzeichnungen beschrieben.

Bild 7: Die Kgl. Sternwarte zu Bogenhausen im Jahre 1820

Bild 8: Johann Georg Soldner (16.7.1776–18.5.1833)

Fraunhofer fährt am 26. März fort: „Ich habe am Abend der Aufstellung noch die Venus und Beteigeuze besehen, doch so, daß die Axe des cylindrischen Glases parallel mit der Axe des Prismas lief. Im Farbenbilde vom Lichte der Venus sah ich die Linien D, E, b, und F sehr gut, auch noch einige zwischen D und E liegende Linien. In der blauen Farbe war das Bild sehr schmal. In Beteigeuze sah ich sehr viele Linien. Auch im Sirius sah ich den breiten Streifen im Grünen sehr gut und auch die im Blauen."

Sirius gehörte wegen seiner Helligkeit und wegen des von der Sonne stark abweichenden Spektrums zu den bevorzugten Objekten.

Durch Messung der Differenzen der Ablenkungswinkel hat er für vier Linien deren Abstände von der D-Linie bestimmt. Die D-Linie ist nicht im Siriusspektrum vorhanden und kann auch bei der Beobachtungstechnik mittels Objektivprisma nicht durch ein Vergleichsspektrum in das Gesichtsfeld gebracht werden. Das Instrument mußte deshalb zunächst durch Beobachtung der Venus im Sucherfernrohr und gleichzeitige Einstellung des Mikrometerfadens im Prismafernrohr auf die D-Linie im Venusspektrum justiert werden. Danach wurde in gleicher Weise Sirius beobachtet und die Abweichung der zu messenden Linie im Siriusspektrum von dem einjustierten Wert der D-Linie im Venusspektrum des Prismafernrohrs bestimmt.

26. März: „Wenn ich den breiten Streifen in der grünen Farbe des Sirius mit dem corrigierten Faden des Micrometers in Berührung brachte, so berührte im Sucher Sirius den 3^{ten} Faden so daß also dieser Streifen 34' 3" von der Linie D des Lichtes der Venus entfernt ist".

30. März: „Im Sirius ist der erste Streifen im Blauen 56' 17" von D des Sonnenlichtes entfernt; der zweyte ohngefähr 1° 12' 13"."

5. April: „Im Sirius ist der dritte Streifen im Blauen ohngefähr 1° 18' 7" von D des Sonnenlichtes entfernt. Der große Streifen am Ende des Grünen im Sirius ist, soweit ich mich bis jetzt versichern konnte mit F der Venus an einem Ort. Gegen's Ende im Rothen erkannte ich heute sehr gut eine Linie."

Fraunhofers Aufzeichnungen des Siriusspektrums vom 26. und 30. März und vom 5. April zeigen, dass er die Absorptionslinien der Balmerserie des Wasserstoffs: Hα (C) λ= 6562,78; Hβ (F) λ= 4861,32; Hγ (G') λ= 4340,46; Hδ (h) λ= 4101,74 und Hε (H) λ= 3970,07 nicht nur gut beobachtet hat, sondern auch, mit Ausnahme der roten Hα (C)- Linie, deren Abstände von der D-Linie im Sonnen-, bzw. Venusspektrum gemessen hat.

Um eine Vorstellung von Fraunhofers Messungen zu bekommen, habe ich für sein Objektivprisma die Ablenkungswinkel der D-Linie und der Linien des Wasserstoffspektrums neu berechnet und deren Differenzen mit Fraunho-

fers gefundenen Werten verglichen. Dabei ergaben sich folgende Abweichungen: Hβ –1“; Hγ –7‘ 41“; Hδ –8‘ 41“; Hε –15‘ 57“. Wenn man bedenkt, dass die Ablenkungswinkel des Objektivprimas zwischen ca. 26° und 27°,6 liegen und die Messungen nacheinander an verschiedenen Tagen und auf komplizierte Weise gemacht wurden, so ist es erstaunlich wie klein die Differenzen sind.

Viel Zeit verging bis zu neuen Beobachtungen des Siriusspektrums. Die Zeichnungen 1860 von G.B. Donati (1826–1873),[17] von L.M. Rutherfurd (1816–1892)[18] aus dem Jahre 1863 sowie aus dem gleichen Jahr von W. Huggins (1824–1910),[19] enthalten nicht mehr Informationen als Fraunhofers Beobachtungen. Die von Fraunhofer bereits 1820 beobachtete und gemessene Linie Hε fehlt bei allen drei Beobachtern. Fraunhofer war seiner Zeit weit voraus.

Mit den letzten Beobachtungen am 5. April 1820 enden Fraunhofers handschriftliche Aufzeichnungen über die Beobachtung von Sternspektren. Fraunhofers ließ das Prismafernrohr in Bogenhausen. Ob Soldner es weiter für die Beobachtung von Sternspektren nutzte und was später aus dem Instrument wurde konnte nicht festgestellt werden.

Fraunhofers Beginn der Herstellung von Beugungsgittern und der Untersuchung von Beugungsspektren

Fraunhofers handschriftliche Aufzeichnungen enthalten außer den geschilderten Beobachtungen von Sternspektren auch Notizen über andere „physische-optische Versuche“ die er in dieser Zeit durchgeführt hat. Eine Aufzeichnung vom 9. März 1819 soll hier kurz erwähnt werden, weil sie am Beginn einer Entwicklung zur Spektroskopie von historischer Bedeutung steht: „Ich habe heute die Vorrichtung auf welcher eine große Zahl Fäden in geringer Entfernung voneinander gespannt sind, vor das Objectiv des Theodolith Fernrohrs gestellt, während dasselbe auf die schmale Öffnung am Fensterladen, durch welche das Licht vom Heliostat einfiel, gerichtet war; dieses gab einen frappanten Anblick.“

17 Donati, Giovanni Battista: Intorno alle Strie degli Spettri Stellari. Nuovo Cimento 15 (1862), pp. 292–303, 366–376

18 Rutherfurd, Lewis Moris: Astronomical Observations with the Spectroscope. In: The American Journal of Science and Arts 35 (1863), pp. 71–77, Tab.

19 Huggins, William: Notes on the Lines in the Spectra of some of the Fixed Stars. In: Proc. Roy. Soc. London 12, 1863

Fraunhofer beschreibt dann sehr korrekt Aussehen, Größe und Helligkeit farbiger Beugungsspektren 1. bis 5. Ordnung, die er rechts und links von einem weißen Bild des Eintrittsspaltes beobachten konnte. Danach fügte er hinzu**:** „Die Linien und Streifen des Farbenbildes wie sie durch ein Prisma gesehen werden, erkennt man auch in dem ersten und dritten obiger Spectra sehr bestimmt; in dem dritten, weil es breiter ist, noch leichter als in dem ersten. Diese Linien machen die Erscheinung noch interessanter; ihre Gruppierung ist eben so wie durch Prismen."

Diese Entdeckung war für Fraunhofer der Anlaß diese Richtung intensiv weiter zu verfolgen. Er bemühte sich erfolgreich immer bessere Beugungsgitter herzustellen, ihre Eigenschaften zu untersuchen und theoretisch zu untermauern. 1823 war er in der Lage die Wellenlängen von Fraunhoferschen Linien mit einer noch heute beeindruckenden Genauigkeit zu messen.

Fraunhofer und sein Prophet Chladni

Leider muß man sagen, daß das Echo auf Fraunhofers stellarspektroskopische Untersuchungen damals gering war. Wie Soldner, so waren die Astronomen seiner Zeit in erster Linie an Positionsastronomie interessiert. Erst Jahrzehnte später wurde erkannt, welche grundlegenden Erkentnisse sich durch stellarspektroskopische Untersuchungen gewinnen lassen.

Bild 9: Ernst Florens Friedrich Chladni (30.11.1756–4.4.1827)

Eine frühe Ausnahme möchte ich erwähnen. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) (Bild 9), bekannt durch seine akustischen Untersuchungen und als Begründer der wissenschaftlichen Meteoritenkunde, äußert sich in einem Brief am 30. Januar 1818[20] mit fast prophetischem Weitblick:

„Herrn Fraunhofers zu Benediktbeurn Entdeckung der verschiedenen Systeme von Streifen in dem Lichtspektrum der Sonne und anderer Sterne, wovon in Ihren Annalen Nachricht gegeben wird, scheint mir unter die wichtigsten zu gehören, die seit geraumer Zeit zum Vorschein gekommem sind. Der wackere Entdecker scheint selbst nicht einmal ganz zu ahnen, welches weite Feld, nicht etwa nur für Untersuchungen über die verschiedene Brechbarkeit des Lichts, sondern auch für Erweiterung unserer physisch-astronomischen Kenntnisse dadurch eröffnet worden ist."

Chladni schlägt vor, von recht vielen Fixsternen Beobachtungen der Streifensysteme durch Zeichnungen und möglichst auch Winkelmessungen zu dokumentieren. Man könne so, vielleicht noch nach Jahrhunderten, Veränderungen feststellen.

„Denn es scheinen (nach Herschel) abgesehen von den Fixsternen, welche sich periodisch verändern, manche andere Fixsterne an Licht ab- oder zugenommen, manche auch ihre Farbe verändert zu haben…".

Chladni meint, daß man Fraunhofer, oder einem anderen, für eine solche Arbeit noch in spätesten Zeiten danken würde.

Ich möchte zum Schluß noch eine Aufnahme zeigen (Bild 10), an der Chladni als Meteoritenforscher seine helle Freude hätte. Es ist ein Meteorspektrum von 1961, dessen Kontaktkopie der Originalplatte mir Dr. Ceplecha bei meinem Besuch auf dem Obseratorium Ondrejov 1962 verehrt hat. Das Spektrum wurde mit einem Beugungsgitter erzeugt, also mit der Forschungsmethode, deren Entwicklung Fraunhofer zu verdanken ist. Man sieht unten links die Spur des Meteors, d.h. die 0. Ordnung in einer Höhe zwischen 74 und 66 km. Rechts davon sind die Spektren der 1. und 2. Ordnung zu sehen. Auf der Originalplatte kann man die Linien gut vermessen und Elementen zuordnen.

Chladni wäre sicher beeindruckt, wenn er erfahren könnte, daß man an Hand eines Meteorspektrums feststellen kann woraus das Objekt besteht, welches auf die Erde zu fliegt.[21] Dr. Ceplecha, dem ich die Aufnahme verdanke, ist es mit seinen Kollegen 1959 gelungen, durch Auswertung von Auf-

20 Ernst Florens Friedrich Chladni, Brief an Ludwig Wilhelm Gilbert. In: Annalen der Physik 1818, 5. Stück, S. 1ff.

21 Chladnis Meteoritensammlung befindet sich im Museum für Naturkunde Berlin.

nahmen die Bahn eines Meteoriten zu bestimmen und Trümmer davon auf der Erde zu bergen.

Bild 10: Meteor-Spektrum, South Taurid S 526, 1961 Nov. 13/14; Aufn. Tessar 1:4,5 f'= 36 cm, Gitter Bausch & Lomb 400 gr/mm, Observatorium Ondrejov

Durch Fraunhofer ausgelöste Entwicklungen zur Spektroskopie

Fraunhofer hatte schon bei seinen ersten spektroskopischen Beobachtungen festgestellt, daß sich dort, wo sich im gelben Teil des Sonnenspektrums die von ihm mit *D* bezeichnete dunkle feine Doppellinie befindet, im Licht von Flammenspektren eine feine helle gelbe Doppellinie auftritt. Gustav Kirchhoff (1824–1887) hat 1859 unter dem Titel „Ueber die Fraunhoferschen Linien" seine grundlegenden physikalischen Arbeiten über Emmission und Absorbtion[22] begonnen und damit die richtige Erklärung gegeben. Im Jahr 1860 erschien von ihm gemeinsam mit dem Chemiker Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899) die Arbeit *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen*.[23]

22 Kirchhoff, Gustav Robert: Ueber die Fraunhoferschen Linien. Ueber den Zusammenhang zwischen Emission und Absorbtion von Licht und Wärme. In: Monatsberichte der Academie der Wissenschaften zu Berlin 1859; Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften; 100, hrsg. von Max Planck

Im Laufe der folgenden Jahrzehnte konnten immer mehr Fraunhofersche Linien chemischen Elementen zugeordnet werden. Mit den Mitteln der Astrospektroskopie wurde es möglich, Aussagen über Zusammensetzung und Zustand kosmischer Körper zu machen.

Die von Fraunhofer im Siriusspektrum beobachteten und auch gemessenen Linien hatten wir schon als Balmerserie des Wasserstoffspektrums bezeichnet. Dem Schweizer Johann J. Balmer (1825–1898) war es 1885 gelungen, deren Wellenlängen, bzw. Wellenzahlen durch eine mathematische Formel darzustellen. Für Niels Bohr war Balmers Formel hilfreich bei der Auffindung seines Atommodells. So haben die „Fraunhoferschen Linien" zu grundlegenden Erkenntnissen über den Atombau geführt.

Fraunhofer hat nicht nur ab 1817 eine Reihe wichtiger spektroskopischer Phänomene entdeckt und beschrieben. Er hat auch den Spektroskopikern mit Prismenspektrometer, Objektivprisma und Beugungsgittern die wichtigsten technischen Mittel für ihre Untersuchungen in die Hand gegeben.

---

23 Kirchhoff, Gustav Robert; Bunsen, Robert Wilhelm: Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. In: Poggendorfs Annalen 110 (1860), Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften; 72, hrsg. von Wilhelm Ostwald

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 115–129*

Felix Lühning

Zwischen High-tech und Konservatismus Aufstieg und Fall des Kieler Meridiankreises

(1.) Die Königliche Universitätssternwarte zu Kiel war Ende des 19. Jahrhunderts vor allem als Herausgabestelle der Zeitschrift „*Astronomische Nachrichten*“ bekannt. Eine aktive Forschung fand nur sporadisch statt. Dies lag teils an den veralteten Beobachtungsinstrumenten, dann aber band vor allem die Redaktionstätigkeit der *A.N.* die Arbeitskräfte des Instituts.

(2.) Ein Sternwartendirektor, der sich nicht mit dem Chefredakteursposten zufriedengeben wollte, fand in Kiel also vieles vor, was es zu ändern galt. Ein solcher war Paul Hermann Harzer, der 1897 sein Amt in Kiel antrat. Er galt als leidenschaftlicher Beobachter und besaß zudem ein außergewöhnliches mathematisches Talent. In der Tat scheint er mehr Mathematiker als Astronom gewesen zu sein. Seine mathematischen Ambitionen erstreckten sich auf alle Gebiete der Astronomie, sowohl auf Bahnrechnungen, Geodäsie und Astrometrie, als auch auf die Behandlung der Instrumente und meteorologische Phänomene.

Bild 1: Paul Hermann Harzer (1857–1932, Archiv Sternwarte Hamburg-Bergedorf)

(3.) Harzers Erfahrungen in der praktischen Astronomie fußten hauptsächlich auf Beobachtungen am Meridiankreis. Er strebte danach, diesen zum verläßlichsten Instrument der Positionsastronomie zu machen. Dies bedeutete für ihn auch die Schaffung des mathematischen Werkzeugs, das die mechanischen Unvollkommenheiten kompensierte. Durch seine Vermählung mit Emmi Hansen, einer Enkelin des Astronomen Peter Andreas Hansen, hatte Harzer familiäre Bindungen zu der berühmten Instrumentenbauerdynastie Repsold in Hamburg geknüpft, deren Chef

Bild 2: Johann Adolph Repsold (1838–1919, Archiv Sternwarte Hamburg-Bergedorf)

(4.) Johann Adolf Repsold 1864 die Tochter des großen Astronomen geheiratet hatte. Zwischen Harzer und dem 19 Jahre älteren Repsold entwickelte sich eine enge Freundschaft.

Als Harzer nach Kiel kam, bestand seine erste Maßnahme in der Trennung von Sternwarte und *Astronomischen Nachrichten*. Damit wurden dringend benötigte räumliche und personelle Kapazitäten für Forschung und Lehre frei. Freilich verlor die Sternwarte ihre internationale Reputation, da dem Verlust der *A.N.* keine adäquaten Forschungsleistungen gegenüberstanden.

(5.) Aus diesem Grunde wollte Harzer die entstandene Lücke sofort wieder schließen. Es war seine Absicht, für die Sternwarte ein neues Großinstrument anzuschaffen, das einen Anschluß an die aktuelle Forschung sicherte. Harzer gedachte, mit einem Meridiankreis absolute Positionsbestimmungen vorzunehmen, wobei ein dem Himmelspol sehr nahe stehender Stern – eine „Polarissima“ – und zwei Miren zur Lagekontrolle des Instrumentes dienen sollten.

Die Benutzung der Polarissima als „*himmlische Mire*“ garantierte hierbei nicht allein eine sehr scharfe Bestimmung aller Instrumentenfehler, sondern ließ nebenher auch wertvolle Rückschlüsse zur Polhöhenschwankung der Erdachse erwarten.

Auf Harzer übte dieses Problem einen großen Reiz aus – es ging ihm nicht nur darum, die Meßgenauigkeit in mechanischer, sondern auch in mathematischer Hinsicht an die Grenze des Machbaren zu treiben. Das ehrgeizige Projekt sollte der Kieler Sternwarte auf dem Gebiet der Astrometrie internationalen Ruf verschaffen.

Daß Repsold das neue Instrument bauen sollte, stand für Harzer außer Frage. Der neue Meridiankreis sollte außergewöhnliche Abmessungen erhalten: Brennweite 3.000 *mm*, Objektivdurchmesser reichlich 200 *mm*, Teilkreisdurchmesser möglichst über 1.000 *mm*. Mit einem Wort: Harzer hatte es sich in den Kopf gesetzt, den größten und leistungsfähigsten Meridiankreis des Deutschen Reiches zu beschaffen.

Bild 3: Die Kieler Meridiankreisanlage von Norden gesehen, 1905 (Archiv Astrophys. Institut der Univ. Kiel)

Im Juli 1897 beantragte Harzer den Bau der neuen Anlage. Hierzu holte das preußische Kultusministerium zunächst einmal Gutachten bei Fachgenossen ein. Diese stammten von A. v. Auwers und H. C. Vogel und blieben in der Grundtendenz negativ: die Größe des Instruments, die unerprobten Neue-

rungen, die Harzer einführen wollte und die Frage nach der Zweckmäßigkeit des Polarissima-Programmes bildeten die Hauptkritikpunkte.

(6.) Harzer blieb indes Sieger. Im Mai 1898 konnte er mit Repsold die Fundamentierung des Instruments besprechen. Harzer wünschte die Aufstellung sämtlicher Instrumentenpfeiler auf einem gemeinsamen Fundamentblock, um dem gesamten System in sich eine möglichst große Unveränderlichkeit zu garantieren. Zur Platzersparnis legte Harzer die Kollimatoranlage parallel zur Ost-Westachse des Meridiankreises. Vor den Kollimator sollte dann ein Umlenkspiegel kommen, der – zur Sicherung seiner horizontalen Lage – auf Quecksilber schwamm. Ebenso ungewöhnlich war die Art und Weise, in der Harzer die horizontale Lage des Meridiankreises überprüfen wollte. Hier hatte er ein optisches System ersonnen, bei dem er kleine Fadenkreuzmarken auf die Achszapfen aufsetzen wollte, die – ähnlich wie bei dem Kollimator – über schwimmende Spiegel mit einem empfindlichen Nivellierfernrohr angepeilt werden sollten. Dieses lag parallel zum Kollimator und benutzte auch dessen Pfeiler.

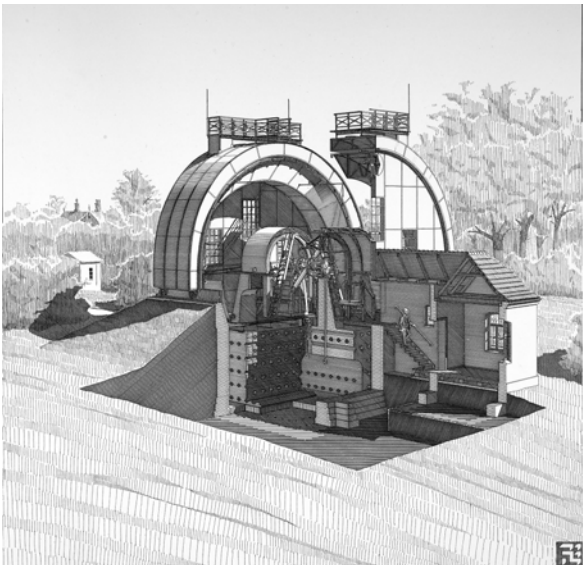

Bild 4: Die Kieler Meridiankreisanlage (Rekonstruktion und Zeichnung des Verfassers)

Das fahrbare Tonnendach sollte einen reichlich 2 *m* breiten Spalt freilassen, so daß die Beobachtungen quasi unter freiem Himmel stattfinden konnten.

Die Berliner Maschinenbauanstalten Bretschneider & Krüger sowie Hoppe lieferten die Dachkonstruktion.

(7.) Eine wichtige Neuerung war die hauptsächliche Verwendung von Stahl, dessen Werkstoffeigenschaften den Abmessungen des Instruments entgegenkamen: höhere Festigkeit bei geringerem Gewicht und Preis. Für den Tubus hatte Harzer sogar das nahtlos gewalzte Mannesmann-Rohr vorgesehen, das noch nie zuvor für den Bau von Fernrohren eingesetzt worden war.

(8.) Ungewöhnlich war auch die Ausrüstung mit den sog. Hansenschen Hilfsbögen, welche die Teilkreise in gewissem Maße von Teilfehlern unabhängig machen sollten – Harzer hatte es sich in den Kopf gesetzt, eine solche Teilfehleruntersuchung durchzuführen. Um die Arbeit in Grenzen zu halten, sollten die Teilkreise nur in 5°-Schritten geteilt werden; die Zwischenwerte wurden via Hilfsbögen und Ablesemikrometer ermittelt. Repsold setzte indes die übliche 4-Bogenminuten-Teilung durch, die es erlaubte, notfalls auch ohne die Hilfsbögen zu arbeiten. Mit den großen Teilkreisen verknüpfte sich ein schweres Problem: üblicherweise wurde in die Flanke ein Silberreif als Teilungsträger eingelegt.

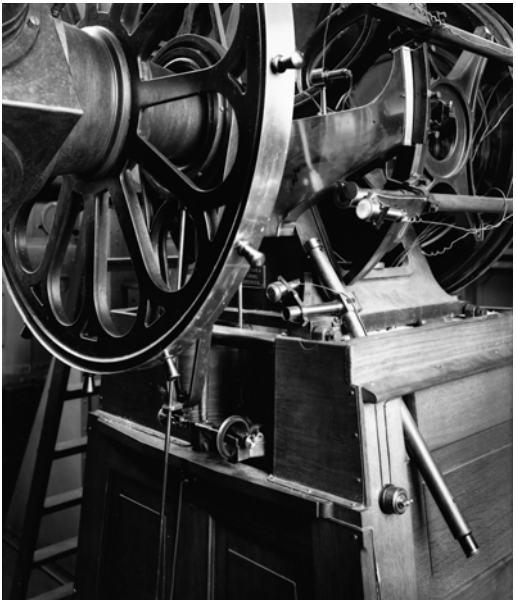

Bild 5: Teilkreis, Hilfsbogenträger und Ablesemikroskope (Archiv Astrophys. Institut der Univ. Kiel)

(9.) Bei der geplanten Verwendung gußeiserner Teilkreise war jedoch wegen der zu unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten beider Metalle an Silber nicht mehr zu denken. Harzer und Repsold entschieden sich für eine Gußeisen-Nickel-Kombination.

(10.) Repsold hatte sich für den Meridiankreis eine neuartige Umlegevorrichtung ausgedacht, die es ermöglichte, das Fernrohr in nicht einmal zwei Minuten aus seinen Lagern zu heben und umzulegen. Damit eliminierten sich die Lagefehler des Instruments von alleine. Überdies ließ Repsold die Entlastungsvorrichtungen für das Instrument sehr elegant und platzsparend ‚verschwinden': die Gewichte der Entlastungshebel hingen an langen Ketten, die senkrecht durch die Instrumentenpfeiler in den Fundamentblock herabführten.

Bild 6: Der Kieler Meridiankreis in ausgehobenem Zustand, 1905 (Archiv Astrophys. Institut der Univ. Kiel)

(11.) Zur Bestimmung der Rektaszensionswerte erhielt das Instrument ein sog. unpersönliches Mikrometer, das den Meridiandurchgang des beobachteten Sternes selbsttätig aufzeichnete. Die Fernrohroptik sollte von Steinheil in

München geliefert werden, die Optik für die Hilfsapparate (Ablesemikroskope) kam von Leitz. Im übrigen stand auch Repsold den vielen Neuerungen, die Harzer einzuführen gedachte, recht skeptisch gegenüber; der umfangreiche Briefwechsel zwischen Kiel und Hamburg belegt zähe Diskussionen um jedes Bauteil.

(12.) Im Mai 1900 waren in Kiel die Arbeiten für die Umfassungsmauern sowie den großen Fundamentblock in vollem Gang. Harzer behielt sich die Dimensionierung der Instrumentenpfeiler bis zuletzt vor, um Repsold in seiner konstruktiven Freiheit nicht zu beschränken. Zudem kümmerte er sich intensiv um Backsteinproben und Mörtelanalysen, um für Fundament und Pfeiler ein möglichst dauerhaftes Baumaterial zu erhalten. Im Mai 1902 erfolgte die Abnahme des Meridiankreises in Hamburg, und am 1. Juli stand die Anlage in Kiel fertig da.

(13.) Die zweite Jahreshälfte war geprägt von Justierarbeiten und Mängelbeseitigung, an denen Harzer – wenn auch nicht ohne Herzklopfen – tatkräftig mitarbeitete. Das Instrument entpuppte sich rasch als stählerne Mimose. Auch 1903 stand noch ganz im Zeichen der Fehlersuche. Erst im Juni des Jahres sah der Meridiankreis sein ‚erstes Licht' – doch auch hier war der Anblick niederschmetternd: die Sterne zeigten starke Beugungserscheinungen. Steinheil konnte den Schaden jedoch rasch beheben. Die größten Sorgenkinder waren die unorthodoxe Kollimator- und Nivelliereinrichtung mit ihren schwimmenden Spiegeln. Im Mai 1904 kapitulierte Harzer und ordnete die Einrichtung eines herkömmlichen Kollimators an.

(14.) Eine weitere Neuerung Harzers mutet uns dagegen etwas gewöhnungsbedürftig an. Ausgangspunkt für seinen Erfindungsgeist war der unverhältnismäßig hohe Strom- und Papierverbrauch (54 *m*/*h*) des Streifenchronographen, der die Durchgangssignale des unpersönlichen Mikrometers aufzeichnete. „Für die Leitungen vom unpersönlichen Micrometer nach dem Registrirapparate habe ich einen kleinen Lamellenschlüssel mit Bernsteinplatten in der Form eines kleinen Cigarrenmundstücks mit dünnen übersponnenen Drähten herstellen lassen. Jeder Beobachter hat einen eigenen Schlüssel, den er bei der Beobachtung zwischen die Zähne nimmt. Erst wenn der Schlüssel zugedrückt wird, kommen die Signale auf den Registrirapparat. Wir können dadurch Kritik an der Beobachtung üben und lassen nur das passiren, was wir unmittelbar für gut halten [...]." Es muß schon ein merkwürdiges Bild geboten haben, wenn die Observatoren, eine Zigarrenspitze mit Stromanschluß im Mund, ihre Beobachtungen durchführten...

(15.) Im April 1905 begann die Aufnahme des Zeitdienstes und der Uhrenkontrolle, und im Juli des Jahres konnte man das erste astrometrische Programm starten: die Beobachtung der Polarissima B.D. +89°.1. Es bleibt ein wenig Ironie des Schicksals, daß sich Harzers ursprünglicher Wunsch, selbst mit dem Instrument zu beobachten, nicht erfüllte – er mußte sich auf das Dirigieren beschränken. Die Beobachtungsreihe endete im Oktober 1907. Bei den fast 5.000 auszuwertenden Einzeleinstellungen kann es nicht verwundern, wenn sich die Auswertung dahinschleppte, zumal nebenher laufend neue Serien hinzukamen. Denn

(16.) parallel zum Polarissima-Programm liefen tagsüber die Teilfehlerbestimmungen. Dies war angesichts der zu erwartenden Menge an zusätzlicher Rechenarbeit und dem geringen Personalstand nicht unbedenklich, denn so würden die Reduktionsarbeiten hinterherhinken und eventuelle Fehler im Meridiankreis sich erst sehr spät (womöglich zu spät) offenbaren... Harzer benutzte hierbei die sog. Brunssche Rosette, die jeden Teilstrich gleichwertig behandelte, da hier das Meßintervall bei einer geraden Anzahl zu prüfender Striche über eine ungerade Anzahl von Strichen führte, so daß man nach drei (bzw. fünf oder sieben) Umrundungen wieder am Ausgangspunkt anlangte, ohne einen Strich übergangen zu haben. Die Resultate blieben unbefriedigend, da kein konstanter Fehler zu finden war; vielmehr zeigten die Teilkreise schon in kurzer Zeit unberechenbare Veränderungen um ±0,1 Bogensekunden.

Dennoch liefen in die Beobachtungen unermüdlich weiter. Darüber hinaus begann nun auch ein Sonnenprogramm zur scharfen Bestimmung des Frühlingspunktes. Als Filter kam hier das erste Colzische Prismenokular zum Einsatz, das Zeiss überhaupt angefertigt hatte.

(17.) Sämtliche Arbeiten mußten aber noch vor Jahresende 1905 unterbrochen werden, als Harzer eine äußerst unliebsame Entdeckung machte: die Stahlmäntel auf den Lagerzapfen waren nur ungenügend gehärtet worden und zeigten bereits erste Abnutzungserscheinungen. Schnelle Hilfe tat not; Repsold mußte seinen Monteur Tenz nach Kiel schicken, der den Meridiankreis demontierte, die schwere Achse in einer großen Kiste verpackte und in die Werkstatt nach Hamburg verfrachten ließ.

Doch damit nicht genug – auch die klimatischen Verhältnisse im Meridiansaal stellten sich als äußerst ungünstig heraus. Bei Wetterumschwüngen schlug sich das Kondenswasser im Blechgewölbe oft in ganzen Bächen nieder und überschwemmte den empfindlichen Meridiankreis gänzlich. Schon im August 1905 mußten der Achsenkörper und der Kran für die Umlegevor-

richtung vollständig entrostet und neu bemalt werden. Noch schlimmer war, daß auch die empfindlichen Teilungen anfingen, fleckig zu werden.

(18.) Bei den vielen Kinderkrankheiten des Kieler Meridiankreises übersieht man leicht, daß die Anlage seinerzeit revolutionär und richtungsweisend war. So erlebte sie 1907 beim Aufbau des Meridiankreises der Sternwarte in Hamburg-Bergedorf in vielen Teilen eine zweite Auflage, und Oskar v. Miller requirierte ein detailliertes 1:10-Modell des Kieler Instruments für ‚sein' Deutsches Museum. Auch als die Sternwarte in Berlin-Babelsberg errichtet wurde, bekam die Kieler Sternwarte einen mehrtägigen Besuch von Experten, die sich ein genaues Bild von der Meridiankreisanlage machen wollten.

Das Instrument selbst bewährte sich im großen und ganzen gut, insbesondere seine Aufstellung erwies sich als äußerst konstant, und bis zum Ausbruch des I. Weltkriegs wurde ein staunenswertes astrometrisches Programm abgespult. Die Menge der gewonnenen Meßdaten überstieg rasch das Arbeitsvermögen der Rechnerin M. Limberger, so daß Harzer eine zweite Rechnerin einstellen mußte.

(19.) Harzer selbst kümmerte sich hauptsächlich um die Auswertung der Teilfehlerbestimmungen. 1913 wurde eine zweite Beobachtungsreihe begonnen. Sie betraf im wesentlichen dieselben Objekte wie zuvor. Neu war indes, daß man die Fundamentalsterne nun in vier Lagen observierte – jetzt wurde der Meridiankreis nicht nur zwischen zwei Beobachtungen umgelegt, sondern auch die Lagen von Objektiv und Mikrometer vertauscht. Die Beobachtungsfrequenz konnte zu Beginn des Jahres 1914 sogar gesteigert werden: es wurden zusätzliche Beobachtungen von 829 Sternen als Grundlage einer photographische Himmelskarte eingefügt. Daneben stand aber immer noch die Auswertung sämtlicher Beobachtungen, die seit 1908 angestellt worden waren.

Die fieberhafte, fast überstürzte Tätigkeit in den Jahren vor Kriegsausbruch entspricht in merkwürdiger Weise der allgemeinen Stimmung im Deutschen Reich, an dessen Horizont es bereits ringsum wetterleuchtete. Fast will es scheinen, daß Harzer voll böser Ahnungen war und dementsprechend seine ‚Ernte' noch vor dem Sturm ins Trockene bringen wollte.

Der Ausbruch des I. Weltkriegs bedeutete für die Sternwarte Kiel einen tiefen Einschnitt. Sämtliches Personal rückte ins Feld; Harzer blieb als einziger Wissenschaftler auf der Sternwarte zurück. Die Beobachtungen wurden – bis auf einen Notbetrieb für Zeitbestimmungen und Lagekontrollen – eingestellt.

Die Zäsur gibt uns jedoch die Gelegenheit, zu einer ersten Würdigung des Geleisteten zu kommen. Der Meridiankreis erlebte – nachdem erst einmal seine ‚Kinderkrankheiten' einigermaßen behoben waren – zwischen 1905 und 1914 zweifellos eine Zeit großer Blüte. Das Instrument wurde von verschiedenen Observatoren fleißig benutzt – in summa lieferte das astrometrische Programm nahezu 40.000 Einzelmessungen. Nimmt man dazu noch die Lagekontrollen des Instruments, die zahllosen Teilfehlerbestimmungen und bedenkt, daß der Arbeitsaufwand von Beobachtung und Reduktion im Verhältnis 1:2 steht, so bekommt man einen Eindruck von der Lawine an Material, die da auf die beiden Rechnerinnen zurollte. Damit überblicken wir aber nur die Quantität der Arbeit. Eine Beurteilung der Qualität ist leider nicht möglich, denn mit Ausnahme der ersten Polarissimabeobachtungen wurde keine weitere Reihe fertig reduziert. Eine angemessene Auswertung dieser Datenflut war unter den nun eintretenden Verhältnissen ein Ding der Unmöglichkeit.

(20.) Nachdem Kiel den Matrosenaufstand, die Kapitulation und die Revolution überstanden hatte und auch das Sternwartenpersonal wieder vollständig war, beschäftigte man sich hauptsächlich mit der Reduktion der Messungen aus den Vorjahren, führte am Meridankreis aber allein Notbeobachtungen durch. Erst 1919 ließ Harzer ein neues Programm beginnen, das sich der Beobachtung von 280 zirkumpolaren Katalogsternen widmete.

(21.) Bei der Auswertung der Sterndurchgänge stieß der Observator Carl Wilhelm Wirtz jedoch auf einige Unregelmäßigkeiten: die Uhrzeiten und die Durchgangssignale auf dem Chronographenstreifen begannen, beträchtlich zu differieren. Erste Untersuchungen führten dann zwar zur Entdeckung einiger bislang unbemerkter Aufstellungsfehler, doch diese reichten nicht, um die Differenzen zu erklären.

Schon bald begründete sich der böse Verdacht, daß das Herzstück des unpersönlichen Mikrometers, die Mikrometerschraube, einen beträchtlichen fortschreitenden Fehler aufwies: hatte noch 1906 eine Untersuchung einen kaum wahrnehmbaren Schraubenfehler ergeben, so zeigten Vergleiche 1920, daß dieser winzige Mangel mittlerweile um das 23fache zugenommen hatte. Für die ganze Länge der Mikrometerschraube summierte sich der Fehler zu einem Betrag von $0{,}2^{sec}$ bzw. 3" (Bogensekunden) auf. Die Aufregung um solch winzige Differenzen mag haarspalterisch und lächerlich klingen, doch derartig kleine Winkelwerte spielten in der astronomischen Meßkunst – und gerade für den Kieler Meridiankreis, der gebaut worden war, um „Messungen von der äussersten erreichbaren Genauigkeit auszuführen" – eine große Rol-

le. Für die bis dahin gewonnenen Ergebnisse bedeutete dies eine Katastrophe. Nicht nur, daß die z. T. bereits reduzierten Meßreihen – zudem nach unsicheren Parametern – sämtlich korrigiert werden mußten, es wurden fortan auch alle weiteren Werte verdächtig.

Doch damit nicht genug. Die Hansenschen Hilfsbögen, die schon immer schwer am Tauwasserniederschlag gelitten hatten, waren Ende 1921 vollständig erblindet. So mußte die Ablesung auf herkömmliche Weise vorgenommen werden. Aber auch hier tickte die Uhr, denn die Teilkreise oxydierten ebenfalls zusehends. Der Meridiankreis zeigte unverkennbar schwere Mängel, die seine Rolle in der Positionsastronomie ernsthaft gefährdeten.

(22.) Scheinbar unbeirrt von alledem arbeitete Harzer unverdrossen an dessen Verbesserung weiter – wenn sich das Instrument in der Praxis nicht bewährte, so sollte die Präzision zumindest mit mathematischen Mitteln erzwungen werden. So hatte sich der Direktor schon seit mehr als zehn Jahren ganz vom Beobachtungsbetrieb zurückgezogen, um den Tücken des Meridiankreises auf mathematischem Feld zu begegnen. Die umfangreichen Teilfehlerbestimmungen waren sein Beitrag zur Ausmerzung der mechanisch-physischen Unvollkommenheiten gewesen. Sein zweiter Angriff ging buchstäblich in die Luft: seit 1917 hatte Harzer zahllose Tafeln zur Refraktion der Erdatmosphäre errechnet. Dabei berücksichtigte er nicht nur die Saalrefraktion in unmittelbarer Umgebung des Instruments, sondern auch die Lichtbrechung in Atmosphärenschichten bis 84 *km* Höhe. Die neuesten Erkenntnisse über das Verhalten von Gasen flossen ebenso in seine Berechnungen ein, wie Feuchtigkeit, Wind, Farbe des Lichts, Jahreszeit, Tageszeit und die Abweichung der Atmosphäre von der konzentrisch-kugelförmigen Anordnung. Dabei war es sehr schwer, überhaupt an verläßliche meteorologische Daten zu kommen, um das mathematische Bauwerk durch einigermaßen sichere Parameter zu stützen.

Es ist ein wenig Ironie des Schicksals, daß die mathematischen Werkzeuge zur Benutzung des Meridiankreises erst zu einem Zeitpunkt vorlagen, da das Instrument derart schwerwiegende Mängel zeigte, daß es für die Wissenschaft keinen Gewinn mehr bringen konnte. Zwei weitere Meßreihen an der Mikrometerschraube 1924 bestätigten eindeutig die Zunahme des Fehlers um nun das 33fache, was für den Meridiankreis inakzeptabel war. Als Grund vermutete man eine einseitige starke Abnutzung des Gewindes im mittleren Bereich der Schraube – man denke hier nur an die gut 30.000 Einzeleinstellungen bei den Polarissimabeobachtungen!

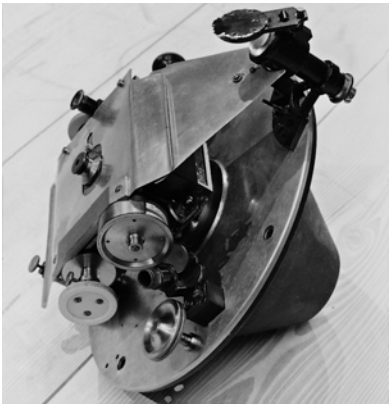

Bild 7: Der Mikrometerkopf des Kieler Meridiankreises

Selbst Harzer begann nun, den Sinn weiterer Beobachtungen ernsthaft in Zweifel zu ziehen. Ende März 1925 wurde er emeritiert, führte aber die Amtsgeschäfte kommissarisch weiter. Eine Grundsanierung des Meridiankreises wollte er nicht mehr in Auftrag geben, sondern diese Entscheidung seinem Nachfolger überlassen.

(23.) Die Emeritierung Harzers gibt uns die Gelegenheit zu einer kurzen Würdigung seiner Arbeiten. Auf den heutigen Betrachter wirkt Harzers wissenschaftliche Ausrichtung starr, einseitig und konservativ. Er war unbestritten ein ‚Astronom alter Schule' und mehr noch ein glänzender Mathematiker – mit einem Wort: ein Kind des 19. Jahrhunderts. Dies machte ihn zwar nicht blind für die neueren wissenschaftlichen Strömungen, doch er betrachtete sie stets durch seine Lupe: selbst in seinen gelegentlichen Auseinandersetzungen mit Albert Einstein oder Sir Arthur Stanley Eddington bewegte er sich nur auf mathematischem Terrain, ohne die physikalische Seite der Problematik zu erkennen. Damit ist auch schon die Tragik umrissen, die sein Wirken in Kiel begleitete. Harzer versuchte, die astronomischen Errungenschaften, mit denen er aufgewachsen war – und das hieß vor allem: die Steigerung der Meßgenauigkeit – in das 20. Jahrhundert zu transportieren, um sie dort zu einem glänzenden Höhepunkt zu treiben: der größten Meridiankreisanlage im Deutschen Reich.

Doch der Gipfel einer Entwicklung trägt auch stets ihren Abstieg mit sich. Geradezu symbolisch stehen hierfür die zahllosen kleinen und großen Mängel des Meridiankreises – und nicht zuletzt die Tatsache, daß bei Harzers Emeri-

tierung keine einzige Beobachtungsreihe fertig ausgewertet, geschweige denn veröffentlicht war. Mit dem Kieler Meridiankreis war der Zenit bereits überschritten – oder besser: der Bogen überspannt worden? Für die Wissenschaft spielte das Instrument nach dem I. Weltkrieg keine Rolle mehr; die haarspalterische Genauigkeit der Positionsastronomie alter Schule schien in den Augen vieler Zeitgenossen nur noch bloße Erbsenzählerei zu sein.

(24.) Harzers Nachfolger legte den Meridiankreis sofort still. Der ehemalige I. Observator, Hermann Kobold widmete dem Instrument 1927 gewissermaßen noch einen ‚Nachruf', indem er die erste Polarissima-Meßreihe von 1905 bis 1907 veröffentlichte. Der Meridiankreis selbst sah den Himmel fortan nur noch, wenn das Blechgewölbe gelegentlich zum Lüften geöffnet wurde. 1932 war mit Erblindung der großen Teilkreise das Instrument gebrauchsunfähig geworden. Harzer scheint das Scheitern seines Großprojektes mit äußerer Gelassenheit hingenommen zu haben, wenngleich ihn diese Niederlage innerlich nie losließ. Noch im Ruhestand widmete er sich intensiv der Verbesserung der Refraktionstabellen. Sein am 21. Februar 1932 erfolgter Tod ersparte ihm, die endgültige Katastrophe ‚seines' Meridiankreises zu erleben.

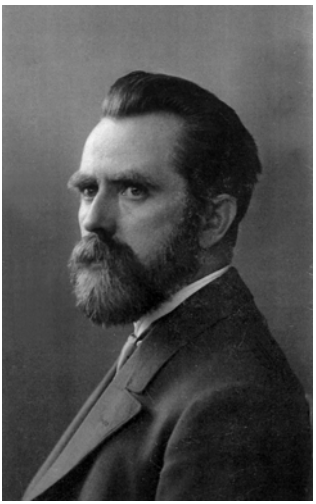

Bild 8: Hermann Albert Kobold (1858–1942)

(25.) Sie trat am 29. Mai 1933 ein, als anläßlich einer Reinigung des Instruments eine der beiden Ketten für die Entlastungsgewichte brach, wodurch das Zapfenlager, das bislang nur mit rd. 2 *kg* belastet worden war, das volle Ge-

wicht des Instruments zu spüren bekam. Es gab nach, und das Fernrohr stürzte aus 2,30 *m* Höhe ab. Die Ursache fand sich schnell. Die Entlastungsketten, die Repsold ja einstmals so platzsparend und elegant durch den Fernrohrpfeiler geführt hatte, waren im Laufe der Jahre unbemerkt vom Rost zerfressen worden, so daß das schwere Gewicht am Schluß buchstäblich nur noch an einem ‚seidenen Faden' hing.

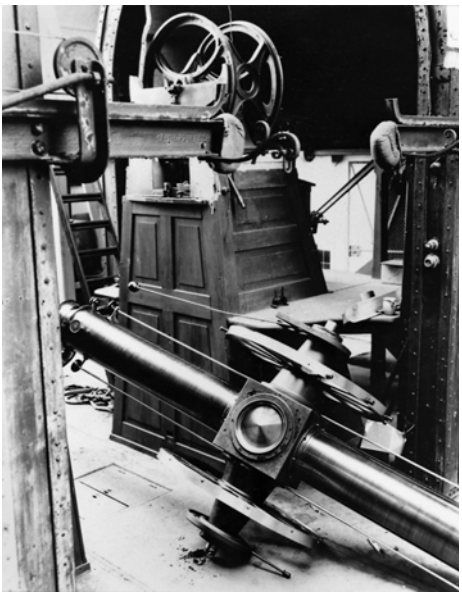

Bild 9: Der abgestürzte Kieler Meridiankreis 1933 (Foto Geheimes Staatsarchiv Preuß. Kulturbesitz Berlin)

Obwohl der Sturz äußerlich nur geringe Spuren hinterließ, so besaß das Instrument doch nur noch Schrottwert. Entsprechend lieblos war die weitere Behandlung. Die Achse wurde durch Demontage der Fernrohrhälften erleichtert und wieder notdürftig in die Lager gelegt. Diverse halbherzige Versuche, das Wrack an andere Institute loszuwerden, scheiterten.

Die für den 30. September 1938 verfügte Auflösung der Kieler Sternwarte verbesserte die Situation natürlich nicht. Die 1940 angeordnete Verschrottung von Instrument und Gebäude wurde aufgrund der Kriegszeiten nicht mehr ausgeführt. Auf diese Weise siechte der große Meridiankreis noch ganze zehn Jahre dahin. Als sich dann im Mai 1950 Bagger und Schneidbrenner

daran machten, die Anlage zu zerlegen, da konnte man wohl nicht mehr von einem Abbruch, sondern nur noch von einem Gnadenstoß reden.

Bild 10: Die Kieler Sternwarte 1938, im Hintergrund rechts das Tonnendach über dem großen Meridiankreis (Archiv Astrophys. Institut der Univ. Kiel)

Literatur

Ambronn, Ludwig: Handbuch der Astronomischen Instrumentenkunde, 2 Bände. Berlin 1899

Harzer, Paul: Beschreibung der neuen Meridiankreisanlage; in: Astronomische Beobachtungen auf der Sternwarte der königlichen Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Heft I. Leipzig 1905

Harzer, Paul: Johann Adolf Repsold. In: Astronomische Nachrichten 209 (1919), Sp. 225ff.

Harzer, Paul: Vollkreis oder Speichenkreis? In: Astronomische Nachrichten 245 (1932), Sp. 361–372

Hellerich, Hermann Hinrich Peter Johannes Hellerich; Untersuchungen über den fortschreitenden Fehler der R.A.-Schraube. In: Publikation der Sternwarte in Kiel, XV. Kiel 1927, S. 25–34

Lühning, Felix: „Eine ausnehmende Zierde und Vortheil“ – Geschichte der Kieler Universitätssternwarte und ihrer Vorgängerinnen 1770–1950. Neumünster 2007

Repsold, Johann Adolf: Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge. Von Purbach bis Reichenbach 1450–1830 [Bd. I]. Leipzig 1908

Repsold, Johann Adolf: Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge. Von 1830 bis um 1900, Zweiter (Schluß-) Band. Leipzig 1914

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 131–147*

Oliver Schwarz

Astrophysikalische Wachstumsgrenzen im Leistungsumsatz der menschlichen Zivilisation

Die Physik des Planeten Erde begrenzt den Energie- und den Leistungsumsatz der menschlichen Zivilisation. Dies kann man sich mit relativ einfachen mathematisch-physikalischen Überlegungen verdeutlichen. Der astronomische Blick auf unseren Heimatplaneten vermag einen wesentlichen Beitrag zur gegenwärtigen Energie- und Umweltdiskussion zu erbringen.

0. Einleitung

Im Jahre 1972 publizierten D. H. Meadows mit einigen Kollegen im Auftrag des Club of Rome eine Studie mit dem Titel „Die Grenzen des Wachstums“ [1]. Die Schlüsselbotschaft dieser Untersuchung lautete:

„Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht. Mit großer Wahrscheinlichkeit führt dies zu einem ziemlich raschen und nicht aufhaltbaren Absinken der Bevölkerungszahl und der industriellen Kapazität.“ ([2], S. 10)

Diese Aussage erregte große Aufmerksamkeit, führte aber *global* bis heute nicht zu einer grundsätzlichen Trendwende im Produktions- und Konsumverhalten der Menschheit. Auch das öffentliche Interesse an der Studie ließ allmählich nach. Insbesondere neue Technologien verbesserten die Effizienz der allgemeinen Naturausbeutung so drastisch, dass die im Jahre 1972 für die kommenden Jahrzehnte prognostizierte Ressourcenverknappung im ausgehenden 20. Jahrhundert noch nicht so deutlich wie befürchtet eintrat.

Mathematisch beruhten die Vorhersagen der Forscher auf der Annahme eines exponentiellen Wachstums mit konstanten Wachstumsraten in verschiedenen Bereichen der menschlichen Gesellschaft, z.B. der Weltbevölke-

rung, dem Energie-„verbrauch“, dem Rohstoffverbrauch oder der globalen Industrieproduktion. Diese Annahme hat sich bis heute nicht in allen Bereichen als zutreffend erwiesen.

Zu den Gebieten, in denen das exponentielle Wachstum bezogen auf die gesamte Welt ungebremst anhält, zählt der Umsatz an Primärenergie. Unter Primärenergien versteht man alle natürlich vorkommenden Energieformen oder Energieträger.

Die herausragende Rolle der Bereitstellung von Energie als Wachstumsfaktor hat zu verschiedenen teilweise weit verbreiteten *Fehlvorstellungen* in Hinblick auf die weitere Entwicklung der Menschheit geführt. Zu diesen Fehlvorstellungen gehört die Annahme, man könne wesentliche Menschheitsprobleme auch zukünftig mit hinreichend großen Steigerungsraten im Einsatz von Primärenergie lösen. Im Hinblick auf die globale Erwärmung durch Treibhausgase schlägt man entweder vor, die Nutzung von Fissions- oder Fusionsenergie voranzutreiben oder die gegenwärtig genutzten fossilen Primärenergien durch regenerative Energien zu substituieren. Ein anschließender Ausbau der regenerativen Energieumwandlungen wird dann irrtümlich als nahezu unbegrenzt möglich angesehen.

Ein exaktes Ausloten von Wachstumsgrenzen im Energieumsatz der menschlichen Zivilisation stellt ein komplexes Projekt dar, das vielfältige Beeinflussungen zwischen der Geosphäre, der Biosphäre und der „ökonomischen Sphäre“ zu berücksichtigen hat. Will man für Lehrzwecke lediglich verdeutlichen, dass *überhaupt Wachstumsgrenzen* im Energieumsatz der Menschheit existieren, wählt man zweckmäßig einen Betrachtungsrahmen, in dem diese Wechselwirkungen überhaupt keine Rolle spielen. Einen solchen Betrachtungsrahmen stellen beispielsweise die planetaren Energieströme dar, die sich stets in das Strahlungsgleichgewicht der Erde einfügen müssen. Unter didaktischen Gesichtspunkten ist also der „astronomische Blick“ auf unseren Heimatplaneten besonders hilfreich.

Der anthropogene Treibhauseffekt wird nachfolgend nicht näher betrachtet. Es sei ausdrücklich betont, dass die Probleme der globalen Erwärmung infolge des anthropogen verursachten Treibhauseffektes nicht verdrängt werden sollen.

Die nachfolgend dargelegten Wachstumsgrenzen resultieren jedoch aus fundamentalen Überlegungen und besitzen deshalb einen universellen Charakter. Sie sind weder durch eine Reduktion oder Vermeidung von Treibhausgasen zu umgehen noch durch den Einsatz neuartiger Technologien. Es

sei denn, diese Technologien führen durch rigoroses Sparen dazu, dass die Wachstumsgrenzen nicht erreicht werden.

1. Astronomische Grenzen im Leistungsumsatz der Menschheit

Wir wollen nachfolgend unter einer absoluten energetischen Wachstumsgrenze ein Limit verstehen, das nicht überschritten werden kann, ohne charakteristische Eigenschaften unseres Heimatplaneten wie sein Strahlungsgleichgewicht oder seine Eigenrotation zu zerstören. So kann der Planet Erde nicht

- mit der Leuchtkraft der Sonne strahlen,
- seine Rotationsenergie verringern, ohne dass sich die Länge eines Tages vergrößert und es zu merklichen Auswirkungen auf die Drehmpulsverteilung im System Erde-Mond kommt,
- das Strahlungsgleichgewicht zwischen der an der Oberfläche ein- und ausfallenden Strahlung verletzten. Deshalb muss die Erde die von der Sonne pro Zeiteinheit kommende Strahlungsenergie auch wieder pro Zeiteinheit ins Weltall abgegeben, sofern ihre die Oberflächentemperatur konstant bleiben soll.

Aus diesen einsichtigen Grenzen resultieren Limits für die technische Nutzung entsprechender Energiequellen und damit für den menschlichen Energieumsatz insgesamt. Wir wollen nachfolgend abschätzen, wann die Menschheit diese Grenzen erreichen würde, sofern sie ihren Energieumsatz weiterhin exponentiell steigert.

Dazu unterstellen wir zwei Wachstumsraten, die aus aktuellen Statistiken und Prognosen entlehnt werden. Der Weltenergierat (wourld energy council) prognostiziert zwischen den Jahren 2000 und 2030 einen mittleren Anstieg des Weltenergiebedarf um jährlich 1,8% [3]. Nach Angaben des Statistical Review of World Energie 2005 stieg die Wachstumsrate im Energieumsatz zu Beginn des 21. Jahrhunderts auf neue Höchststände und betrug z.B. für das Jahr 2004 etwa 4,3% [4]. Auf diesen Angaben fußend werden wir nachfolgend jeweils zwei Wachstumsberechnungen mit Steigerungsraten von 2% und 4% pro Jahr durchführen. Wir führen alle weiteren Rechnungen auf der Grundlage von Leistungsangaben aus.

Für jedwedes exponentielles Wachstum gilt bekanntlich eine geometrische Progression. Fragen wir uns beispielsweise, wann bei einem ungebremsten Energiewachstum von 4% jährlich und einem gegenwärtigen mittleren anthropogenen Leistungsumsatz von $1{,}35 \cdot 10^{13}$W der

Weltleistungsbedarf die Leuchtkraft der Sonne ($3{,}8 \cdot 10^{26}$W) erreicht, dann gilt der mathematische Ansatz:

$$1{,}35 \cdot 10^{13} W \cdot 1{,}04^{x} = 3{,}8 \cdot 10^{26} W \quad (1)$$

und die Lösung hierzu ist x=790 Jahre.

Über die Energieentwertungskette landet früher oder später jede Energieform als thermischer „Müll“ in der Nähe der Erdoberfläche und muss dann von dort ins All abgestrahlt werden. In 790 Jahren würde also die Erde ebenso hell wie die Sonne strahlen. Natürlich ist aus einsichtigen physikalischen Gründen das Energiewachstum der Menschheit schon weitaus früher beendet. Eine jährliche Steigerungsrate von 2% führt auf einen Zeithorizont von 1564 Jahren.

Ein oberes Limit für die Nutzung der Solarenergie ist die auf der Querschnittsfläche der Erde je Sekunde einfallende Strahlungsenergie (Abb.1). Berücksichtigt man die Albedo der Erde von etwa 30 Prozent, so gelangen in der einfachsten Modellannahme etwa

$$0{,}7\pi R^2 s = 1{,}2 \cdot 10^{17} W \quad (2)$$

zum Erdboden (R: Erdradius, Solarkonstante: s=1370W/m^2).

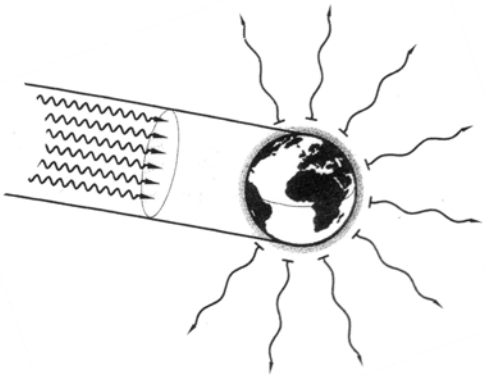

Bild 1: Die Querschnittsfläche der Erde ist der Empfänger der Sonnenenergie.

Als letzte der oben genannten Energiequellen betrachten wir noch die in der Erdrotation gespeicherte Bewegungsenergie, die über Gezeitenkraftwerke genutzt werden könnte. Sieht man die Erde näherungsweise als starre Kugel an, dann beträgt deren Rotationsenergie:

$$\frac{1}{2} J\omega^2 = \frac{1}{2}\frac{2}{5} M_E R^2 \omega_E{}^2 = 2,6 \cdot 10^{29} J \quad (3)$$

(ω_E: Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation, M_E: Erdmasse, J: Drehimpuls der Erde). Eine Dissipation der Rotationsenergie der Erde hätte dramatische Auswirkungen auf die Bewohnbarkeit unseres Heimatplaneten. Die Verlängerung eines Tages wäre ebenso eine Folge wie die Anhebung der Mondbahn infolge des Drehimpulsübertrages auf den Erdtrabanten. Wir setzten uns über diese Bedenken hinweg und „billigen" der Menschheit zu, dass sie die Rotationsenergie der Erde *gleichmäßig* in nur 500 Jahren verbrauchen darf. Dann würde dies einer in diesem Zeitraum verfügbaren Leistung von $2,6 \cdot 10^{29} J / 500a = 1,6 \cdot 10^{19} W$ entsprechen.

Die Tabelle 1 gibt die nach dem Muster der Gleichung 2 gerechneten Zeithorizonte für alle genannten Leistungen an. Man beachte, dass hierbei nur Leistungen *verglichen* werden. Wie die jeweilige Energieform konkret gewonnen werden soll, also insbesondere auch die Frage nach dem technischen Wirkungsgrad potentieller Kraftwerke, wird nicht diskutiert. Bei Berücksichtigung auch solcher Aspekte werden die Zeithorizonte geringer.

Energieform	kosmisches Leistungslimit für die Erde	erreicht in Jahren bei einem Wachstum von 4%	2%
auf der Erde ankommende Strahlungsenergie der Sonne (Solarzellen, Sonnenkollektoren)	Querschnittsfläche der Erdkugel als Empfangsfläche bei Beachtung der Erdalbedo $1,2 \cdot 10^{17} W$	232	459
Gezeitenleistung (heute erst geringfügig in Gezeitenkraftwerken genutzt)	Verbrauch der Rotationsenergie der Erde $1,6 \cdot 10^{19} W$	357	706
gesamte Strahlungsleistung der Sonne	$3,8 \cdot 10^{26} W$	790	1564

Tabelle 1: Kritische Zeithorizonte für einige prinzipiell nicht überschreitbare Limits im Leistungsumsatz auf der Erde

Dass exponentielles Wachstum jedwedes Limit durchbricht, ist eine mathematische Trivialität, dass ein solches Wachstum schon in historisch kurzer Zeit jede astronomischen Grenzen des Planeten Erde sprengt, ist hingegen eine überraschende Tatsache.

Ein Grund für die relativ langen Zeithorizonte sind die im Modell genutzten hohen Leistungslimits, die alle auf die physikalische Zerstörung der Lebensgrundlagen auf der Erde hinauslaufen. Durch eine fundiert begründete Wahl kleinerer Limits kann man die Zeithorizonte deutlich verkürzen. Allerdings ist es hierzu notwendig, die Wirkungen verschiedener Energieformen auf das globale Strahlungsgleichgewicht zu beschreiben.

2. Der Strahlungsantrieb – ein Grundbegriff der Klimatologie

Die aktuelle Klimaforschung bedient sich des Konzepts des Strahlungsantriebes recht umfangreich, insbesondere dann, wenn es darum geht, mögliche Folgen verschiedener Strahlungsantriebe abzuschätzen. Zum Strahlungsantrieb heißt es in den Veröffentlichungen des IPCC#:

„Änderungen in der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen, der Sonneneinstrahlung und der Beschaffenheit der Landoberfläche verändern die Energiebilanz des Klimasystems. Diese Änderungen werden in Form des Strahlungsantriebs ausgedrückt, mit dessen Hilfe die wärmenden und kühlenden Einflüsse einer Anzahl von menschlichen und natürlichen Antrieben auf das globale Klima verglichen werden.

Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für den Einfluss, den ein Faktor auf die Änderung des Gleichgewichts von einfallender und abgehender Energie im System Erde-Atmosphäre hat, und ist ein Index für die Bedeutung eines Faktors als potentieller Mechanismus einer Klimaänderung. Ein positiver Antrieb führt tendenziell zur Erwärmung der Erdoberfläche während ein negativer Antrieb tendenziell zu einer Abkühlung führt.“ ([5], S. 2)

Aus physikalischer Sicht sei dieser Definition noch hinzugefügt, dass es sich beim Strahlungsantrieb um eine physikalische Größe handelt, die eine Strahlungsleistung pro Flächeneinheit (Wm^{-2}) darstellt. Für das Verständnis des Konzeptes des Strahlungsantriebes müssen zwei Umstände besonders hervorgehoben werden:

Erstens werden keine Rückkopplungen berücksichtigt, zu denen es im realen nichtlinearen Klimasystem mit Sicherheit kommt. Daher wird in der Definition besonders betont, dass man einzelne Strahlungsantriebe lediglich als *potentielle* Mechanismen einer Klimaänderung ansehen darf. Zweitens sind alle Zahlenwerte für die Strahlungsantriebe auf das Referenzjahr 1750 bezo-

gen, was natürlich den Sinn hat, die anthropogenen Einflüsse seit dieser Zeit besonders herauszustellen.

Das komplexe Wechselspiel von eingehender und abgehender Strahlungsleistung im System Erde-Atmosphäre verdeutlicht man sich an einem einfachen Atomsphärenmodell ([6], Bild 2). Die Strahlungsenergie S, die jede Sekunde in die Erdatmosphäre eindringt, wird beim Durchlaufen der Gashülle der Erde geringfügig (also ein relativ großer Faktor τ) geschwächt und trifft auf den Boden. Der Boden emittiert je Sekunde die Strahlungsenergie S_B, von der nur noch der Teil $S_B\tau^*$ an der Oberseite der Atmosphäre ankommt. Und die Atmosphäre selbst emittiert in Richtung Boden und Weltraum je Sekunde die Wärme S_A.

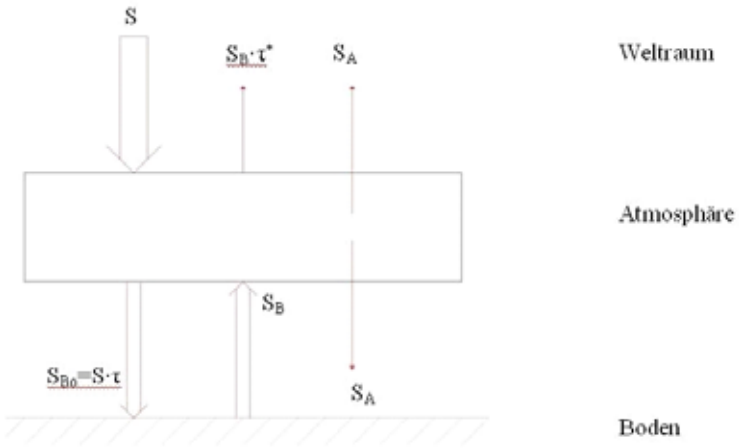

Bild 2: Die Energieflüsse in der Erdatmosphäre

Entscheidend ist: Damit sich ein Gleichgewicht einstellt, müssen die Energie- bzw. Strahlungsbilanzen ausgeglichen sein – und zwar am Boden, innerhalb sowie oberhalb der Atmosphäre. Ganz einfach gesagt, die nach oben und nach unten gerichteten „Strahlungspfeile“ müssen in der Summe stets eine „0“ ergeben.

Bringt man beispielsweise durch anthropogene Emissionen mehr Treibhausgase in die Atmosphäre, dann verkleinert sich τ^*, sodass der „Pfeil“ $S_B\tau^*$ an der Obergrenze der Atmosphäre schmaler wird. Da aber die Wärme in der Atmosphäre stecken geblieben ist und sich deren Temperatur deshalb erhöht

hat, strahlt unsere Gashülle auch allseitig mehr Wärme ab. Der nach oben gerichtete Wärmestrom S_A nimmt gerade um so viel zu, dass die Bilanz an der Oberseite der Atmosphäre wieder ausgeglichen ist. Doch durch die Erhöhung der Atmosphärentemperatur hat sich natürlich auch der zum Boden gerichtete Anteil S_A erhöht. Damit die Bilanz am Boden wieder stimmt, muss von unten mehr Wärme S_B abgestrahlt werden. Das geht aber nur, wenn sich die Temperatur am Erdboden erhöht. Der Strahlungsantrieb, der diese Temperaturerhöhung auslöst, wäre in diesem Fall ursächlich der *zusätzlich* in der Atmosphäre absorbierte Strahlungsanteil.

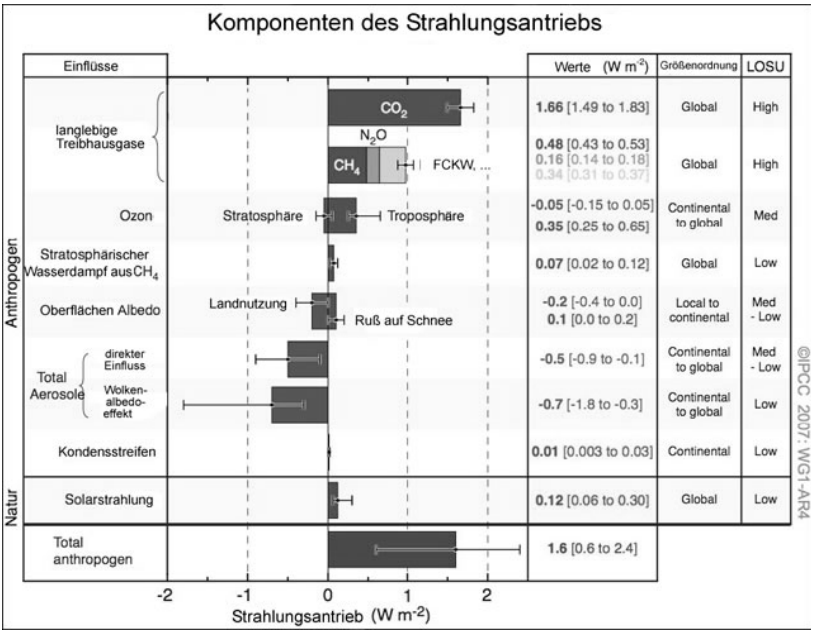

Bild 3: Typische Strahlungsantriebe für das Jahr 2005, bezogen auf das Referenzjahr 1750; der solare Strahlungsantrieb beinhaltet nur die vergleichsweise kurzperiodischen Änderungen der Sonnenaktivität Quelle: [5]

Das hier betrachtete Atmosphärenmodell zählt zu den einfachsten Modellen; und man beginnt ansatzweise zu verstehen, wie kompliziert die wechselseitigen Abhängigkeiten in den wesentlich komplexeren Modellrechnungen der Klimatologie sind und wie viele Möglichkeiten es gibt, dass sich Strahlungsflüsse verändern können. Genau dies wird im IPCC-Bericht zusammenge-

fasst (Bild 3) und genau hier endet die Möglichkeit für Außenstehende, sowohl die Größenordnung der Zahlenwerte als auch wechselseitige Abhängigkeiten der einzelnen physikalischen Größen nachzuvollziehen.

Allerdings gibt es hierbei eine wesentliche Ausnahme: Kosmische Strahlungsantriebe sind der Erde *von außen* aufgeprägt und können deshalb relativ leicht analysiert werden. Die folgenden Überlegungen beabsichtigen, das Konzept des Strahlungsantriebes auf elementare Weise zu verdeutlichen. Wir bedienen uns hierbei einer *Ähnlichkeit*, die zwischen den Begriffen der Solarkonstante und dem Strahlungsantrieb besteht und interessieren uns für die die folgenden, naheliegenden Fragen:

Der IPCC-Bericht nennt einen durch Menschen verursachten Strahlungsantrieb von $1{,}6 \mathrm{Wm}^{-2}$. Was bedeutet dieser Zahlenwert? Ist dieser Strahlungsantrieb gering oder beträchtlich? Welche Temperaturänderungen in der Erdatmosphäre könnten sich daraus ergeben?

3. Von der Solarkonstante zum Strahlungsantrieb

Von der gesamten Strahlungsleistung der Sonne (die oft auch als Leuchtkraft bezeichnet wird) interessiert uns nur derjenige Teil, der die Erde trifft. In der Astronomie und der Geophysik rechnet man deshalb statt mit dieser Strahlungsleistung zweckmäßiger mit der sogenannten Solarkonstante s.

Unter der Solarkonstante versteht man die von der Sonne stammende Strahlungsenergie, die im mittleren Abstand Erde-Sonne senkrecht je Sekunde und Einheitsfläche ($1\mathrm{m}^2$) auftrifft, s ist also eine Strahlungsleistung pro Fläche.

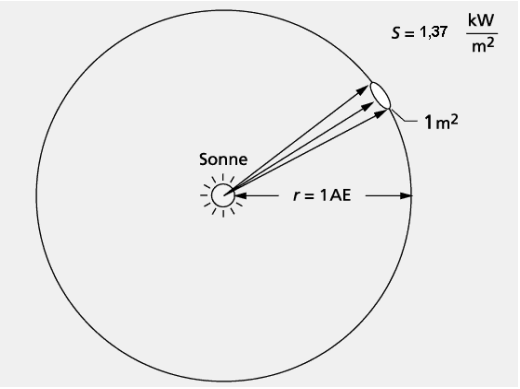

Bild 4: Zur Bestimmung der Solarkonstante

Umgibt man die Sonne gedanklich mit einer Kugel mit dem Erdbahnradius r und geht davon aus, dass diese Kugel von der gesamten Sonnenstrahlungsleistung L durchströmt wird, dann ist der Strahlungsanteil, der auf einen Quadratmeter auftrifft, gerade (siehe Bild 4):

$$s = \frac{L}{4\pi r^2} \cdot \tag{4}$$

Ausgangspunkt für *alle weiteren* Betrachtungen ist das thermodynamische Gleichgewicht der Erde: Die thermische solare Einstrahlung von der Sonne auf die Erde und die thermische Ausstrahlung von der Erde in den Weltraum müssen in gleichen Zeiteinheiten auch gleich groß sein. Für ein globales Gleichgewichtsmodell müssen wir die je Sekunde auf der Querschnittsfläche πR^2 der Erde ankommende Energie gleichmäßig auf die gesamte Erdoberfläche verteilen, mithin auf die Fläche $4\pi R^2$ (Bild 1), die gerade *vier Mal* so groß wie die Querschnittsfläche ist.

Die Erde streut einen Teil der zu ihr gelangenden Sonnenstrahlung sogleich wieder ins All zurück. Das Rückstreuvermögen eines Himmelskörpers bezeichnet man als Albedo A. Die Albedo der Erde beträgt 0.3, d.h. rund 30% der Sonnenstrahlung gelangen wieder ins Weltall, ohne dass sie auf der Erdoberfläche oder in der Erdatmosphäre absorbiert werden. Berücksichtigt man diesen Effekt, so erhält man für die im Mittel je Quadratmeter und Zeiteinheit auf die Oberseite der Erdatmosphäre treffende Strahlungsenergie S den Zusammenhang:

$$S = \tfrac{1}{4}(1 - A)s. \quad \text{bzw. } S=0{,}175s \tag{5}$$

Aus den Zahlenwerten für die Solarkonstante und die Erdalbedo folgt, dass der mittlere Strahlungseintrag pro Quadratmeter Erdoberfläche gerade $S=240 Wm^{-2}$ beträgt. Da der Strahlungsantrieb definitionsgemäß eine *Änderung* des Strahlungsflusses bedeutet, fragen wir, wie sich kleine Änderungen der Solarkonstante s auf den Strahlungseintrag S auswirken. Da der Zusammenhang zwischen beiden Größen linear ist, ergibt sich einfach $\Delta S = 0{,}175\Delta s$. ΔS wäre ein Strahlungsantrieb, der durch die *Änderung* der Solarkonstante Δs bedingt wäre. Wie man seit einigen Jahren recht genau weiß, gibt es kleine Änderungen der Solarkonstante tatsächlich – sie sind in physikalischen Vorgängen auf der Sonne begründet und werden im IPCC-Bericht auch entsprechend berücksichtigt (Bild 3).

Eine konstante mittlere Temperatur an der Erdoberfläche bildet sich deshalb heraus, weil die Erde genau diejenige Strahlungsenergie, die sie in einer

bestimmten Zeit von der Sonne empfängt, in der gleichen Zeit auch wieder abstrahlt. Letzteres geschieht entsprechend dem Stefan-Boltzmann-Gesetz, sodass wegen der Gleichheit zwischen dem Strahlungsein- und -austrag gilt:

$$(1 - A)\pi R^2 s = 4\pi R^2 \sigma T^4 \tag{6}$$

Setzt man in die Gleichung (6) die Zahlenwerte für die Albedo A und für die Stefan-Boltzmann-Konstante σ ein, so ergibt sich der Zusammenhang

$$T^4 = 3{,}1 \cdot 10^6 \left[\frac{K^4 m^2}{W}\right] \cdot s \tag{7}$$

Für die Temperatur T in Bodennähe folgt aus dieser Gleichung mit der Solarkonstante s =1370Wm^{-2} der Zahlenwert 255K oder –18°C. So kalt ist es aber im Durchschnitt auf der Erde gewiss nicht. Unsere elementare Rechnung hat nämlich für den Erdboden die tatsächliche Strahlungsbilanz nicht hinreichend beachtet. Wir haben (im Widerspruch zur Bild 2) so getan, als ob die vom All kommende Sonnenstrahlung gleich wieder ins All abgegeben würde. Die Rückstrahlung durch die Atmosphäre, also der Treibhauseffekt, kommt in der Gleichung (6) nicht vor.

Um das Modell möglichst einfach zu halten, berücksichtigen wir den Treibhauseffekt, indem wir den Zahlenwert in Gleichung (7) so korrigieren, dass sich die tatsächliche mittlere Erdtemperatur von ca. 288K (15°C) ergibt: Dann ist:

$$T^4 = 5 \cdot 10^6 \left[\frac{K^4 m^2}{W}\right] s\,. \tag{8}$$

Der natürliche Treibhauseffekt sorgt dafür, dass es auf der Erde überhaupt erträglich ist. Problematisch ist also nicht der Treibhauseffekt an und für sich, sondern nur der über den natürlichen Treibhauseffekt hinausgehende anthropogen verursachte (zusätzliche) Treibhauseffekt.

Welche Temperaturänderung würde eine geringfügige Änderung der Solarkonstante bewirken? Entweder durch einfaches numerisches Berechnen oder durch Bilden des totalen Differentials über die erste Ableitung der Funktion (8) erhält man für kleine Änderungen den Zusammenhang:

$$\Delta T \cong 0{,}05 \cdot \Delta s \tag{9}$$

Nun verfügen wir über alle notwendigen Zahlen, um wichtige Angaben zu den Strahlungsantrieben in Bild 3 zu veranschaulichen. Die Bild 5 fasst die wesentlichen Abhängigkeiten zusammen.

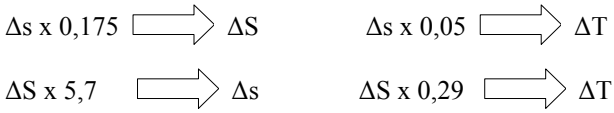

Bild 5: Wichtige Umrechnungsfaktoren zwischen Strahlungsantrieb, der Änderung der Solarkonstante und der Temperaturänderung

Prägt man sich diese Umrechnungsfaktoren ein wenig ein, dann kann man die Größenordnung von Strahlungsantrieben recht schnell beurteilen:

Angenommen, die Sonne würde ihre Strahlung so verändern, dass die Solarkonstante um $1Wm^{-2}$ zunimmt. Dann würde dies einem Strahlungsantrieb ΔS von $0{,}175Wm^{-2}$ und einer Temperaturzunahme von 0,05K entsprechen. Der im IPCC-Bericht von 2007 ausgewiesene Gesamtstrahlungsantrieb von $\Delta S=1{,}6Wm^{-2}$ würde einer Änderung der Solarkonstante von 9,1 Wm^{-2} entsprechen. Er ist gleichbedeutend mit einer Temperaturzunahme von 0,5K. Mit anderen Worten: Im IPCC-Bericht von 2007 wird ein totaler Strahlungsantrieb ausgewiesen, der ebenso groß ist, als hätte die Sonne ihre Strahlungsleistung um etwa 1% erhöht.

Die in verschiedenen Klimamodellen für das 21. Jahrhundert prognostizierte Temperaturerhöhung durch den anthropogenen Treibhauseffekt um 2K würde rechnerisch ebenso wirken, wie eine Änderung der Solarkonstante um den gigantischen Wert von $40Wm^{-2}$ bzw. so, als wäre die Sonne um annähernd 3% heller geworden. Weitere Beispiele lassen sich leicht finden und man kann sich das (hoffentlich ausbleibende) Eintreffen von worst case-Szenarien, die eine Temperaturzunahme von 4K oder gar 6K prognostizieren, eindringlich veranschaulichen.

4. Energieströme deponierter und regenerativer Energiequellen

Die Bilder 6 und 7 zeigen, wie die planetaren Energieströme geändert werden, wenn der Mensch Energiequellen nutzt, die in der Nähe der Erdoberfläche deponiert sind – also Öl, Kohl oder Kernkraft oder regenerative Energieträger. Im ersten Fall muss die zusätzlich freigesetzte Energie auch zusätzlich von der Erde abgestrahlt werden, damit das Strahlungsgleichgewicht unseres Heimatplanten erhalten beleibt. Auf lange Sicht würde sich die Temperatur der Erde erhöhen.

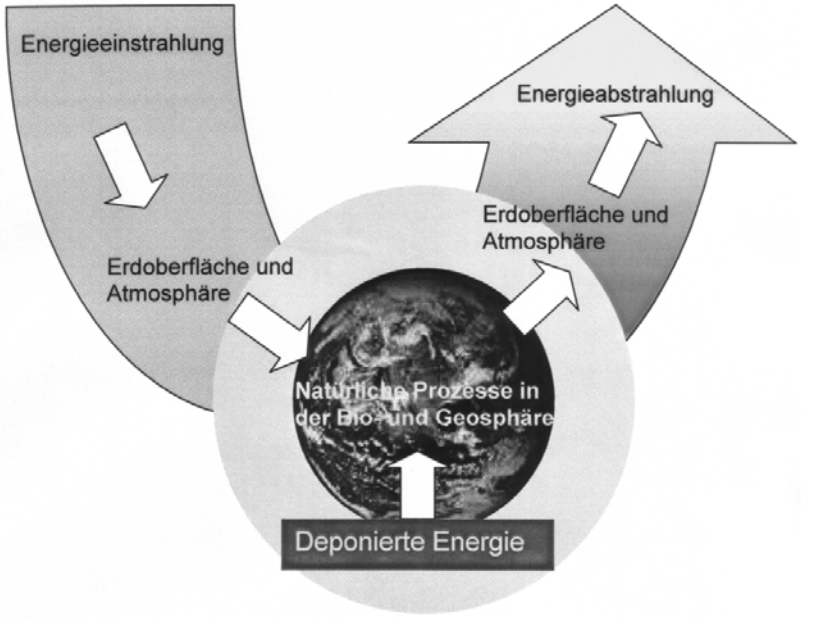

Bild 6: Globales Energieflussdiagramm für deponierte Energieträger

Im zweiten Fall geschieht folgendes: *Regenerative* Energien, etwa die Solarenergie, die Wind- und Wasserkraft oder die Energie aus Biomasse, werden letztlich aus dem Strom der Sonnenstrahlung gespeist. Regenerative Energieträger koppeln sich in den natürlichen Energiefluss ein. Sie zweigen einen gewissen Anteil daraus ab und leiten diesen Anteil nach seiner Nutzung dem globalen Energiestrom wieder zu. Deshalb wird das globale Strahlungsgleichgewicht durch die Nutzung regenerativer Energien nicht verändert. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass durch die Ausbeutung regenerativer Energien eine Umverteilung verursacht wird und sich Energieströme durch Bio- und Geosphären verändern. Wenn wir zu viel Sonnenstrahlung nutzen, bleibt für andere Lebewesen zu wenig übrig.

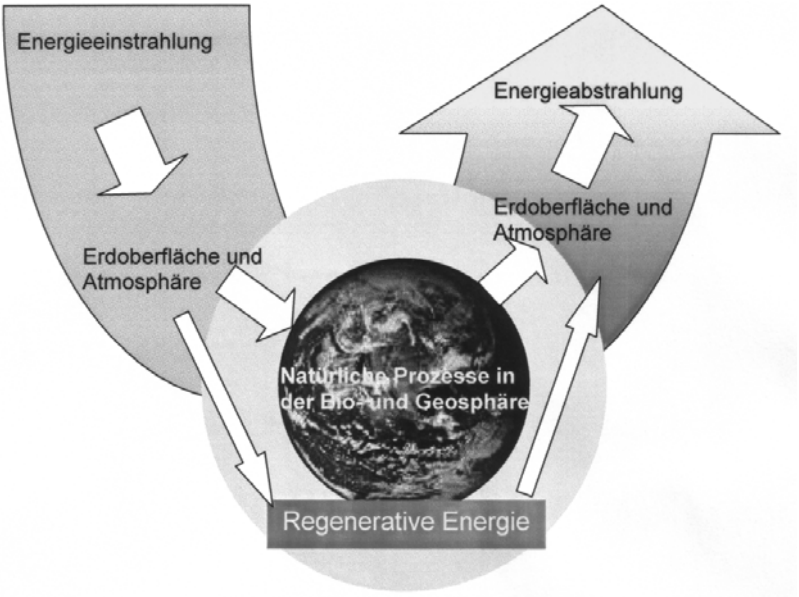

Bild 7: Globales Energieflussdiagramm für regenerative Energieformen

5. Wachstumsgrenzen für deponierte Energieträger

Um die Auswirkungen der Nutzung deponierter Energieträger auf den Strahlungshaushalt der Erde abzuschätzen, müssen wir das Strahlungsgleichgewicht der Erde betrachten und hierin den anthropogenen Anteil zusätzlich berücksichtigen [7].

M ist die neben der Sonnenleistung in das System fließende Leistung anthropogenen Ursprungs. Wir fügen den Betrag von M der Gleichung (6) auf der Eintragsseite hinzu und erhalten

$$(1 - A)\pi R^2 s + M = 4\pi R^2 \sigma T^4 \qquad (10)$$

Eintrag Austrag

Aus Gleichung (10) folgt für kleine Temperaturänderungen (Umstellen nach T und Bildung des totalen Differentials):

$$\Delta T = \frac{\Delta M}{4T^3} \cdot \frac{1}{4\pi R^2 \sigma}, \qquad (11)$$

mit $\Delta T=2K$ erhält man für ΔM ein Wert von $3*10^{15}W$. Führt man eine Wachstumsrechnung nach dem Muster der Gleichung (1) aus, so ergibt sich ein Zeithorizont von 146 Jahren. Dies ist die Zeitspanne, in der die Abwärme der Menschheit zu einer Klimaänderung führen könnte. Der Wert der Temperaturerhöhung von 2K ist dabei wie folgt begründet:

Durch eine Temperaturerhöhung verlagern sich die Klimazonen der Erde. Dies darf nicht zu schnell erfolgen. Während Menschen im günstigsten Fall ihre angestammten Siedlungsgebiete verlassen können und woanders Aufnahme finden, benötigen Tiere und Pflanzen für ihre Ausbreitung und Anpassung eine gewisse Zeit. Viele Forscher fordern deshalb beispielsweise, die Zunahme der mittleren Temperatur der Erdatmosphäre bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf 2°C zu begrenzen.

Um Missverständnissen vorzubeugen soll deutlich gesagt sein, dass gegenwärtig die Abwärme unserer Zivilisation im globalen Mittel absolut keinen Einfluss auf das Klima hat, dazu ist sie noch zu klein.

6. Wachstumsgrenzen für die Nutzung regenerativer Energien

Ein Hauptproblem der extensiven Nutzung regenerativer Energien haben wir bereits kurz erwähnt:

Jeder Teil der Bio- und Geosphäre wird unablässig von natürlichen Energieströmen durchsetzt, darüber hinaus werden in diesen Systemen vielfältige Stoffströme durch den Energieeintrag generiert. Indem wir regenerative Energien nutzen, schwächen oder verändern wir diese natürlichen Ströme. Die Frage ist also, wie viel dieser Energie man entnehmen kann, ohne die natürlichen Systeme zu beeinträchtigen.

Der Golfstrom zählt zu den am besten studierten Strömungsmustern der Erde, sodass für ihn Messwerte verfügbar sind. Jede Sekunde fließen über den Golfstrom der nördlichen Erdhemisphäre etwa $10^{15}J$ zu. Dieser energetische Löwenanteil des Golfstromes ist technisch praktisch nicht nutzbar. Lediglich die mechanische Strömungsenergie der Wassermassen selbst ließe sich über Wasserräder oder -propeller gewinnen. Die Strömungsleistung des Golfstromes wird auf weniger als 10^{13}–$10^{14}W$ beziffert, beträgt also weniger als 10% der transportierten Wärme [8]. Angenommen, man könnte diese Leistung tatsächlich mit einem ziemlich hoch angesetzten technischen Wirkungsgrad von $\eta=0,5$ nutzen, dann könnte man vielleicht gerade so den heutigen Leistungsbedarf der Welt decken. Aber um welchen Preis! In diesen Fall würde der oberflächennahe Fluss des Golfstromes beträchtlich geschwächt werden. Die entzogene Strömungsenergie würde zu einer deutlichen Verringerung des

Wärmetransportes führen, Nordeuropa würde sich deutlich abkühlen, globale Auswirkungen auf das Klima wären die Folge. So deutlich wie in unserem Beispiel treten die Auswirkungen regenerativer Energienutzung gegenwärtig nicht zu Tage.

Eine Schätzung des globalen Potenzials regenerativer Energien (ohne Solarenergie) ist über den Wirkungsgrad einer Carnot-Maschine möglich. Bei der Umwandlung der Sonnenenergie in mechanische Energieformen wie die Strömungsenergie von Wind und Wasser geht die Erde zunächst einen gewaltigen Schritt auf der thermischen „Energieentwertungsleiter" voran, denn sie nimmt die Sonnenstrahlung (mit einer Temperatur von etwa T=6000K) durch Strahlungsabsorption auf, wobei sich ihre untere Atmosphäre und der Boden im Mittel auf 288K erwärmen. Für eine Umwandlung der oberflächennahen thermischen Energie der Temperatur 288K in mechanische Energieformen stehen dann nur noch vergleichsweise geringe Temperaturunterschiede in der Größenordnung von $\Delta T \approx 10–20K$ zur Verfügung (typische Temperaturunterschiede zwischen hohen und niedrigen geographischen Breiten, an der Grenze von Land- und Wassermassen oder bei Nutzung des Aufwindes in der Atmosphäre). Mithin kann von der in Bodennähe vorhandenen thermischen Energie allerhöchstens noch der Anteil

$$\eta \approx \frac{20K}{T_B} = \frac{20K}{288K} = 0,07 \tag{12}$$

zur Umwandlung in mechanische Energieformen abgezweigt werden. Im globalen Mittel gelangen je Quadratmeter Erdoberfläche etwa 240W Sonnenstrahlung zum Erdboden (mit den in Gleichung (5) gemachten Annahmen), insgesamt können davon also höchstens $17W/m^2$ mechanischen Energieformen – also zum Beispiel Wind- und Wasserströmungen – zufließen. Die tatsächlichen Wirkungsgrade sind meist deutlich geringer. Auf die Oberfläche der Erde umgerechnet ergibt sich mit dem in Gleichung (12) berechneten Wirkungsgrad eine Leistung von $9 \cdot 10^{15} W$. Allerdings würde bei einer Nutzung dieser Leistung jedes Ökosystem der Erde zugrunde gehen, da der Stofftransport durch Wasser und Wind ausbleiben würde.

Auch regenerative Energien eröffnen unserer Zivilisation keinen unbeschränkten Wachstumshorizont. Wir werden diese Energieformen dringend benötigen, um das akute Problem des anthropogenen Treibhauseffektes in den nächsten Jahrzehnten zu lösen. Wenn der Umbau der Energiewirtschaft gelingt, dann werden wir – bei unbeschränktem Wachstum – jedoch bald bemerken, dass auch diese Energien „übernutzt" werden können. An einer ho-

cheffizienten Energieentwertung und dem Verlassen des Wachstumspfades führt kein Weg vorbei.

Begrenzender Faktor	Leistungslimit	Erreicht in Jahren bei einem Wachstum von 4%	2%
Erreichung der Strömungsleistung des Golfstromes	10^{13}–10^{14}W	Näherungsweise erreicht	
Nutzung aller regenerativer Ressourcen der Erde (ohne direkte Sonnennutzung)	$9 \cdot 10^{15} W$	167	329

Tabelle 2: Absolute Leistungsgrenzen und Zeithorizonte für den Einsatz regenerativer Energien (ohne Solarenergie)

Literatur:

[1] Meadows, D. H. et al.: The Limits to Growth, Universe Books, New York, 1972
[2] Meadows, D. et al.: Die neuen Grenzen des Wachstums, 4. Auflage, DVA, Stuttgart, 1992
[3] International Energy Agency: World Energy Outlook 2002, Paris, 2002
[4] BP Weltenergiestatistik, Juni 2005, http://www.deutschebp.de/liveassets/bp_internet/germany/STAGING/home_assets/assets/deutsche_bp/broschueren/de_coal_section_2005.pdf
[5] Alley, R. B. et al.: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen (Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger), Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des IPCC, verfügbar (9/2007) unter: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ipcc_entscheidungstraeger_agi.pdf
[6] Andrews, D. G: An Introduction to Atmospheric Physics, Cambridge University Press, 2000, S. 6–8
[7] Holdren, J. P.: Global thermal pollution, in: Holdren, J. P. (Ed.): Global ecology, New York, Harcourt Brace Jovanovich, 1971
[8] Heinloth, K.: Die Energiefrage, 2. Aufl., Vieweg, Braunschweig, 2003, S. 305

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 149–158*

Ulrich Cubasch

Die Rolle der Sonne im Klimasystem

Das Wechselspiel Sonne – Klima – Mensch

Das Klima ist laut Lehrbuch die für einen Ort, eine Landschaft oder einen größeren Raum typische Zusammenfassung der erdnahen und die Erdoberfläche beeinflussenden atmosphärischen Zustände und Witterungsvorgänge während eines längeren Zeitraums – gekennzeichnet durch eine charakteristische Verteilung der häufigsten, mittleren und extremen Werte.

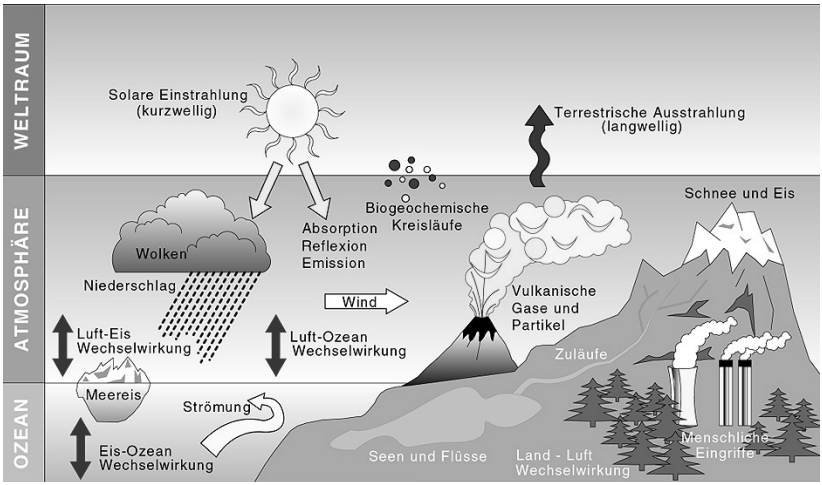

Bild 1: Das Klimasystem und seine Komponenten

Das Klima entsteht durch die Wechselwirkung der Komponenten des Klimasystems (Bild 1). Eine Komponente ist die Atmosphäre, die mit der Hydrosphäre (Ozean und Wasserkreislauf), der Kryosphäre (Eis und Schnee), der Biosphäre (Pflanzen und Tiere), der Pedosphäre (Boden) und der Lithosphäre (Gestein) in Wechselwirkung steht. Die unterschiedlichen Zeitskalen, in de-

nen die Klimasubsysteme schwanken, bestimmen die Dynamik des Klimasystems. Die Schwankungen des Untersystems Atmosphäre beispielsweise sind gemeinhin als „Wetter“ bekannt: Wolken und Luftdruckgebiete verändern sich innerhalb weniger Stunden und Tage. Die Tiefenströmungssysteme der Ozeane oder die Zustände großer Eismassen dagegen wandeln sich in Zeitskalen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden. Die Schwankungen innerhalb der Sphären sowie die gegenseitige Beeinflussung der Klimasubsysteme bezeichnet man als „Klimarauschen“.

Im Klimasystem können kleine interne Störungen und externe Anregungen durch nichtlineare Wechselwirkungen potenziell große Wirkungen hervorrufen. Zu den externen Anregungen gehören Veränderungen in der Sonneneinstrahlung, bedingt dadurch, dass sich die Bahn der Erde um die Sonne sowie die Neigung der Erdachse mit der Zeit ändern. Nach der Theorie von Milankovic (1941) ist dieser Effekt für das Wechselspiel von Warm- und Eiszeiten auf der Erde verantwortlich. Auch die Strahlungsenergie, die die Sonne liefert, ist nicht zeitlich konstant, sondern unterliegt Schwankungen. Am bekanntesten sind hier wohl der ca. 11-jährige Schwabe-Zyklus und der ca. 80-jährige Gleißberg-Zyklus. Vulkanismus zählt man ebenfalls zu den externen Antrieben.

In der aktuellen Klimadebatte werden die anthropogenen Faktoren, also der zusätzliche Treibhauseffekt und die Schadstoffbelastung der Atmosphäre, separat betrachtet und den externen Antrieben gegenüber gestellt. Es treten dabei drei grundsätzliche Fragen auf:

1. Wie groß war die Klimavariabilität, bevor der Mensch sie beeinflusst hat?
2. Welcher Anteil der derzeitig beobachteten Klimaschwankungen ist natürlichen, welcher anthropogenen Ursprungs?
3. Inwieweit beeinflusst die dekadische Sonnenvariabilität das heutige Wetter und Klima, und über welche Mechanismen?

Einen Teil dieser Fragen kann man über Proxy-Daten beantworten. Einen Überblick über die dreidimensionalen Zusammenhänge gewinnt man jedoch nur mit Hilfe von komplexen Klimamodellen.

Klimamodelle

Klimamodelle beschreiben das Klimasystem mit Hilfe physikalisch-mathematischer Gleichungen, die dann mit Hilfe eines Computers gelöst werden. Hierzu werden die Erdatmosphäre sowie der Ozean in Gitterzellen zerlegt. Diese Gitterzellen haben heutzutage eine Kantenlänge von typischerweise 250 bis 500 km in der Horizontalen und 9–40 Schichten in der Vertikalen.

Vorgänge, die innerhalb einer Gitterzelle ablaufen, wie z. B. Wolkenbildung, werden parametrisiert, d. h. aus den an den Rändern der Gitterzelle bekannten Werten hergeleitet.

Die heutigen Klimamodelle sind häufig Weiterentwicklungen von Wettervorhersagemodellen, was den Vorteil hat, dass sie schon routinemäßig erprobt worden sind. Die Klimamodelle werden „geeicht", indem man mit ihnen das heutige Klima nachrechnet und mit den Beobachtungen vergleicht. Um den Effekt der 11-jährigen Sonnenschwankung zu analysieren, muss man die Stratosphäre berücksichtigen und die chemisch-physikalischen Wechselwirkungen in der hohen Atmosphäre mit berechnen.

Mittlerweile sind die Rechenanlagen so schnell geworden, dass man die Modelle auch für die Simulation des Klimageschehens für Zeiträume von mehreren Tausend Jahren einsetzen kann.

Klimasimulationen

Um die erste Frage zu beantworten „Wie groß war die Klimavariabilität, bevor der Mensch sie beeinflusst hat?" werden zwei Beispiele vorgestellt, die den Einfluss der Orbitalparameter und den der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung vor der Zeit der Industrialisierung wiedergeben:

Der Einfluss der Orbitalparameter

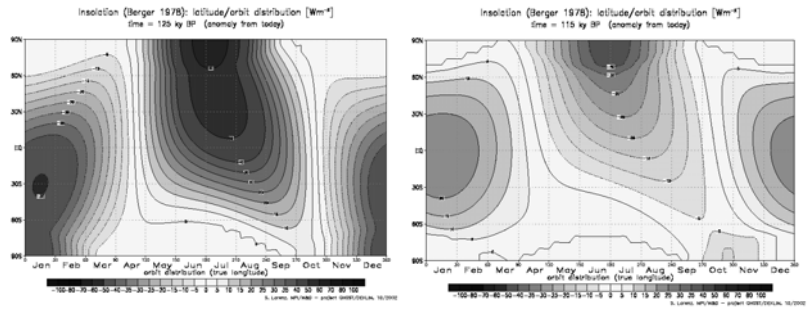

Bild 2. Die Anomalie der Sonneneinstrahlung von 125 000 Jahren vor heute (Eem, links) und vor 115 000 Jahren vor heute (Übergang in letzte Eiszeit, rechts). (nach Berger, 1978)

Vor ca. 125 000 Jahren vor heute wurde das Maximum der letzten Warmzeit (das sogenannte Eem) erreicht. Zu dieser Zeit lag die Sonneneinstrahlung nach den Berechnungen von Berger (1978) auf der Nordhemisphäre der Erde

im Sommer ca. 10–20 % höher als heute, in den Tropen dagegen war die Einstrahlung vermindert (Bild 2 links). Die veränderte Verteilung der Sonneneinstrahlung führte dazu, dass es in unseren Breiten deutlich wärmer war als zu Beginn der Industrialisierung (Bild 3). Die Arktis war weitgehend abgeschmolzen. Das Ergebnis der Klimasimulationen deckt sich mit Klimarekonstruktionen aus Pollen (Velischko et al. 2005; Kaspar et al. 2005). Vor 115 000 Jahren gab es dann umgekehrte Einstrahlungsbedingungen: Die hohen Breiten der Nordhalbkugel empfingen im Sommer ca. 10% weniger Einstrahlung als heute, die Tropen dafür deutlich mehr. Die hohen und mittleren Breiten der Nordhemisphäre kühlten sich ab, die Sahara sowie Indien dagegen erwärmten sich (Bild 3). Schnee, der im Winter auf den Landmassen abgelagert wurde, wurde im Sommer nicht mehr abgeschmolzen, so dass es zur Ausbildung eines Eispanzers über dem Nordamerikanischen Kontinent und Skandinavien kam (Kaspar und Cubasch, 2007).

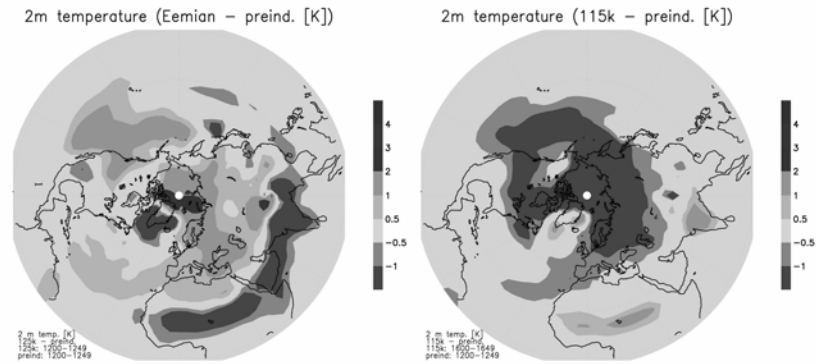

Bild 3: Die Veränderung der bodennahen Lufttemperatur im Vergleich zu vorindustriellen Bedingungen. 125 000 Jahre vor heute (links); 115 000 Jahre vor heute (rechts). (nach Kaspar et al. 2007)

Der Einfluss der langperiodischen Sonnenintensitätsschwankungen

Man geht davon aus, dass während der letzten 1200 Jahre die Orbitalparameter sich nicht nennenswert verändert haben und dass vor Beginn der Industrialisierung der Einfluss des Menschen auf das globale Klima gering war. Für diesen Zeitraum gibt es keine direkten Temperaturmessungen, doch eine Vielfalt von historischen Dokumenten (Ernteerträge, Deichreparaturkosten, Segelzeiten von Schiffen) sowie Proxy-Daten (also etwa Baumringe oder Sedimentbohrkerne), aus denen man das historische Klima rekonstruieren kann. In Klimasimulationen der letzten 1200 Jahre (IPCC, 2007) wurden die Son-

nenaktivität, der Vulkanismus (beide aus Proxy-Daten hergeleitet), sowie die Treibhausgase (die bis zu Beginn der Industrialisierung überwiegend natürlichen Ursprungs waren), als Antrieb vorgeschrieben (Bild 4). Die Herleitung der Antriebsdaten aus Proxy-Informationen hat erhebliche Unsicherheiten in der Abschätzung der Sonnenintensität zur Folge (Bild 4b). Die unterschiedlichen Klimamodelle sowie die Unsicherheiten in den Antriebsdaten führen zu beträchtlichen Streuungen des simulierten Klimas. Insgesamt kann man jedoch im simulierten Temperaturverlauf die „Mittelalterliche Warmzeit" (ca. 900–1350), die „Kleine Eiszeit" (1400–1850) sowie die anthropogene Klimaerwärmung der Neuzeit erkennen (Bild 4d).

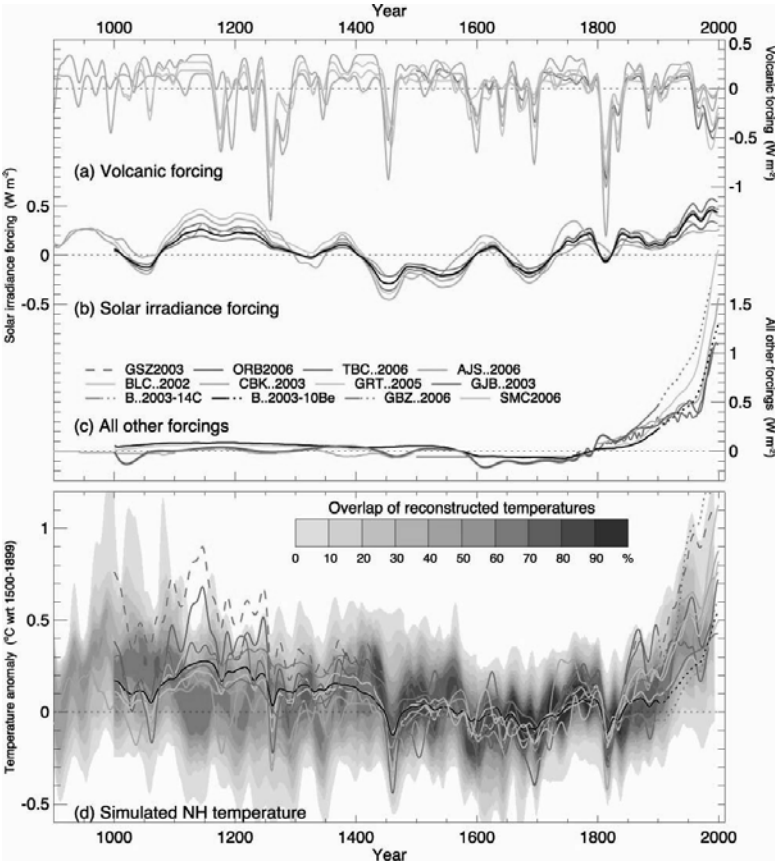

Bild 4: Bild Modell-Simulationen der letzten 1200 Jahre. (nach IPCC, 2007)

Die Modellsimulationen erlauben es auch, die zweite Frage zu beantworten: „Welcher Anteil der Klimavariabilität ist natürlichen, welcher anthropogenen Ursprungs?“

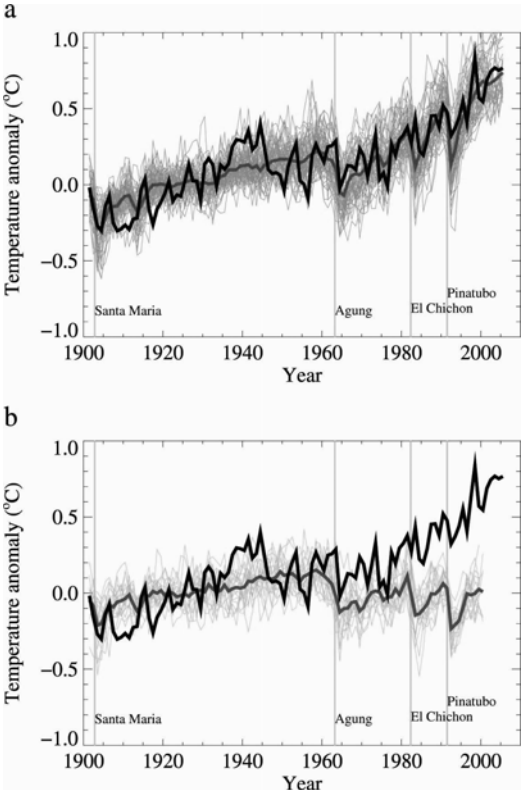

Bild 5: Änderungen der globalen Mitteltemperatur durch natürliche oder anthropogene Ursachen. a) natürliche und anthropogene Faktoren, b) nur die natürlichen Antriebe, d. h. solare Variabilität und Vulkanismus. Das blaue Band gibt die Modellhochrechnungen einschließlich einer Abschätzung ihrer Unsicherheiten wieder, die schwarze Kurve den beobachteten Klimaverlauf. (nach IPCC, 2007)

Hierzu hat man mit einer Vielzahl von Modellen Klimaexperimente durchgeführt (IPCC, 2007), in denen: a) nur die natürlichen und b) die natürlichen und die anthropogenen Klimaantriebe berücksichtigt werden. Wie man aus Bild 5 erkennen kann, muss man den natürlichen und anthropogenen Antrieb benutzen, um mit der Beobachtung eine optimale Übereinstimmung zu erhalten.

Der Einfluss des 11-jährigen Sonnenzyklusses

Für die langfristige Wetterprognose ist es wichtig zu wissen, „Inwieweit die dekadische Sonnenvariabilität das heutige Wetter und Klima beeinflusst, und über welche Mechanismen“.

Schon seit Beginn der regelmäßigen Beobachtung der Sonnenflecken Anfang des 17. Jahrhunderts haben sich die Forscher Gedanken gemacht, ob der 11-jährige Schwabe-Zyklus das Wetter und somit das Klima beeinflusst. Mit Hilfe von Satellitenbeobachtungen seit den 70er Jahren hat man festgestellt, dass die Sonnenflecken mit einer vermehrten Ausstrahlung von solarer Energie verbunden sind, wobei sich das Spektrum in Richtung UV verschiebt. Die Amplitude der 11-jährigen Schwankung beträgt ca. 1 W/m2, d.h. nur etwa 0.1 % der gesamten Sonnenstrahlung. Eine Übersicht über die möglichen Mechanismen bietet Bild 6.

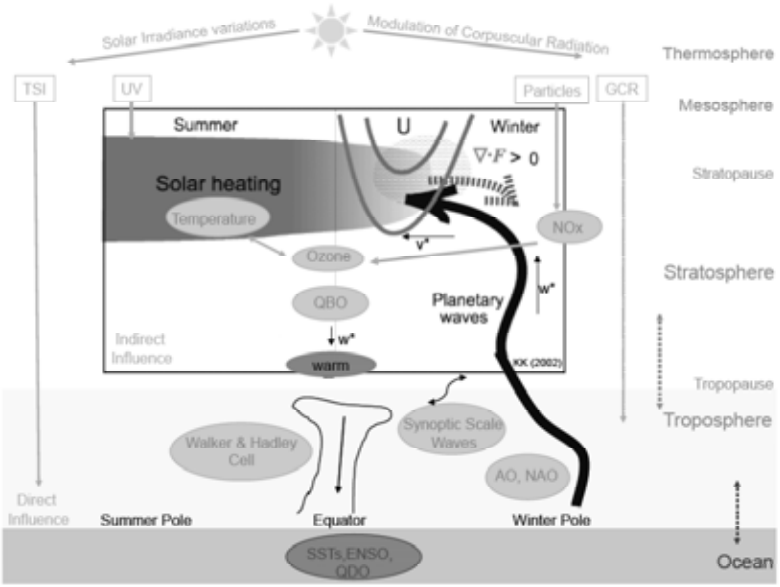

Bild 6: Die verschiedenen Auswirkungen der Sonne auf die Zirkulation der Erdatmosphäre (ohne die Orbitaleffekte). (nach Matthes et al. 2006)

Analysen von Beobachtungsdaten sowie Studien mit Klimamodellen (Cubasch et al. 1977; Meehl et al. 2008) zeigen, dass eine vermehrte Sonneneinstrahlung die Regionen mit geringer Bewölkung am Boden erwärmt, so dass

sich die Passatwindzirkulation verändert. Dieser direkte Effekt scheint die Anregung von El-Nino Ereignissen zu beeinflussen (White et al. 2003, White and Liu, 2008). Da El-Nino Ereignisse schon jetzt für Langfristwettervorhersagen in den Tropen und im Westen Nordamerikas eingesetzt werden, ergibt sich ein Potential, aus Sonnenintensitätsveränderungen langfristig Witterungsveränderungen vorherzusagen.

Labitzke et al (2002) weisen darauf hin, dass eine vermehrte Sonneneinstrahlung die Zirkulation in der Stratosphäre beeinflusst. Zwei zusätzliche Effekte treten neben der direkten thermischen Erwärmung der Stratosphäre auf: Zum einen wird die vermehrte UV-Strahlung vom Ozon absorbiert und führt damit zu einer verstärkten Erwärmung. Darüber hinaus führt die angestiegene UV-Strahlung durch photochemische Reaktionen zur Bildung von mehr stratosphärischem Ozon. Die Folge dieser indirekten Effekte ist eine Veränderung der Vertikalstruktur der Atmosphäre, die sich auch auf das Wettergeschehen auswirken kann (Matthes et al. 2006).

Ein weiterer Effekt, der diskutiert wird, ist der Einfluss interstellarer Teilchen auf die Wolkenentwicklung und somit auf das Klima (Svensmark und Friis-Christensen, 1997). Dieser Teilchenfluss wird durch die Sonnenaktivität moduliert, so dass die Sonne über diesen Umweg ebenfalls einen Einfluss auf das Klima hat. Dieser Effekt ist in Fachkreisen jedoch sehr umstritten.

Zusammenfassung

Die Sonne beeinflusst das Klimageschehen auf langen Zeitskalen über die Orbitalparameter, die für den Wechsel von Warm- und Eiszeiten verantwortlich scheinen. Die multidekadischen Sonnenintensitätsschwankungen (im Zusammenwirken mit dem Vulkanismus) sorgen für kleinere, aber doch deutlich spürbare Klimaschwankungen wie z. B. die „Mittelalterliche Warmzeit“ oder die „Kleine Eiszeit“. Sie sind jedoch nicht groß genug, um die globale Erwärmung, die seit Beginn der Industrialisierung beobachtet wird, alleine verursacht zu haben. Die 11-jährigen Sonnenschwankungen beeinflussen nachweisbar die Zirkulation in der Stratosphäre. Ihre Auswirkungen auf die Troposphäre und den Ozean konnten bisher nur ansatzweise nachgewiesen werden. Wegen ihrer mutmaßlichen Bedeutung für Langfristwettervorhersagen stehen sie im Fokus aktueller Forschungsprojekte.

Literatur

Berger, A. L.,1978: Long-term variations of daily insolation and Quaternary climate changes. J. Atmos. Sci., 35, 2362–2367

Gray, L.J., J. Beer, M. Geller, J.D. Haigh, M. Lockwood, K. Matthes ,U. Cubasch, D. Fleitmann, G. Harrison, L. Hood, J. Luterbacher, G. A. Meehl, D. Shindell, B. van Geel, W. White, 2009: Solar Influences on Climate**,** Reviews in Geophysics, submitted

Cubasch, U., G. C. Hegerl, R. Voss, J. Waszkewitz und T. C. Crowley, 1997: Simulation with an O-AGCM of the influence of variations of the solar constant on the global climate. Climate Dynamics, 13, 757–767

IPCC 2007: Climate Change – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Kaspar, F., N. Kühl, U. Cubasch, T. Litt, 2005: A model-data-comparison of European temperatures in the Eemian interglacial. Geophysical Research Letters, 32, L11703, doi:10.1029/2005GL022456

Kaspar, F. and U. Cubasch, 2007: Simulations of the Eemian interglacial and the subsequent glacial inception with a coupled ocean-atmosphere general circulation model. In: The climate of the past. Eds. F. Sirocko, M. Claussen, M.F. Sanchez-Goni and T. Litt. Development in Quaternary Science, 7, The Climate of Past Interglacials, Elsevier

Labitzke, K., J. Austin, N. Butchart, J. Knight, M. Takahashi, M. Nakamoto, T. Nagashima, J. Haigh, and V. Williams, 2002: The global signal of the 11-year solar cycle in the stratosphere: Observations and model results, J. Atmos. Terr. Phys., 64, 203–210

Matthes, K., Y. Kuroda, K. Kodera and U. Langematz, 2006: Transfer of the solar signal from the stratosphere to the troposphere: Northern winter, J. Geophys. Res., 111, 10.1029/2005JD006283

Meehl, G.A., J.M. Arblaster, G. Branstator, and H. van Loon, 2008: A coupled air-sea response mechanism to solar forcing in the Pacific region, J. Climate, 21, 2883–2897

Milankovic, M, 1941: Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Académie royale serbe. Éditions speciales; 132: XX, 633, Belgrad

Svensmark, H. und E. Friis-Christensen, 1997: Variations of cosmic ray flux and global cloud coverage – A missing link in solar-climate relationships, J. Atmos. Terr. Phys., 59, 1225–1232

Velichko, A.A., E.J. Novenko, V.V. Pisareva, E.M. Zelikson, T. Böttger, und F.W. Junge, 2005: Vegetation and climate changes during the Eemian Interglacial in

Central and Eastern Europe: comparative analysis of pollen data. – Boreas vol. 34, 207–219

White, W.B., M.D. Dettinger and D.R. Cayan, 2003: Sources of global warming in the upper-ocean on decadal period scales, J. Geophys. Res., 108 (C8), 3248, doi:10.1029/2002JC001396

White, W.B. und Z. Liu, 2008: Resonant response of the quasi-decadal oscillation to the 11-yr period signal in the Sun's irradiance, J. Geophys. Res., 113, C01002, doi:10.1029/2006JC004057

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *103(2009), 159–161*

Offener Brief zur bundesweiten Einführung des Astronomieunterrichts in der Bundesrepublik

Auf Initiative des sächsischen Astronomielehrers Lutz Clausnitzer wurde in den vergangenen Monaten ein „Offener Brief an Bund und Länder“ erarbeitet, in dem in wohlbegründeter Argumentation die flächendeckende Einführung eines obligatorischen Astronomieunterrichts gefordert wird.

Der Brief stieß auf große deutschlandweite Zustimmung, fand zudem Unterstützung in internationalen Gremien. Die Unterzeichner sind Astronomen, Physiker, Geographen, Mathematiker, Informatiker, Chemiker, Biologen, Ingenieure, Mediziner, Betriebswirte, Journalisten, Historiker, Philosophen, Kunstschaffende, Wissenschaftskommunikatoren, Manager, Schulleiter und Lehrer. Unter ihnen befinden sich alle neun deutschen Raumfahrer und mehrere Mitglieder der Leibniz-Sozietät.

Zu den Institutionen, für die im Namen der Mitglieder die jeweiligen Präsidenten bzw. Vorsitzenden den Brief unterstützen, gehören:

International Astronomical Union (Vertretung von 65 astronomischen Gesellschaften in 86 Ländern und 9644 Einzelmitgliedern)
International Astronautical Federation (Vertretung von 200 Gesellschaften und Agenturen aus 47 Ländern)
Internationaler Förderkreis für Raumfahrt
European Astronomical Society
Deutscher Kulturrat
Leibniz-Sozietät der Wissenschaften
Rat Deutscher Planetarien
Vereinigung der Sternfreunde (mit mehr als 4000 Mitgliedern)

Da gerade im „Internationalen Jahr der Astronomie“ der gelungene Versuch unternommen wurde, die Astronomie vielen Menschen nahe zu bringen, in den sich auch die Leibniz-Sozietät einbrachte, wird im folgenden der Brief abgedruckt. Der vollständige Brief mit der Liste aller Unterzeichner kann im Internet unter www.ProAstro-Sachsen.de abgerufen werden.

Offener Brief an Bund und Länder

Warum die Astronomie in drei Bundesländern seit 1959 Pflichtfach ist und warum sie es bundesweit werden sollte

12. November 2009

Sehr geehrte Politiker(innen), sehr geehrte Kolleg(inn)en,

unsere Kultur ist geprägt von der Kenntnis des Sternenhimmels. Die Astronomie der Griechen stellte das Denken und Handeln des Menschen erstmals in den Kontext des gesamten Kosmos'. Die ontologischen Fragen „Woher kommen wir? Wer sind wir? Wohin gehen wir?" veranlasste die Menschen zu versuchen, durch Himmelsbeobachtungen ihren Platz im Universum zu bestimmen. Religionen, Mythen, Kunst, Archäologie und Wissenschaftsgeschichte zeigen die Verbundenheit des Menschen mit dem gestirnten Himmel. Astronomie und Astronomiegeschichte sind Kulturgeschichte.

Die modernere Astronomie erkannte, dass überall im Kosmos die gleichen Naturgesetze gelten wie auf der Erde und erklärte die Herkunft der chemischen Elemente. Heute stimuliert die Astronomie viele Wissenschaften, ist Technologietreiber und ein Fundament der Raumfahrt. Mit der Raumfahrt erkunden wir den Weltraum und verbessern die Qualität unseres täglichen Lebens, etwa durch Satelliten für Wettervorhersage, Kommunikation, Navigation, Flugsicherheit, Umweltkontrolle, Klimaforschung und den Katastrophenschutz. Astronomie und Raumfahrt bringen Universitäten, Forschungsinstituten, Industrie und Mittelstand eine wachsende Zahl von Aufträgen. Das fördert die wirtschaftliche Entwicklung, erhöht andererseits aber auch die Anforderungen an das Fachpersonal, wo den Kosmos betreffende Kompetenzen zunehmend gefragt sind.

Allgemein bildende Schulen und Universitäten müssen sich diesen Erfordernissen stellen. Dabei geht es zum einen um eine gediegene astronomische Grundbildung aller und zum anderen darum, den interdisziplinären Charakter der Astronomie zu nutzen, um eine von Fächergrenzen freie Gesamtsicht auf Natur und Gesellschaft zu generieren.

Die besten Voraussetzungen und Ansätze findet man dafür in Thüringen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern, wo die Astronomie seit 1959 Pflichtfach ist und (in Jena, Halle und Rostock) fast ebenso lange Astronomielehrer ausgebildet werden. Aus den dort gesammelten Erfahrungen ergibt sich die Notwendigkeit, den regulären Astronomieunterricht auf alle Bundesländer auszudehnen. Gründe sind:

1. Medien berichten vielfältig über das All. Die Schule sollte nicht nur weitere Fragmente hinzufügen, sondern mit den Schülerinnen und Schülern ein „Regalsystem" bauen, in das sie den Weltraum betreffende Erkenntnisse ein Leben lang einordnen können. Dieses „Regalsystem" ist nichts anderes als die Fachsystematik der Astronomie.
2. Das Wissen über den Kosmos ist so komplex geworden, dass Lehrer den Anforderungen des Astronomie Lehrens nur dann gewachsen sind, wenn sie Astronomie für das Lehramt studiert, ein Zusatzstudium Astronomie absolviert oder im Ausnahmefall durch umfassendes Selbststudium eine vergleichbare Qualifikation erworben haben.
3. Im Fach Astronomie greifen die Schülerinnen und Schüler auf Wissen und Können aus dem Mathematik-, Informatik-, Technik-, Physik-, Chemie-, Biologie-, Geografie-, Geschichtsunterricht und auf Elemente der Philosophie, Religion, Ethik und Kunst zurück und wenden es in einem neuen Kontext an. Diese Strategie der Reaktivierung, Festigung und Vertiefung fördert Multiperspektivität und entwickelt intelligentes Wissen mit einem hohen Grad flexibler Anwendbarkeit. Optimal gelingt das in Klassenstufe 10, weil die jungen Menschen dann über wichtige Vorleistungen verfügen und zugleich die große Mehrheit von ihnen noch in den Genuss dieses Unterrichts kommen kann.

4. Wenn Astronomie nicht nur auf andere Fächer verteilt, sondern in ihrem natürlichen Zusammenhang gelehrt wird, ist sie eine Plattform für Fächer übergreifendes Arbeiten.
5. Da viele Himmelserscheinungen einer jährlichen Periodizität unterliegen, bietet ein ganzjähriger Astronomieunterricht optimale Möglichkeiten, Beobachtungen zu integrieren.

Astronomieunterricht unterstützt viele andere Fächer, fördert vernetztes Denken und bietet den jungen Menschen zahlreiche Gelegenheiten, ethische Werte zu erschließen und Medienkompetenz zu erwerben. Beispielsweise ist das Fach Astronomie besonders geeignet, dem reichlichen Astrologieangebot der Medien eine wissenschaftliche Sichtweise entgegen zu setzten. Lehrer anderer Fächer verfügen eher selten über die dazu nötigen astronomischen, astronomiehistorischen und astronomiedidaktischen Voraussetzungen.

Allerdings können diese Bildungs- und Erziehungspotenzen auch in den oben genannten Bundesländern nur teilweise genutzt werden, weil dieser Unterricht auf nur eine Jahreswochenstunde in nur einem einzigen Schuljahr begrenzt ist. Wir empfehlen daher

bundesweit zwei Jahreswochenstunden Astronomie im letzten Schuljahr der Mittelstufe für alle Schüler und eine Flächen deckende Ausbildung von Astronomielehrern.

Zudem sollten astronomische Inhalte **ab der Grundschule in allen allgemein bildenden Schulen** eine Rolle spielen und **alle Schüler** erreichen. Dem Pflichtfach Astronomie am Ende der Mittelstufe sollte sich in Gymnasien ein fakultativer Oberstufenkurs anschließen.

Ein Wort zu anderen Fächerwünschen: Mitunter werden Wirtschaft, Rechtskunde und Gesundheitserziehung als eigenständige Unterrichtsfächer gefordert. Ökonomie und Jura sind aber zentrale Komponenten des unmittelbaren gesellschaftlichen Alltags. Deren allgemeinbildungsrelevanten Grundlagen können in Gesellschaftskunde im entsprechenden Kontext sogar noch lebensverbundener und effektiver vermittelt werden als in separaten Fächern. Analog passt das Thema Gesundheit inhaltlich gut in den Biologieunterricht. Die Natur- und Kulturwissenschaft Astronomie lebt aber vom Zusammenspiel so vieler Disziplinen, dass sie sich nirgendwo einordnen lässt. Nicht umsonst wird sie von den Vereinten Nationen als „basic science" hervorgehoben.

Im Internationalen Jahr der Astronomie 2009

Die Unterzeichner,

die mit der Vielfalt ihrer Fachgebiete den gesamtgesellschaftlichen Charakter des Anliegens dokumentieren.