

Ulf Faller

# Der lange Schatten des Kopernikus

Wie die moderne Kosmologie den christlichen  
Anthropozentrismus überwindet



Ulf Faller

# **Der lange Schatten des Kopernikus**





Ulf Faller

# **Der lange Schatten des Kopernikus**

**Wie die moderne Kosmologie den christlichen  
Anthropozentrismus überwindet**

Tectum Verlag

Ulf Faller

Der lange Schatten des Kopernikus. Wie die moderne Kosmologie den christlichen Anthropozentrismus überwindet

© Tectum – ein Verlag in der Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden 2018

E-PDF. 978-3-8288-7054-3

(Dieser Titel ist zugleich als gedrucktes Werk unter der ISBN 978-3-8288-4176-5 im Tectum Verlag erschienen.)

Umschlagabbildung: Bild der Andromeda-Galaxie von Werner Neuhold, Antares - NÖ Volkssternwarte mit Dank für die Genehmigung

Bild des geozentrischen Universums: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geocentric\\_universe\\_-\\_Hartmann\\_Schedel\\_-\\_Liber\\_chronicarum\\_mundi\\_-\\_1493.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geocentric_universe_-_Hartmann_Schedel_-_Liber_chronicarum_mundi_-_1493.png)

Alle Rechte vorbehalten

Besuchen Sie uns im Internet  
[www.tectum-verlag.de](http://www.tectum-verlag.de)

### **Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



# Inhaltsverzeichnis

**Vorwort** ..... IX

**Prolog: Nikolaus Kopernikus** ..... XV

**Teil 1: Die Genese der christlich-geozentrischen Kosmologie** ..... 1

**Der geozentrische Kosmos der Antike** ..... 2

    Mesopotamische Astronomie ..... 2

    Sonnen- und Mondkalender ..... 3

    Hesiod ..... 4

    Wanderung der Sonne und die Bewegungen der Fixsternsphäre ..... 7

    Hesiods Bauernkalender ..... 10

    Drei Bewegungen der Fixsternsphäre ..... 11

    Die sieben Planeten der Antike ..... 14

    Die Geburt der wissenschaftlichen Kosmologie mit der ionischen Naturphilosophie ..... 20

    Aristoteles und die wissenschaftliche Begründung des geozentrischen Weltbildes .. 25

    Astronomie im hellenistischen Alexandria ..... 32

    Hipparchos von Nicäa und weitere Bewegungen der Fixsterne ..... 39

    Der Einfluss Platons auf die Kosmologie ..... 41

    Zusammenfassung des geozentrischen Weltbildes: Der Almagest des Claudius Ptolemäus ..... 43

    Das Schicksal der Schule von Alexandria ..... 48

<b>Das christlich-geozentrische Weltbild</b> .....	49
Kulturverlust im Zuge der Christianisierung .....	49
Die voraristotelische Kosmologie des christlichen Mittelalters .....	53
Die arabisch-islamische Periode .....	55
Übersetzerzentrum Toledo und die Universität Paris .....	58
Die Kluft zwischen der aristotelischen Physik und den christlichen Glaubenswahrheiten .....	61
Thomas von Aquin und das Verhältnis von Glauben und Vernunft .....	63
Die Erde im Zentrum und Gott über allem – der christianisierte aristotelische Kosmos .....	68
Der kosmologische Gottesbeweis des Thomas von Aquin .....	73
Würdigung des christlich-geozentrischen Weltbildes .....	74
 <b>Teil 2: Die kopernikanische Wende</b> .....	77
 <b>Die kopernikanische Wende</b> .....	78
Die Renaissance-Astronomen Georg von Peurbach und Regiomontanus .....	78
Nikolaus Kopernikus: „De revolutionibus orbium coelestium“ .....	82
Tycho Brahe – der Empiriker .....	95
Johannes Kepler, der Mathematiker, der von einer neuen Mystik träumt .....	99
Galileo Galilei .....	108
Galileo und die Kirche .....	113
Von Galileo zu Newton. Die träge Masse .....	116
Newtons Physik – Der Sargnagel des geozentrischen Weltbildes .....	118
Die Verbindung von irdischer und kosmischer Physik .....	121
Das Gravitationsgesetz .....	125
Newton: Magier oder Aufklärer? .....	127

Der letzte Baustein des heliozentrischen Weltbildes: Bestimmung der Astronomischen Einheit .....	130
Zusammenfassung: Das heliozentrische Weltbild, in dem die Sonne nicht mehr im Zentrum steht .....	134
<b>Teil 3: Das kopernikanische Prinzip in der modernen Kosmologie .....</b>	<b>139</b>
<b>„Warum wird es nachts dunkel?“ – Der Weg zur modernen Kosmologie .....</b>	<b>140</b>
Himmel und Erde physikalisch verwoben .....	140
Warum wird es nachts dunkel? .....	141
Revolutionen der beobachtenden Astronomie .....	144
Ein immer tieferer Blick ins All und Entfernungsbestimmungen im Universum .....	150
Die große Debatte von 1920 .....	156
Das Universum: statisch oder sich entwickelnd? .....	161
Der „Rand“ des Universums und warum es nachts doch dunkel wird .....	170
<b>Sind wir allein im Universum? – Das kopernikanische Prinzip auf dem Prüfstand .....</b>	<b>173</b>
Sind wir allein im Universum? .....	173
Was suchen wir, wenn wir nach Leben im Universum fragen? .....	175
Biochemie des Lebens oder: Sind wir Kohlenstoff-Wasser-Chauvinisten? .....	178
Das kopernikanische Prinzip .....	183
Die Erde aus der „Weltraumperspektive“ als Modellfall .....	185
Sind wir allein im Universum: Die Drake-Gleichung und das kopernikanische Prinzip auf dem Prüfstand .....	196
Anthropozän: Auftakt zum Sapiezoikum oder apokalyptische Episode .....	210



<b>Warum der Dialog zwischen Naturwissenschaft und Religion unwissenschaftlich, der zwischen Naturwissenschaft und der Philosophie umso wichtiger ist</b> .....	215
Naturwissenschaft und Religion .....	215
... und Philosophie? .....	224
<b>Kränkung und Katharsis</b> .....	229
Sigmund Freud und die kosmologische Kränkung des Menschen .....	229
1574: „Loblied auf die himmlischen Wissenschaften“ des Tycho Brahe .....	230
Seit 1970: Die Voyager-Mission .....	233
Warum „narzisstische Kränkung“? .....	237
Strategien, die anthropozentrische Weltsicht zu retten .....	244
Konsequenzen des kulturellen Anthropozentrismus .....	249
Katharsis .....	251
<b>Nachwort: Kopernikus als humanistisches Bildungsthema</b> .....	255
<b>Dank</b> .....	265
<b>Zeittafel</b> .....	267
<b>Anmerkungen</b> .....	269
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	287
Abbildungen .....	293

# Vorwort

Vor einem halben Jahrtausend rückte Nikolaus Kopernikus die Erde aus dem Zentrum des Kosmos und überließ diesen Ort der Sonne. Die Erde wurde zu einem Planeten unter anderen. Diese astronomische Verschiebung fordert den Menschen bis heute auf, sich neu im Kosmos zu verorten. Denn sie schließt die Frage ein: Ist die Erde – und damit die Menschheit auf ihr – tatsächlich so einzigartig und im Fokus des kosmischen – und das heißt für viele göttlichen – Geschehens, wie der unmittelbare Sinnenschein der um die Erde kreisenden Gestirne uns zu glauben nahelegt? Denn was unterscheidet die Venus und den Mars von der Erde, wenn beide in kosmischer Nachbarschaft die Sonne umkreisen? Warum sollten nicht auf der Venus Venusianer und auf dem Mars Marsianer leben? Warum könnten nicht neben dem Menschen andere Zivilisationen existieren; vielleicht sogar fortgeschrittenere, „in Gottes Augen“ wichtigere? Noch Immanuel Kant war 1755 von ihrer Existenz überzeugt.

Heute wissen wir, dass dem nicht so ist. Die Venus ist ein Glutofen, der Mars in Kälte erstarrt, aber immer noch ein Kandidat für extraterrestrisches Leben, wenn auch „nur“ für „belebten Schleim“. Die Erde ist die lebensfreundliche Oase in unserem Sonnensystem, das schon auf dem Mond keine vergleichbaren Bedingungen bereithält. Wir wissen heute, dass die Erde einsam, unvorstellbar einsam im Universum ihre Runden dreht – und mit ihr wir Menschen mit allem, was uns wichtig ist. Unsere Erde steht weder im Zentrum unseres Sonnensystems noch unserer Milchstraße. Sie kreist mit unserer Sonne und gemeinsam mit Milliarden und Abermilliarden anderer Sonnen um das Zentrum unserer Galaxie. Diese wiederum ist nur ein Teil einer ebenso großen Zahl weiterer Galaxien, die in Strömen das All durchwandern.

Die schiere Größe und Vielfalt des Weltalls allerdings lässt vermuten, dass unsere Schicksalsgemeinschaft Erde kein Einzelfall darstellt. So lebensfeindlich das Universum ist, die beobachtende Astronomie entdeckt aktuell eine Vielzahl weiterer Planeten. Unter ihnen auch sol-

che, die im Vergleich zur Erde ebenso gute oder gar bessere Lebensbedingungen bereitstellen könnten. „Wir sind einsam, aber wir sind nicht die Einzigen“, lautet die Botschaft moderner Kosmologie: „Die Erde ist ein besonderer Ort im All, aber kein einzigartiger, privilegierter.“ Seit den 1960er-Jahren nennt man dieses neue Paradigma das „kopernikanische Prinzip“. Denn es ist die Fortsetzung des Weges, den Nikolaus Kopernikus mit der Begründung des heliozentrischen Weltbildes eingeschlagen hatte.

Heute sind wir daran gewöhnt, von astronomischen Größenordnungen und gigantischen Supernovae im Universum zu erfahren. Diese Befunde zur Kenntnis zu nehmen, ist das eine. Etwas ganz anderes bedeutet es zu realisieren, was das „neue Bild vom Universum“ für unser Selbstbild bedeutet! Sigmund Freud sprach mit Blick auf die kopernikanische Wende von der ersten narzisstischen Kränkung des Menschen. Es lohnt, sich in das geozentrische Weltbild einzudenken oder besser einzufühlen, um zu begreifen, wie harmonisch sich diese Kosmologie mit der biblisch-christlichen Weltsicht vereinbaren ließ. Man versteht dann, worum die großen Geister gerungen haben, die die kopernikanische Wende Schritt für Schritt vollzogen. Keiner der Protagonisten dieses philosophisch-naturwissenschaftlichen Dramas hatte sein christliches Verständnis aufgegeben, weder Kopernikus, noch Brahe, Kepler, Galilei oder Newton. Jeder hatte auf seine Weise versucht, Wege zu finden, die sich erweiternde Kosmologie mit dem alten Glauben zu verbinden. Doch dieser Spagat ist vor den heutigen Befunden, wenn überhaupt, nur sehr schwer möglich.

Und das ist gut so! Denn seither fordert die moderne Kosmologie den Menschen auf, sich selbst nicht mehr als Nabel der Welt zu begreifen. Als Ebenbild Gottes, das durch den Ungehorsam der ersten Menschen zum gefallenem Geschöpf wurde, um dessen Erlösung willen Gott seinen Sohn zum Opfertod bestimmte. So lautet denn die biblische Kernbotschaft, dass es dem Schöpfer des Kosmos ganz wesentlich um das Heil des gefallenem Menschen geht. Angesichts der zeitlichen und räumlichen Größe und Vielfalt, in der sich das Universum heute darstellt, werden wir lernen müssen, bescheidener über uns selbst zu denken. So wunderbar unsere Erde ist, so wenig in kosmischer Nachbarschaft ihresgleichen zu finden sind – mit großer Wahrscheinlichkeit ist unsere Erde nicht die einzige, auf der eine zivilisatorische Entwick-



lung begonnen hat. Wenn dem so ist, sind wir Menschen nicht der Dreh- und Angelpunkt, um dessentwillen das Universum existiert. Wenn es überhaupt sinnvoll ist, von einem Grund für die Existenz des Kosmos zu sprechen.

Wir allerdings sind mit dem Schicksal unserer Erde verbunden – so oder so. Lernen wir, als kulturtragender Symbiont versöhnt mit der Biosphäre der Erde zu leben, haben wir auf dieser unserer Erde eine Zukunft für unvorstellbar viele Generationen. Bleiben wir Parasit, kann das Zeitalter des Menschen, das Anthropozän, ein kurzes Intervall der Erdgeschichte werden. Das ist die Schicksalsfrage, die sich der Spezies *Homo sapiens* auf dem dritten Planeten unseres Sonnensystems in einem Kosmos stellt, der nicht den Eindruck erweckt, als ob er für die Existenz unserer Spezies geschaffen worden sei. Da ist kein gnadenvoller Gott, der den Rechtgläubigen am nahen Ende aller Tage ein „neues Jerusalem“ erbaut, wie das Finale der Bibel<sup>1</sup> in Aussicht stellt. Sondern da sind wir Menschen, die angesichts der Weiten des Universums begreifen, wie sehr unsere Zukunft von einer lebendigen Biosphäre unseres Planeten abhängt, um die sich zu bemühen das Gebot der Stunde ist. Zentral für den Menschen des 21. Jahrhunderts ist nicht die Frage nach dem rechten Glauben. Zentral ist die Frage, ob das Leben auf der Erde mit oder ohne uns weitergeht. Wie auch immer wir uns entscheiden: Die Gestirne des Universums werden unbekümmert weiter ihre Runden drehen und auch das Leben auf der Erde hat schon größere Katastrophen überstanden, aus denen es mit neuer Formenvielfalt hervorgegangen ist. Und die Zeit, die ihm bleibt, reicht für die Entwicklung weiterer kulturtragender Lebensformen. Die Geschichte des *Homo sapiens* wird nicht deshalb gut ausgehen, weil „wir“ Sinn und Zweck von allem sind. Im Gegenteil: Wir müssen bescheiden über uns denken und unseren Beitrag leisten, um auch weiterhin unsere Daseinsberechtigung auf dieser Erde zu verdienen.

Das ist die vorläufige Bilanz eines Erkenntnisweges, der damit begonnen hat, dem unmittelbaren Sinnenschein zu misstrauen. Denn wie sollte es anders sein, unser Alltagsbewusstsein hat sich in der Auseinandersetzung mit den konkreten Lebensherausforderungen entwickelt, die sich in der Biosphäre der Erde stellen. Auch wenn wir uns *Homo „sapiens“* nennen: Es ist uns nicht in die Wiege gelegt, uns die Welt so vorzustellen, wie sie tatsächlich beschaffen ist. Unser Vorstel-

lungsvermögen kapituliert angesichts dessen, was wir über die Welt des sehr Kleinen, der „Quantenwelt“ und des sehr Großen, des Kosmos, heute zu wissen in der Lage sind. Andererseits hat uns die Neugierde und der „Sinn und Geschmack fürs Unendliche“, den unsere Spezies auszeichnet, dazu gebracht, einen Blick hinter die Kulisse der Alltagswelt zu werfen und damit „zu wissen, was wir nicht wissen“, um Sokrates frei zu zitieren. 1799 hat Friedrich Schleiermacher diese Regung des Menschen als das Wesen der Religion definiert. Dann müsste man sagen, dass Naturwissenschaft und Philosophie die eigentliche Religion des Menschen ausmacht. Zumindest da, wo sie nicht der Technikentwicklung, sondern dem Erkenntnisgewinn dient. Denn die Offenbarungsreligionen füllen die Diskrepanz zwischen der Welt und der kleinen Insel dessen, was wir zu wissen glauben, mit den Inhalten von heiligen Büchern, in deren Geschichten sie ihre Lebenspraxis einspinnen.

„Die Wiege der modernen Naturwissenschaft war von Planeten umstellt.“ So drückte sich der Physikdidakt Martin Wagenschein aus. Und tatsächlich: Seit dem Altertum leitete die Auseinandersetzung mit den Phänomenen des Himmels diejenigen, deren Sinn fürs Unendliche ihr Hinterfragen der Natur anregte. Es sind handfeste, für jeden verständliche Phänomene, die den Weg zur modernen Kosmologie markieren. Dieser Weg ist ein Stück Kulturgeschichte, der die „westliche Welt“ zu dem gemacht hat, was sie heute ist – mit ihren Licht- und Schattenseiten, mit ihrem technischen und medizinischen Fortschritt einerseits und ihrem Ausloten der Kapazitätsgrenzen unserer Erde andererseits. Mit unserem technischen Handeln sind wir diesen Weg gegangen, unser Geist hingegen ist nur zu oft in Glaubensgewissheiten vergangener Zeiten gefangen, die hinterfragt werden müssen, um den Ernst unserer Situation zu begreifen.

Man hört oft, die Naturwissenschaft hätte die Welt entzaubert, an die Stelle des Gefühls für das Wunderbare nackte, ernüchternde Fakten gesetzt. Ich kann diesen Vorwurf nicht nachvollziehen. Wahr ist: Je mehr man sich auf einen naturwissenschaftlich-philosophischen Weg begibt und ehrlich mit dem umgeht, was die Natur lehrt, wird es immer weniger möglich, Geborgenheit in Glaubensüberzeugungen zu finden. Man muss stattdessen lernen, mit offenen Fragen zu leben. Man wird vom Glaubenden zum Fragenden. Man wird erfahren, dass

eine gute Antwort mehr neue Fragen aufwirft, als sie beantwortet. Denn vergrößert sich die Insel des Wissens, so vergrößert sich auch das Wissen darüber, was wir nicht wissen. Diese Erfahrung öffnet nicht nur den Intellekt, sondern auch das Herz. Sie ist die Wurzel bescheidenen Staunens darüber, wie wir die Welt und uns selbst vorfinden, und die Freude darüber, dass wir einen Teil ihrer Geheimnisse ergründen konnten. Damit verdienen wir uns den Namen, den wir uns selbst gegeben haben: das „sapiens“ hinter dem Homo.

In diesem Sinne möchte ich den Weg nachzeichnen, den die Auseinandersetzung mit den Phänomenen des Himmels bis zur aktuellen Forschung genommen hat. Wir beginnen mit dem ersten Griff nach den Sternen in der europäischen Antike und lernen die astronomischen Gegebenheiten so kennen, wie sie sich dem irdischen Beobachter präsentieren. Wir sehen, wie die wissenschaftliche Astronomie in der griechischen Antike begann, dann im Orient weitergetragen wurde, um von dort während des Hochmittelalters in den abendländischen Kulturkreis zu gelangen. Hier kam es zur Synthese aus vernünftiger Naturerkenntnis und christlichem Glauben, die vielen bis heute als Ideal vorschwebt. In der Renaissance löste Nikolaus Kopernikus die nach ihm benannte Wende aus. Wir wollen ihre Überzeugungskraft ausloten und uns dabei den Konflikt um die Deutungshoheit über die Beschaffenheit der Welt vergegenwärtigen, in den Glaube und Vernunft durch die erstarkende Naturwissenschaft geraten sind.

Im zweiten Teil werden wir den heliozentrischen Kosmos hinter uns lassen und nachvollziehen, wie die Astronomie in den letzten hundertfünfzig Jahren mehr und mehr über die Beschaffenheit des Kosmos jenseits unseres Sonnensystems erfahren konnte. Wir kommen unweigerlich zu einem der dynamischsten aktuellen Forschungsgebiete, der Suche nach Exoplaneten, die so schnell voranschreitet, dass dieses Buch schon nicht mehr ganz aktuell sein wird, wenn die Druckerschwärze trocknet.

Die Geschichte der kopernikanischen Wende trifft einen Kern der geistigen Revolution, die zum naturwissenschaftlich geprägten Welt- und Menschenbild der Gegenwart führte. Mit der Exoplanetensuche hat sie erneut Fahrt aufgenommen. Im Gegensatz zu manchem Forschungsgebiet der gegenwärtigen Naturwissenschaft, wie beispielsweise der Quantenphysik, gründet sie auf Erfahrungen und Zusammen-



hängen, die jedem Interessierten zugänglich sind und damit auch von jedem nachvollzogen werden können. Wie kann es sein, dass wir in unvorstellbar großer Geschwindigkeit auf unserer Erde um die Sonne und durchs All fallen, ohne etwas davon zu bemerken? Woher nehmen wir die Sicherheit, dass wir uns die Größe des Universums und die Zeittiefe der Genese unseres Universums nicht nur einbilden? Wie lässt sich heute redlich darüber nachdenken, ob wir uns, wenn nicht im physischen, so doch vielleicht im „Sinnzentrum“ des Universums befinden, sich die kosmische Welt zwar nicht um uns dreht, es aber trotzdem um uns geht, wie uns religiöse Narrative suggerieren? Und was bedeutet es, wenn auch hier das „kopernikanische Prinzip“ gilt und wir uns nicht im kosmischen Sinnzentrum verorten können? Gehen wir gekränkt oder geläutert aus diesem vielleicht nötigen weltanschaulichen Paradigmenwechsel hervor?

Diese Fragen treffen zentral das Spannungsverhältnis zwischen überkommenen Weltbildern und dem, was sich der forschenden Vernunft durch Naturwissenschaft und Philosophie immer mehr auftut. Sie sind für jeden im Grundsatz nachvollziehbar und sollten deshalb unverzichtbarer Bestandteil humanistischer Bildung sein. Ich möchte aufzeigen, dass die Auseinandersetzung mit den gestellten Fragen zu einem bescheideneren Verhältnis zum blauen Planeten führen kann, auf dem wir leben und dessen Potenzial wir auf Kosten zukünftiger Generationen überstrapazieren. Sie kann uns von anthropozentrischer Selbstüberschätzung heilen und damit zur geistigen Gesundung des Menschen beitragen, die so überaus notwendig ist. Davon bin ich überzeugt.

## Prolog: Nikolaus Kopernikus

„Nur eine Hypothese! Mein astronomisches Lebenswerk nichts als eine neue Rechenhilfe ohne Anspruch auf Wahrheit?“ Nikolaus Kopernikus war nicht der Mensch, der sich zu Emotionen hinreißen ließ, schon gar nicht jetzt, im gesetzten Alter von 68 Jahren. Und doch ließen ihn die Worte Osianders nicht kalt.

An diesem sonnigen Junitag Anno Domini 1542 gönnte er sich keine Ruhe und verbrachte viele Stunden über seine Aufzeichnungen gebeugt im Turm am Frauenburger Dom. Die Sonne senkte sich dem Horizont entgegen und strahlte verlockend in die Studierstube. Kopernikus legte den Brief des Osiander auf seinen Eichentisch, ging zum Fenster und ließ seine Augen in die Ferne schweifen. Von der Anhöhe der Domburg aus, die den Backsteindom umgibt, konnte er ungehindert über das flache Ermland an das Ufer des Frischen Haffs blicken. Am Horizont ahnte er im Dunst der warmen Sommerluft die Frische Nehrung. Er ließ die Ruhe dieses Sommertages auf sich wirken, die vom langsamen, unaufhaltsamen Tagesgang der Sonne bestimmt wurde.

„Ruhe!“ Kopernikus lächelt in sich hinein. Behauptet er doch, dass diese Ruhe eine scheinbare sei. Dass wir uns täglich in unvorstellbarer Geschwindigkeit um die Erdachse drehen. Unaufhaltsam. Während die Sonne, so bewegt sie uns erscheint, die eigentlich Ruhende im Universum ist. „Nun ja, ich kann nachvollziehen, dass das einfache Volk diese Lehren nicht versteht“, dachte er, „diese Wissenschaft ist nicht für jedermann bestimmt.“ Er erinnerte sich, wie er wegen seiner ungewohnten Gedankengänge von einem Elbinger Schulmeister mit einem Schauspiel vor aller Öffentlichkeit lächerlich gemacht wurde. „Widerlich!“ Dabei lag der Elbinger Unmut ihm gegenüber in seinen Bemühungen begründet, Elbing, Danzig und Thorn das Münzrecht abzusprechen, um der ständigen Geldentwertung entgegenzuwirken.

Was versteht der einfache Mann von Philosophie? Kopernikus hat seine astronomischen Studien für die gebildete Welt verfasst. Doch

auch hier sind die Verhältnisse nicht einfacher geworden, seit Luther vor 25 Jahren seine Thesen an das Portal der Wittenberger Schlosskirche heftete und die christliche Welt spaltete. Wehmütig erinnerte sich Kopernikus an seine Studienzeit, die ihn nach Norditalien geführt hatte. Wie frei und offen konnte man sich dort von den atemberaubenden Gedanken der griechischen Philosophen anregen lassen. Er erinnerte sich an Domenico Novara, bei dem er während seiner Zeit in Bologna lebte und der sicher seinen Teil geleistet hatte, um ihn für die Wissenschaft der Himmelsbewegungen zu begeistern. Ganz offen hatten sie über Zweifel nachgedacht, die Novara an der ptolemäischen Sichtweise äußerte, nach der die Erde im Mittelpunkt unbewegt ruht und die täglichen und jährlichen Bewegungen der Gestirne durch kompliziert ineinander geschachtelte Kreisbewegungen zustande kommen. „Hier sind Korrekturen nötig!“, hatte Domenico Novara immer wieder bekräftigt. Korrekturen, denen Kopernikus seine seltenen freien Stunden widmete und die er in seinem Werk beschreibt.

Doch schon jetzt war Kopernikus klar, dass sich die gebildete Welt schwertun würde mit seinen Gedankengängen. Und irgendwie beunruhigte auch Kopernikus selbst die Tragweite seiner Gedanken.

Sein Blick richtete sich zur Sonne – mit ihrem Licht, so hell, dass man es dem Auge nicht zumuten kann. Und so sehr es dem Augenschein widerspricht, sie ist das Zentrum, um das sich der Kosmos dreht, nicht wir! Ein kühner Gedanke, fürwahr. Zumal wir Jahr für Jahr eine ungeheure Reise vollführen. In einem halben Jahr werden wir hinter dem Lichtgestirn sein an einem Ort, doppelt so weit von uns entfernt, wie die Sonne selbst.

„Nicht die Erde, sondern die Sonne ist das Zentrum des Universums!“ Auch Kopernikus war es nicht leichtgefallen, sich an diesen Gedanken zu gewöhnen. Denn die Heilsgeschichte des Menschen spielt sich zweifelsohne auf der Erde ab. Von der Schöpfung über den Sündenfall, die Erlösungstat Christi bis zum Jüngsten Gericht. Die Erde ist das Zentrum der kosmischen Geschichte, deren Geschehnisse im Auftrag des Herrn von der heiligen katholischen Kirche gelenkt werden. Davon war Kopernikus überzeugt und als Frauenburger Domherr hat er diesen Geschicken mit aller Kraft zeit seines Lebens gedient.

Doch er hatte den Lauf der Sonne, des Mondes und vor allem der Planeten beobachtet. Er hatte Mondfinsternisse gesehen, wie die in

Rom am 6. November 1500, die ihn so tief beeindruckt hatte, dass er sich heute, 42 Jahre später, genau an sie erinnern konnte: „Es war in der Nacht, genau zwei Stunden nach Mitternacht.“ Oft verfolgte er, wie Mars, Jupiter und Saturn über Monate ihre gewaltigen Planetenschleifen vor den Tierkreissternbildern vollzogen; ein Himmelschauspiel, das man in dieser Weise bei Venus und Merkur nicht beobachten kann. Die Bewegungsbilder der Planeten hatten griechische Gelehrte mit einer komplizierten kosmischen Geometrie zu fassen versucht. Aber es lassen sich die Muster, die die Planeten in den Nachthimmel zeichnen, in großer Klarheit verstehen, wenn man – ja, wenn man die Sonne ins Zentrum der Welt stellt und nicht die Erde. In einem wurde sich Kopernikus zunehmend sicher: Seine neue Sicht ist nicht nur eine Hypothese, eine einfachere Rechenvariante für die Planetenpositionen: „Nein! Keine Hypothese, sondern sie ist kosmische Tatsache, die zwar dem unmittelbaren Augenschein widerspricht, die aber durch beharrliche Beobachtung und durch den scharfen Verstand des Menschen auffindbar ist“, dachte Kopernikus immer wieder.

Aber warum steht hiervon nichts in der Bibel, ja, bei Josua sogar das Gegenteil? So berichtete ihm Rheticus von ablehnenden Äußerungen Luthers seinen heliozentrischen Gedanken gegenüber. Luther, der die Bibel so ernst nahm wie kein zweiter Theologe. Gab es an diesem Widerspruch kein Rütteln? Kopernikus war mehr Staatsmann als Bibelgelehrter. So wurde es ihm ein Bedürfnis, vor der Veröffentlichung seines Werkes Klarheit über die Bibelverträglichkeit der neuen Astronomie zu erhalten. Deshalb schrieb er den Brief an Rheticus' Nürnberger Freund Osiander, einen Bibelgelehrten und Lutheraner. Und dieser riet, dem Werk eine Vorrede voranzustellen, die das Ganze als Hypothese, als reine Rechenhilfe, hinstellen sollte: „Nie!“

Kopernikus merkte sein hohes Alter immer deutlicher und dankte dem Herrn dafür, dass er ihn mit einer kernigen Gesundheit ausgestattet hatte. Als Arzt wusste er seine Gesundheit nur zu gut zu schätzen. Erst im Frühjahr war er von Herzog Albrecht nach Königsberg gerufen worden, um dessen Freund und Ratgeber Georg von Kunheim zu kurieren. Doch statt sich im Alter mehr Ruhe zu gönnen, ließ er sich vom jugendlichen Eifer des Joachim Rheticus anstecken und vollendete nach lebenslangem Zögern die Veröffentlichung seiner astronomischen Aufzeichnungen. Kopernikus musste über sich selbst den Kopf

schütteln, ging zurück an seinen Schreibtisch, setzte sich und schloss für einen Moment die Augen.

Joachim Rheticus: Dieser jugendliche Komet, der seine Altersruhe aufwühlte. Er war vor über drei Jahren vor seiner Tür aufgetaucht und hatte sein Herz im Sturm erobert. Der 25-jährige war schon Professor für Mathematik und Astronomie in Wittenberg, der gleichen Universität, an der Luther und Melanchthon lehrten. Dort hatte er vom *Commentariolus* gehört, den Kopernikus als Gedankenskizze verfasst und einigen ausgewählten Zeitgenossen vorgelegt hatte – lang ist es her. Neugierig geworden, erbat sich Rheticus Forschungsurlaub und suchte Kopernikus in Frauenburg auf. Und blieb.

Kopernikus hegte große Sympathien für den jungen Mann. Vielleicht auch deshalb, weil Joachim wie er selbst in jungen Jahren seinen Vater verloren hatte, wenn auch unter dramatischeren Umständen. Während sein eigener Vater in hohem Ansehen stand und eines natürlichen Todes starb, als er selbst gerade zehn Jahre alt war, wurde Rheticus' Vater, ein Arzt und Alchemist, der Hexerei angeklagt und hingerichtet, als der Junge Joachim 14 Jahre zählte.

Es war eine Freude zu sehen, wie Rheticus sein Manuskript studierte und die bewegte, aus dem Zentrum geratene Erde mit Feuereifer in seine Vorstellungswelt aufnahm. Doch es war schnell klar, dass Rheticus mehr sein wollte als nur sein astronomischer Schüler – sein Einziger. Er brachte Geschenke des mit ihm befreundeten Nürnberger Druckers Johannes Petreius mit, die ihn günstig stimmen sollten, die Veröffentlichung seiner Ausführungen endlich zu beginnen. So gelang Rheticus, was anderen Freunden nicht gelungen war: Kopernikus setzte sich erneut über sein Manuskript und stimmte einer Veröffentlichung zu. Um den Erfolg seiner Bemühungen dingfest zu machen, schrieb Rheticus einen öffentlichen Brief, in dem er das Werk und die Person des Kopernikus anpries, die „*Narratio prima*“, und lies diese im letzten Jahr drucken und in der gelehrten Welt vorab verbreiten.

Doch nicht nur die Astronomie beschäftigte das ungleiche Paar seither. Beide nahmen die Arbeit an einem Kartenwerk Preußens wieder auf und vollendeten sie. Rheticus nutzte diese Tätigkeit, um eine Schrift über die Herstellung von Landkarten zu verfassen.

Und doch verliefen die letzten Jahre nicht ungetrübt. Bischof Dantiscus sah es nicht gern, dass er, Kopernikus, als sein Domherr sich so

intensiv mit einem Reformierten abgab, was immer wieder zu Spannungen führte. Die zunehmende Polarisierung zwischen Reformierten und den Katholischen bereiteten Kopernikus Sorgen. Theologische Debatten wurden schärfer geführt als zuvor, und ideologische Linientreue bekam einen politischen Beigeschmack. Kopernikus sah das Klima für eine wohlwollende Aufnahme seiner neuen kosmischen Sichtweise schwinden: „Die Sonne als Zentrum der Welt, die dreifach bewegte Erde – und nichts davon steht in der Bibel, nichts in den Schriften der großen Philosophen und Kirchenmännern unserer Zeit.“ So war es Rheticus’ Idee, den Brief an Alexander Osiander zu schreiben, mit dem dieser befreundet war. – Aber die neue Astronomie zum reinen Rechenmodell herabstufen lassen, das wollte auch Rheticus nicht.

Kopernikus wendete sich erneut den Unterlagen auf seinem Schreibtisch zu, dem ersten Teil des Manuskriptes für den Druck in Nürnberg. Fast hundert Jahre, nachdem Gutenberg in Mainz die erste Bibel hatte drucken lassen, war es für Kopernikus ein schwindelerregender Gedanke, dass sein Werk gleich tausend Mal vervielfältigt und entsprechend von unzähligen Menschen gelesen werden sollte. „Eine gute Empfehlung braucht es da schon.“

Einer Intuition folgend, holte Kopernikus aus der Mappe einen alten Brief. Er wurde von Nikolaus von Schönberg, Kardinal des süditalienischen Capua, am 1. November 1536 geschrieben:

*„Intellexeram enim te non modo veterum mathematicorum [...] Ich hatte nämlich davon Kenntnis erhalten, dass du dich nicht nur auf die Entdeckungen der alten Mathematiker [...] verstehst, sondern auch eine neue Weltberechnung aufgestellt hast, in der du lehrst, die Erde bewege sich, die Sonne nehme den untersten und somit den Mittelplatz der Welt ein [...] Aus diesem Grunde, hochgelehrter Mann, bitte ich dich inständig, dass du diesen deinen Fund den Gelehrten allgemein zugänglich machst.“<sup>2</sup>*

Schönberg versprach Kopernikus, dass er Gesandte schicken würde, die Abschriften anfertigen sollten. Leider verstarb der Kardinal im Spätsommer des darauffolgenden Jahres, sodass ein Druck nicht zustande kam. Kardinal Schönberg war als Gesandter des Papstes ein weit gereister Mann, der durch ganz Europa kam und dadurch einen offenen Geist entwickelte für die Vielfalt der Denkweisen über die Welt. So veranlasste Schönberg drei Jahre, bevor er den Brief an Kopernikus schrieb, seinen Sekretär und Gelehrten Johann Albert Widmanstadt in

den Gärten des Vatikans Papst Clemens' VII., die kopernikanischen Gedanken, die ihm durch den Commentariolus bekannt waren, vorzutragen. Kopernikus hatte nie davon erfahren, dass es eine Beanstandung vonseiten des Papstes gegeben habe. Clemens VII. stammte aus dem Hause Medici – War dies Garant für ein offenes Ohr Neuerungen gegenüber? Leider verstarb auch er im folgenden Jahr nach zehnjährigem Pontifikat.

„Und doch ... dieser Brief ist eine Wurzel, die bis in den Boden des Vatikans reicht!“, dachte Kopernikus und entschloss sich, den Brief seinem Werk als gutes Omen voranzustellen.

Ein Jahr später, am 24. Mai 1543, lag Nikolaus Kopernikus auf dem Sterbebett. Am selben Tag erreichte ihn die erste Druckausgabe seines „De revolutionibus orbium coelestium“. Mit dem Vorwort des Osiander! Ob Kopernikus dies noch bewusst wurde, wissen wir nicht.

Wenn Jahrzehnte später das heliozentrische Weltbild zum Allgemeingut wird, ist die Hauptarbeit des Domherren zu Frauenburg, das Umschmelzen der geozentrischen zur heliozentrischen Mathematik, längst eine Randnotiz der Wissenschaftsgeschichte. Der Mut aber, mit dem erkennenden Verstand die Überzeugungskraft des unmittelbaren Sinneseindrucks gegen die Denkgewohnheiten seiner Zeit infrage zu stellen, macht seinen Namen unsterblich und brennt ihn bis heute ins kollektive Gedächtnis ein. Zu Recht!

# Teil 1: Die Genese der christlich-geozentrischen Kosmologie



# Der geozentrische Kosmos der Antike

## Mesopotamische Astronomie

Einen Einblick in die Ausgangspunkte des kosmologischen Denkens der europäischen Antike haben wir der Sammelwut eines assyrischen Königs mit dem Namen Assurbanipal (668–630 v. u. Z.) zu verdanken. In den fast 40 Jahren seiner Herrschaft füllte er die Bibliothek seines Palastes in Ninive, heute im Irak gelegen, mit über 25.000 Tontafeln. Er hatte den Anspruch, das gesamte Wissen seiner Zeit zusammenzutragen und zu katalogisieren. Kurz nach Assurbanipals Tod wurde Ninive zerstört und überdauerte als Ruine bis zu seiner Wiederentdeckung Mitte des 19. Jahrhunderts. Bis heute sind die Tontafeln eine zentrale Quelle für die Erforschung des mesopotamischen Kulturraums. Assurbanipal rühmte sich, als einer der wenigen Könige seiner Zeit lesen, schreiben und rechnen zu können und auch der „Wissenschaft von den Vorzeichen am Himmel“ mächtig zu sein. So finden sich neben einer Abschrift des Gilgamesch-Epos und Werken der Mathematik und Medizin auch umfangreiche astronomische Beobachtungstabellen, die viele Jahrhunderte zurückreichen, darunter ca. 7000 sogenannte Omentafeln.

*„Wenn Venus in ihrem Feuerlicht die Brust des Skorpions beleuchtet, dessen Schwanz dunkel ist und dessen Hörner hell leuchten, so wird Regen und Hochflut das Land verwüsten. Ochsen und Großvieh wird dezimiert werden.“*

Für die Omensammlung typisch ist das „Wenn-dann-Schema“. So heißt es darin beispielsweise: Zuerst steht eine astronomische Konstellation, die nachfolgend mit einem biografisch oder geschichtlich bedeutsamen Ereignis parallelisiert wird. Unschwer sind hier die Wurzeln der Astrologie zu erkennen. Der Himmel des jährlichen Wechsels der Sternbilder und des Erscheinens und Verschwindens der Planeten wurde als Teil der Natur verstanden, die das Leben einmal begünstigte,

ein anderes Mal bedrohte. Sterne stellten nicht, wie für uns heute, eine ferne Kulisse dar. Der Himmel wurde als Teil der Natur erlebt, die das Leben des Einzelnen und der Gemeinschaft bestimmte. So ergab es Sinn, auf Parallelen zwischen himmlischen Erscheinungen und irdischem Geschehen zu achten und diesen Erfahrungsschatz festzuhalten.

Interessanterweise spielen hier die Planeten eine zentrale Rolle. Die sichtbaren Wandelsterne prägten dem sonst gleichförmigen Anblick des gestirnten Himmels eine belebende Vielfalt an Konstellationen ein, die der Unberechenbarkeit des menschlichen Lebens entspricht. Will man die „Zeichen am Himmel“ korrekt deuten und vielleicht sogar Voraussagen treffen, so braucht es zweierlei: exakte und umfangreiche Beobachtungen des Sternenhimmels über Jahrhunderte hinweg und einen Schlüssel, um zukünftige Sternkonstellationen vorherzusagen. Beides haben die mesopotamischen Kulturen hervorgebracht. So finden sich Listen mit vollständigen Aufzeichnungen der Daten von Mond- und Sonnenfinsternissen, der heliakische Aufgänge Dutzender Sterne und genaue Beschreibungen der Bewegungen des Mondes und der Planeten. Von diesen Kenntnissen profitierten alle späteren Astronomen der Antike.

Allerdings entwickelten die Babylonier keine kosmologischen Modellvorstellungen, mit denen sie die Beobachtungsergebnisse zu erklären suchten. Vielmehr extrahierten sie aus den Beobachtungsreihen die Rhythmen der Konstellationen und projizierten diese Rhythmen in die Zukunft. So kamen sie zu erstaunlich guten astronomisch-astrologischen Vorhersagen.

## Sonnen- und Mondkalender

Der Schwerpunkt der ägyptischen Astronomie lag im Kalenderwesen. So hat der von uns benutzte auf den Sonnenlauf bezogene Kalender in Ägypten seine Wurzeln. Er wurde von Julius Cäsar aus dem Land am Nil nach Rom übertragen („julianischer Kalender“) um, wie noch zu zeigen ist, im Mittelalter seine bisher letzte Reform zu erfahren („gregorianischer Kalender“). Man beschreibt die ägyptische Sternenkunde als „religiöse Astronomie“, weil alles dem kultisch-zeremoniellen Gang durch das Jahr diene. Die rund 360 Tage des Jahres waren die bestimm-

mende Größe. So leitet sich heute noch die Gradzahl eines Vollkreises von dieser Gegebenheit ab. Die Sonne als dominierendes Gestirn vollendet nach dieser Zeit ihren Jahreskreis. Die fehlenden fünf bis sechs Tage zum tatsächlichen Jahreslauf galten als eingeschobene, heilige „Tage zwischen den Jahren“, die religiös begangen wurden wie die „geweihten Nächte“ anderer Kulturen.<sup>3</sup> Das Leben in Ägypten hing am Nil, der durch jährliche Überflutungen für fruchtbare Böden sorgte. Diese wiederum trat etwa beim heliakischen Aufgang des Hundssterne Sirius (in Ägypten Sothis) ein; mit diesem Ereignis nahm daher das ägyptische Jahr seinen kalendarischen Anfang. Der Jahresbeginn mit der Wintersonnenwende ist dagegen für nördlichere Kulturen charakteristisch, wo das Wiederaufsteigen der Sonne die Verdrängung der Kälte verspricht.

Für andere Kulturen Nordafrikas war der Jahreswechsel weniger bedeutsam. Der durch die Mondphasen bedingte Helligkeitswechsel am Abend und in der Nacht war in diesen Gegenden für das Leben wichtiger als die Veränderung der Tageslänge übers Jahr mit ihren Konsequenzen für das Klima. Hier wurden Mondkalender entwickelt, die im Islam und Judentum bis heute erhalten sind.<sup>4</sup> Die Einteilung des Jahres in Monate und die Unterteilung des Monats in Siebentageswochen (dies entspricht etwa den Tagen zwischen den Mondphasen) geht auf die Babylonier zurück. Die Mondrhythmen zur Zeitberechnung zu verwenden und mit den Sonnenrhythmen in Einklang zu bringen, bildete eine der Herausforderungen der frühgeschichtlichen Astronomie, die zur Geburt der Wissenschaft beigetragen hat.<sup>5</sup>

## Hesiod

Aus dem antiken Griechenland ist ein Schriftzeugnis überliefert, das die Aufgabe der Himmelsbeobachtung in vorwissenschaftlicher Zeit dokumentiert. Es stammt von Hesiod. Er lebte als Landwirt nordwestlich von Athen. Neben Homers Ilias und Odyssee verdanken wir vor allem seinen Schriften unsere Kenntnisse der griechischen Mythologie. Viele dieser Mythen standen Pate für die europäische Benennung der Sternbilder: Man denke an Orion, Andromeda, Pegasus und Kassiopeia, um nur einige zu nennen. Zwei Schriften gehen auf ihn zurück,

die „Theogonie“ und das Lehrgedicht „Werke und Tage“, die beide etwa 700 v. u. Z. entstanden. Hier ein Ausschnitt aus „Werke und Tage“:

*„Gehen des Atlas Töchter am Himmel dir auf, die Plejaden,  
Magst du die Ernte beginnen, die Saat, wann nieder sie sinken.  
Vierzig Nächte und Tage hindurch sind diese verborgen, erscheinen jedoch  
alsbald mit des rollenden Jahres Rücklauf wieder  
sobald für die Ernte das Eisen geschärft wird.  
[...]  
Wenn jetzt mitten am Himmel Orion und Sirius aufsteigt,  
Eos zugleich den Arkturos, die rosenfingrige, anschaut,  
dann lies sämtliche Trauben, o Perseus, bring sie nach Hause  
[...].  
Aber sobald die Plejaden nun sinken, die Macht des Orion  
und die Hyaden, gedenk, rechtzeitig das Saatland zu pflügen.  
So nun dürfte das Jahr für den Landbau passend benützt sein.“*

Unmittelbar wird deutlich, dass die Beobachtung des Wechsels der Gestirne Kalenderfunktion hatte: Gepflügt, gesät und geerntet wurde, wenn die Sterne die passende Zeit anzeigten. Die Existenz der Menschen war bestimmt vom täglichen und jährlichen Rhythmus der Natur, zu der auch der Himmel gehörte. Weder Internet noch Fernsehen, ja noch nicht einmal elektrisches Licht lenkten sie vom Erleben der Landschaft ab. Wir müssen davon ausgehen, dass der Himmel mit seinen Sternbildern kein unbekanntes Terrain war, wie dies heute oftmals der Fall ist, sondern allgegenwärtiger Erfahrungsinhalt. Davon zeugen die Bilder im Lehrgedicht Hesiods.

Man sah die Sterne sicher nicht als unendlich weit entfernte Objekte. Vielmehr wurde der Himmel wohl ähnlich wahrgenommen, wie ihn der naive Sinn eines Kleinkindes sieht – naiv im positivsten Sinne, also ursprünglich und unvoreingenommen. So fragte mich bei einer winterlichen Abendrunde mein dreijähriger Sohn: „Warum wandert der Mond immer mit uns mit?“ Solche Fragen zeigen, was Erwachsenen meist nicht mehr bewusst ist. Der unmittelbare Eindruck, den wir vom Mond oder den Sternen haben, zwingt uns nicht, auf ihre ungeheure Entfernung zu schließen. Die Gestirne des nächtlichen Himmels werden vielmehr in den Eindruck der erlebten Landschaft integriert.

Für die Menschen des antiken Griechenlands waren die Sternbildkonstellationen keine Kulisse, aufgestellt hinter der Horizontlinie, sondern Teil des Wechsels der Jahreszeiten in ihrer Landschaft. Und wenn

wir davon ausgehen, dass die Menschen früher ebenso häufig in den Himmel geschaut haben wie wir in den Kalender, dann können wir sicher sein, dass ihnen die Sternbilder so vertraut waren wie uns die Morgenzeitung. Mit dem Anblick des am abendlichen Osthimmel aufsteigenden Sternbilds Orion beispielsweise wird der Mensch der Frühzeit eine andere Naturstimmung verbunden haben als mit dem Anblick der liegenden, zarten Mondsichel am Westhimmel. Ersterer ist charakteristisch für den Winter, letztere für das Wiedererwachen der Natur im zeitigen Frühjahr. Dieser Gesamteindruck der Natur schwang bei den Hörern Hesiods mit, wenn es hieß: „[...] *sobald des Orion Macht sich gezeigt hat [...].*“

So kraftvoll sich die Natur im Winter präsentiert, so markant ist auch das Sternbild Orion, in das sich leicht eine menschliche Gestalt hineinsehen lässt. Bei den Griechen ein Jäger, der von seinen Jagdhunden begleitet wird, die als Sternbilder im Umkreis des Orion zu finden sind. Orion stellt den schönen Plejaden, den sieben Töchtern des Atlas, nach, die er allerdings nie erreichen soll. Das Bild des von unstillbarem Verlangen getriebenen Jägers verband sich so mit dem erlebten Charakter des Winterhalbjahres. Diese Mischung aus Poesie und der Stimmung, die das Erleben der Jahreszeit hinterlässt, verbunden mit dem Anblick der dazugehörenden Sternbilder, muss den Gesamteindruck ausgemacht haben, der den Menschen das mythologische Verstehen der Welt ermöglichte.

So wurde der Eindruck des gestirnten Himmels zum Bild für erlebte Qualitäten. Die Sonne mit ihrer Kraft, Leben zu spenden, aber auch zu versengen und auszudörren – im sommertrockenen Griechenland eine alljährliche Erfahrung –, wurde als männliche Qualität erfahren und in den Mythen des Sonnengottes Helios oder Apollon zum Ausdruck gebracht. Der Mond hingegen wurde als weibliche Qualität erfahren und mit dem Sagenkreis der Selene verbunden. Dies lässt sich durch seine Beziehung zum Wasser verstehen, die durch den im Mondrhythmus erfolgenden Wechsel von Ebbe und Flut erlebt wurde, durch seine wachsende und vergehende Lichtgestalt, das monatliche Motiv vom „Stirb und Werde“, und nicht zuletzt durch den zeitgleichen Monatsrhythmus der Frau.

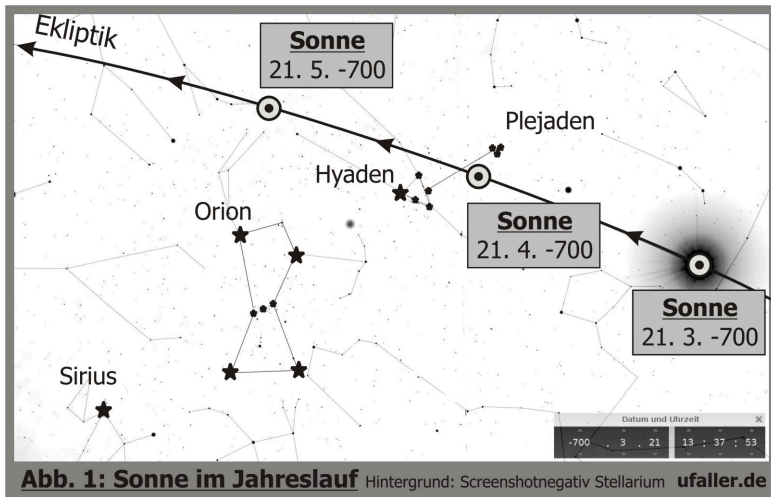
Wenn man der Beobachtung der Sterne in der damaligen Zeit Kalenderfunktion zuspricht, so darf man dies nicht verwechseln mit dem

nüchternen Planen am „Timer“ des modernen Menschen. Der Anblick der Sternbilder stand in Verbindung mit einem intensiven Erleben der Jahres- und Tageszeiten mit ihren Qualitäten.

## Wanderung der Sonne und die Bewegungen der Fixsternsphäre

Vierzig Tage und Nächte sind die Plejaden, Atlas' Töchter, verborgen, *„erscheinen jedoch alsbald mit des rollenden Jahres Rücklauf wieder“*, so schildert Hesiod. Was meint er mit dieser eigentümlichen Ausdrucksweise? Hesiod lebte zwischen Athen und Delphi, dem Heiligtum des Sonnengottes Apollon, der als Lenker des Sonnenwagens dargestellt wurde. In Gestalt der Sonne steigt Apollon damit täglich im Osten empor, *„rollt“* über Süden und geht im Westen unter, damit folgt er der täglichen Bewegung aller Gestirne, seien es die Fixsterne oder die Planeten. Nach Süden gewendet, ist eine Kreisbewegung der Gestirne im Uhrzeigersinn zu beobachten, die exakt im Süden – am sogenannten Meridian – ihren höchsten Punkt der täglichen Bahn erreichen, ihre *„obere Kulmination“*. Nach Norden gewendet, erscheint die gleiche Bewegung als Kreisen um den Nordstern gegen den Uhrzeigersinn, wobei die Gestirne unterhalb des Nordsterns ihren tiefsten Punkt der Tagesrotation erreichen, die sogenannte *„untere Kulmination“*<sup>6</sup>.

Doch *„des rollenden Jahres Rücklauf“* – was ist damit gemeint? Hierfür müssen wir das tägliche „Roller“ des Himmels gedanklich anhalten und darauf achten, wie sich die Gestirne untereinander verhalten. Abbildung 17 zeigt einen der markantesten Himmelsausschnitte: Im Zentrum befindet sich der Orion, dessen Gürtelsterne nach links unten auf den hellen Stern Sirius im Großen Hund weisen und nach rechts oben auf einen deutlichen „Sternpfahl“. Dieser stellt das Zentrum des Sternbildes Stier dar, ein offener Sternhaufen mit dem Namen „Hyaden“. Etwas weiter rechts oben befindet sich das Siebengestirn, die Plejaden.

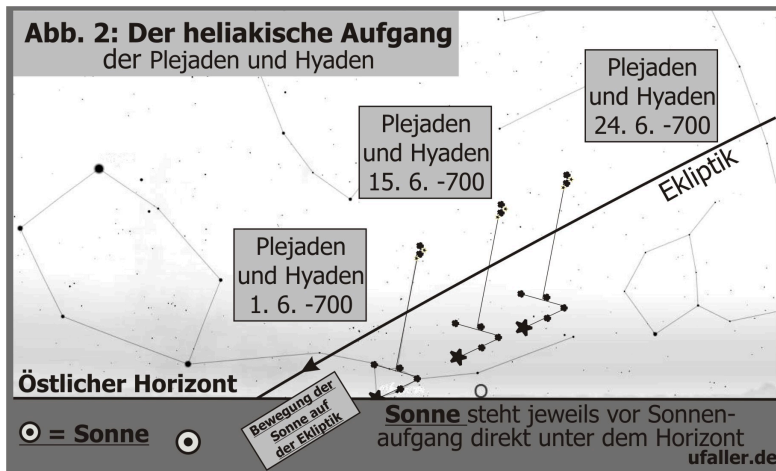


Dieser Himmelsausschnitt wird dargestellt im Jahr 700 v. u. Z., am 21. März, mit Blick nach Süden (die senkrechte Linie stellt den Meridian dar, also die exakte Südrichtung). Betrachtet man den gleichen Himmelsausschnitt am 21. April bzw. am 21. Mai (hier in die gleiche Abbildung hineingezeichnet), dann fällt auf, dass in dieser Zeit die Sonne (Apoll) wandert, und zwar nicht von Ost nach West (d. h. von links nach rechts) wie während der Tagesrotation, sondern entgegengesetzt von West nach Ost: *des rollenden Jahres rückwärts* eben! Die Sonne bleibt also gegenüber den Sternen eine kleine Weile zurück (vier Minuten pro Tag).<sup>8</sup> Sie wandert damit entgegen der Tagesbewegung, also „rückwärts“!

Die Sonne steht nicht still. Sie ist kein Fixstern und zählte in der Antike daher zu den Planeten (gr. *planáomai* = umherirren, umherschweifen), zu den Wandelsternen. Sie zieht binnen eines Jahres durch den Fixsternhimmel. Ihre Bahn wurde von den Griechen Ekliptik genannt, von „*ekleipsis*“ (gr. das Verschwinden), da hier alle Mond- und Sonnenfinsternisse stattfinden. In der Umgebung der Sonnenbahn liegen zwölf markante Sternbilder, die von der Sonne ungefähr im Monatsabstand durchwandert werden. Es handelt sich um die Tierkreissternbilder, die den meisten als Zeichen seiner Geburt bekannt sind: der Stier etwa oder der Löwe. Alle beobachtbaren Planetenbahnen ge-

nauso wie die des Mondes verlaufen auf einem Band um die Ekliptik. Die Ekliptik verläuft direkt zwischen den Hyaden und den Plejaden, die das „goldene Tor der Ekliptik“ bilden.

Nun kann man die Sonnenbewegung vor den Fixsternen nicht direkt verfolgen, da das Blau des Himmels alle Sterne überstrahlt und wir die (auch am Tage vorhandenen) Sterne nicht beobachten können. Doch infolge der Sonnenwanderung verändert sich der Himmelsanblick kurz vor Sonnenaufgang bzw. kurz nach Sonnenuntergang. In Abbildung 2 ist zunächst die Situation im Jahr 700 v. u. Z., am 1. Juni morgens um 4:00 Uhr, bei Einsetzten der Morgendämmerung mit Blick nach Osten dargestellt.<sup>9</sup> Am Horizont gehen gerade die Hyaden auf, während die Plejaden schon deutlich über dem Horizont stehen und so in der Morgendämmerung ausgemacht werden können. Von Tag zu Tag sind die Plejaden höher am Morgenhimmel zu sehen, gehen früher vor Sonnenaufgang auf und werden deutlicher erkennbar. In der Abbildung sind die Positionen am 15. Juni und 24. Juni dargestellt.



Auf diese Beobachtung verweist in Hesiods Gedicht die Formulierung „Gehen des Atlas’ Töchter am Himmel dir auf, die Plejaden, magst du die Ernte beginnen“. Man spricht vom „heliakischen Aufgang“ der Gestirne, dem Sichtbarwerden der Sterne vor Sonnenaufgang im Osten,



nachdem sie viele Wochen hinter der Sonne standen und von ihr überstrahlt wurden.

Denkt man die Bewegung weiter, so wird deutlich: Die Sterne erscheinen immer früher am Morgen, schließlich schon um Mitternacht, später am Abendhimmel, bis sie nur noch kurz nach Sonnenuntergang sichtbar sind, wenn sich die Sonne von Westen den Sternbildern nähert. Sie werden – entsprechend den Verhältnissen am Morgenhimmel – immer kürzer nach Sonnenuntergang sichtbar sein, bis sie in der Abenddämmerung verschwinden. Hier spricht man vom „heliakischen Untergang“. Diese Sichtbarkeitsverhältnisse zeigen alle Sterne außer denjenigen, die so nah um den Polarstern kreisen, dass sie nicht unter dem Horizont versinken. Letztere nennt man zirkumpolare Sterne, da sie ganzjährig sichtbar um den Polarstern kreisen.

Aus geozentrischer Sicht haben wir damit zwei Bewegungen vor Augen:

- die tägliche Umdrehung aller Fixsterne von Ost nach West
- das langsame Zurückbleiben der Sonne, die in einem Jahr die Tierkreissternbilder von West nach Ost durchwandert.

## Hesiods Bauernkalender

Nun fällt es nicht mehr schwer, das Lehrgedicht weiter zu entschlüsseln: *„Gehen des Atlas’ Töchter am Himmel dir auf, die Plejaden, magst du die Ernte beginnen [...]“*. Dies war, wie Abbildung 2 zeigte, etwa Ende Mai, Anfang Juni der Fall. In Athen wurden am siebten Tag des Monats Thargelion (Mai/Juni) die Festzeit der Thargelien begangen, das Hauptfest des Apollon. Man feierte das Reifen der Feldfrüchte und bereitete damit die Ernte vor. Opfertgaben sollten Apollon gnädig stimmen, damit er nicht mit dörrender Hitze die Ernte vernichtete. Man muss bedenken, dass Athen im sommertrockenen, mediterranen Klima liegt, das durch seine trocken-heißen Sommer gekennzeichnet ist.

Das Pflügen des Ackers und die Aussaat müssen im niederschlagsreichen Winter geschehen: *„Aber sobald die Plejaden nun sinken, die Macht des Orion und die Hyaden, gedenk, rechtzeitig das Saatland zu pflügen. [...] Die Saat, wann nieder sie [die Plejaden] sinken.“* Nach Sonnenuntergang tauchten mitten im Winter die Hyaden und die Plejaden

im Süden aus der Dämmerung auf und begannen, während der Abendstunden herabzusinken.<sup>10</sup> Im Mittelmeerraum ist die Winterzeit regnerisch und nicht zu kalt. Dann muss die Aussaat erfolgen, damit vor der sommerlichen Trockenheit genügend Zeit bleibt. Die Hyaden stellen in der griechischen Mythologie die um ihren getöteten Bruder weinenden Töchter des Atlas dar, deren Tränen als winterlicher Regen auf die Erde kommen. Sie werden auch als Regengestirn bezeichnet.

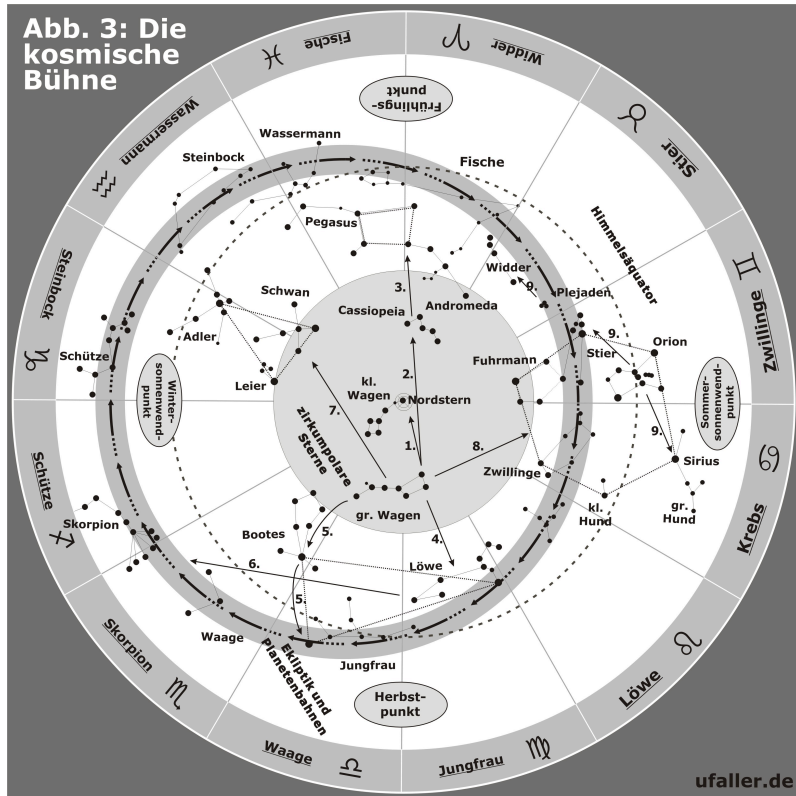
Die Traubenernte für den Wein – wie auch die Olivenernte – ist im Herbst nach der Sommerhitze zu bewerkstelligen: *„Wenn jetzt mitten am Himmel Orion und Sirius aufsteigt, Eos zugleich den Arkturos, die rosenfingrige, anschaut, dann lies sämtliche Trauben.“* Eos, die Göttin der Morgenröte, gibt Arkturos frei. Dies ereignete sich Anfang Oktober. Tatsächlich waren Orion und Sirius zu dieser Zeit schon hoch am Himmel zu sehen. Das Erscheinen Arkturos' in der Morgenröte gab den Startschuss für die Trauben- und Olivenernte.<sup>11</sup>

## Drei Bewegungen der Fixsternsphäre

In einer sternklaren Nacht mit freiem Horizontblick sieht man nahezu den halben Sternenhimmel, je nach Jahreszeit und Standort auf der Erde allerdings wechselnde Ausschnitte. Insgesamt sind etwa 5000 hellere und schwache Sterne auszumachen, zu jedem Zeitpunkt also durchschnittlich 2500. Alle Sterne erscheinen auf einer gewölbten Sphäre, der „Fixsternsphäre“, da wir räumliche Tiefe in dieser Entfernung nicht ausmachen können. Der menschliche Blick, der daraufhin organisiert ist, im Chaos Ordnung zu sehen, hat die Verteilung der helleren Sterne zu Sternbildern zusammengefasst und diese zumeist mit mythischen Namen versehen. Die wichtigsten europäischen Bezeichnungen stammen aus der griechischen Sagenwelt. Ergänzt wurden sie in der Neuzeit, im Besonderen auf der den Griechen noch unbekannten Südhemisphäre.

Satte 20 Sternbilder zählen in unseren Breiten zu den „Leitsternbildern“, mit deren Hilfe man sich jederzeit am Himmel zurechtfindet. Entgegen landläufiger Meinung ist es nicht besonders schwer, diese Sternbilder zu erkennen und zu finden, wenn man einige wichtige Orientierungslinien im Kopf hat. Auf meiner Homepage findet der inter-

essierte Leser eine Einführung, deren Ergebnis die hier abgedruckte Sternkarte darstellt (Abbildung 3).



Die Fixsterne sind, wie schon der Name sagt, in ihren Verhältnissen zueinander unbeweglich. Deshalb sehen wir auch heute noch die gleichen Sternbilder, wie seinerzeit der Sternbeobachter der Antike. Die Verschiebungen der Fixsterne untereinander sind so langsam, dass nur äußerst präzise Messungen diese Bewegungen erkennbar machen.

Aber vom irdischen Beobachter aus gesehen, sind drei Bewegungen beobachtbar:

- Die erste ist die tägliche Umdrehung der Fixsternsphäre um die Erde. Die Rotationsachse steht über dem Nordpol der Erde senkrecht

und verläuft (fast) durch den Nordstern, der damit im Mittelpunkt der täglichen Kreisbewegungen aller Gestirne steht.  $90^\circ$  zum Nordpol findet sich als gedachte Linie der an den Himmel projizierte Himmelsäquator. Abhängig vom Standpunkt auf der Erde (Breitengrad) sind die dem Polarstern näheren Sterne jederzeit beobachtbar, also auch in ihrer niedrigsten Position im Norden; man nennt sie die „zirkumpolaren Sterne“. Alle anderen gehen, wie die Sonne und die anderen Planeten, in westlicher Himmelsrichtung unter, in östlicher auf und sind damit in ihrer nördlichen Position nicht zu sehen.<sup>12</sup>

- Die zweite Bewegung ergibt sich durch die Wanderung der Sonne vor dem Fixsternhimmel entlang der Ekliptik. Wie beim heliakischen Aufgang schon gezeigt, verändert sich dadurch der Anblick des abendlichen, mitternächtlichen bzw. morgendlichen Himmels. Die Sonne befindet sich hierbei im Sommerhalbjahr nördlich des Himmelsäquators und im Winterhalbjahr südlich. Den höchsten Punkt ihrer Bahn erreicht sie am Sommer-Sonnenwendpunkt (21. Juni), dem längsten Tag des Jahres, den tiefsten am Winter-Sonnenwendpunkt (21. Dezember), dem kürzesten Tag. Zweimal im Jahr schneidet ihre Bahn den Himmelsäquator, was auf der Erde dadurch bemerkbar wird, dass dann die Tage und Nächte exakt gleich lang sind (Äquinoktien, um den 21. März und 23. September). Diese Schnittpunkte heißen Frühlings- und Herbstpunkt. Eine nicht selbstverständliche Besonderheit ist, dass alle Planeten einschließlich des Mondes ihre Bahnen entlang eines schmalen Bandes um die Ekliptik ziehen; dieser Bereich ist in der Sternkarte grau dargestellt.

Schon seit der Antike nimmt man den Frühlingspunkt als Ausgangspunkt für eine Unterteilung des Himmels in zwölf gleiche Abschnitte (zu jeweils  $30^\circ$ ), die Tierkreiszeichen. Sie sind den zwölf Tierkreissternbildern entnommen, durch welche die Sonne jährlich wandert, wobei sie während eines Mondumlaufes etwa ein Tierkreiszeichen weiterwandert.

- Um die dritte Bewegung zu erkennen, muss man den Fixsternhimmel über Jahrhunderte beobachten, da sie nur sehr langsam voranschreitet. Trotzdem war sie schon in der Antike bekannt. Bei genauerer Betrachtung der Sternkarte fällt auf, dass sich die Sonne,

wenn sie vor dem Tierkreissternbild Löwe vorbeiwandert, im Tierkreiszeichen Jungfrau befindet, also um einen Abschnitt im Kreis der Tierkreiszeichen verschoben. Wie kann das sein, wenn die Tierkreiszeichen die Sternbilder bezeichnen, die im jeweiligen Monat von der Sonne durchwandert werden. Dies war zur griechischen Antike der Fall! Das bedeutet, dass sich die Ekliptik selber langsam verschiebt, genau alle 2150 Jahre um ein Tierkreiszeichen bzw. in 25.800 Jahren einmal durch alle Tierkreissternbilder hindurch. Damit verbunden verschiebt sich auch die Rotationsachse der Fixsternsphäre. Sie kreist und wird sich in etwa 10.000 Jahren in der Nähe der Wega befinden, um in einem viertel Jahrtausend erneut an heutiger Stelle vorbeizuwandern. Diese Bewegung nennt man Präzessionsbewegung.

## Die sieben Planeten der Antike

Die Zahl der Himmelskörper, die man Planeten<sup>13</sup> zugeordnet hat, schwankte im Laufe der Astronomiegeschichte. In der antiken Kosmologie betraf dies alle mit bloßen Augen sichtbaren Gestirne, die sich vor dem Fixsternhimmel bewegten. Das bedeutet, neben Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn waren auch der Mond und die Sonne ein Wandelstern, nicht hingegen die Erde, die unbeweglich im Mittelpunkt des Kosmos ruhte. Mit der kopernikanischen Wende wurde die Erde zum Planeten, während die Sonne diesen Status verlor. Allein der Mond kreist weiterhin um die Erde und wird wie andere um Planeten kreisende Körper nicht mehr den Planeten zugeordnet. Planeten sind nun Himmelskörper, die um die Sonne kreisen. 1781 wurde der Planet Uranus entdeckt und in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts sichtete man zwischen Mars und Jupiter die Himmelskörper Juno, Vesta und Astraea, wodurch sich die Zahl der Planeten erhöhte. Nachdem 1846 der Neptun hinzukam und zudem weitere Objekte zwischen Mars und Jupiter, nannte man diese Objekte Asteroiden. 1930 wurde jenseits des Neptun Pluto entdeckt und den Planeten zugeordnet. Seit 2006 zählt er zu den Zwergplaneten, die zwar genügend Masse besitzen, um eine annähernd kugelförmige Gestalt zu bilden, zu wenig allerdings, um ihre Umlaufbahn von weiteren Objekten freizuräumen. Aktuell zählen wir

in unserem Sonnensystem acht Planeten. Hinzu kommt eine ständig steigende Zahl von Exoplaneten außerhalb unseres Sonnensystems, von denen später die Rede sein wird.

Doch zurück zu den Planeten der Antike. Alle Planeten tragen Götternamen. Sonne und Mond hießen bei den Griechen Helios und Selene, bei den Römern Sol und Luna. Merkur ist der Götterbote, Venus die Göttin der Liebe, Mars der Kriegsgott, Jupiter der höchste Gott der römischen Mythologie und Saturn der göttliche Vater Jupiters. Das scheinbar regellose Umherschweifen der Planeten wurde als göttliche Botschaft verstanden und hatte dadurch dem Menschen etwas mitzuteilen. Dies war für Astrologen aller Zeiten Anlass, die göttliche Sprache der Planeten zu verstehen und in Orakel umzusetzen. Das Bedürfnis, die „astrale Sprache der Götter“ zu entziffern, und für Lebensentscheidungen zu nutzen, macht verständlich, warum das Planetenseptett aufmerksam beobachtet wurde, und ist ein Grund dafür, dass die Zahl „Sieben“ als heilige Zahl galt. Nicht von ungefähr hat die Woche sieben Tage, die bis heute Planetennamen tragen. Auch in der deutschen Sprache ist dies beim Sonntag und Montag (Sonne und Mond) direkt zu sehen. Der Dienstag ist der Mars-Tag, was im Französischen „Mardi“ erkennbar ist. Entsprechend ist der Mittwoch dem Merkur gewidmet, was im Französischen „Mercredi“ deutlich wird. Der Donnerstag ist Jupitertag, wobei Jupiter im dem germanischen Pantheon dem Donnergott „Donar“ entsprach. Der Freitag ist Venustag, gleichgesetzt mit der germanischen Freya, und zuletzt ist der Samstag dem Saturn gewidmet, was im englischen „Saturday“ direkt sichtbar wird.

Durch ihre ständig wechselnde Position machen Planeten Zeit erlebbar und begründen damit kalendarische Maßeinheiten. Die Siebenzahl der Planeten selbst, verbunden mit den alle sieben Tage wechselnden Mondphasen, prägt die Woche. Der Rhythmus des Sonnenlaufes markiert ein Jahr, der tägliche Umschwung der Gestirne einen Tag, während der Mond den Monatsrhythmus vorgibt. Bis heute.

Ganz so chaotisch sind die Bewegungsmuster der Planeten allerdings nicht. Es gibt kein willkürliches Herumvagabundieren im gesamten Fixsternhimmel! Alle Bewegungsmuster der Planeten spielen sich auf einem begrenzten Band um die Ekliptik ab, was den hier verorteten Sternbildern eine wesentliche Rolle zukommen ließ. Es handelt sich um die Tierkreissternbilder, den Zodiakus, nach dem die Tier-

kreiszeichen benannt sind. Eine nächste fast durchgängige Regelmäßigkeit ist die Tatsache, dass sich die Bewegungsrichtungen der Planeten gleichen: Sie ist, wie schon am Beispiel der Sonne dargestellt, der täglichen Bewegungsrichtung mit ihrem Aufgang im Osten und dem Untergang im Westen gegenläufig. Da die Wanderbewegung der Planeten vor dem Fixsternhimmel wesentlich langsamer erfolgt als der Tagesumschwung, fällt sie erst auf, wenn man in Gedanken die Tagesdrehung des Fixsternhimmels anhält und täglich etwa zur gleichen Stunde die Positionsveränderungen der Planeten notiert. Dann erkennt man, dass alle Planeten vor den Sternbildern des Tierkreises fast immer von West nach Ost wandern.

Die genauere Beobachtung zeigt für alle Planeten charakteristische Bewegungsbilder.

**Sonne:** Wie schon beschrieben, können wir die west-östliche Bewegung der Sonne nicht direkt beobachten, da diese bei Tag die Fixsterne überstrahlt. Wir bemerken vielmehr die Verschiebungen der zur gleichen Nachtzeit sichtbaren Fixsterne. Daher sehen wir am westlichen Abendhimmel die Tierkreissternbilder, durch die die Sonne in den darauffolgenden Wochen und Monaten ziehen wird. Umgekehrt gibt die Sonne vor ihrem Aufgang die Sternbilder frei, durch die sie in den Wochen zuvor gewandert ist. Da die Sonne in 365,24 Tagen einen Durchgang durch die Ekliptik durchläuft, kommt sie ca.  $1^\circ$  pro Tag von West nach Ost voran. Das ist etwa der zweifache Durchmesser der sichtbaren Sonnenscheibe. Indizien für die Veränderung der Sonnenposition am Himmel sind die Tagesbögen der Sonne, die zum Sommer hin länger und höher werden (aufsteigender Ekliptikbogen) und zum Winter hin niedriger (absteigender Bogen). Hierbei bewegt sich die Sonne keineswegs immer gleich schnell. Das Sommerhalbjahr dauert mit rund 186 Tagen deutlich länger als das Winterhalbjahr mit 178 Tagen.

**Mond:** Der Mond bewegt sich von allen antiken Planeten am schnellsten. Ein siderischer Umlauf, also ein Durchgang durch den Tierkreis bis zur selben Position vor den Fixsternen, dauert 27,3 Tage. Das heißt, er legt pro Tag ca.  $13^\circ$  zurück, stündlich in etwa die Breite einer Vollmondscheibe – man kann seiner Bewegung also fast zusehen! Wer ein-

mal darauf achtet, wird diese Bewegung von Tag zu Tag sehr markant verfolgen können. Allerdings ist in den fast vier Wochen seines Umlaufes um die Erde die Sonne schon deutlich vorangekommen, sodass der Mond noch etwa weitere zwei Tage benötigt, um die Sonne einzuholen. So dauert der synodische Monat, also die Zeitspanne von Neumond zu Neumond, von Konjunktion zu Konjunktion, ca. 29,5 Tage. Denn, wie schon die Vorsokratiker erkannt hatten, die Mondphasen werden durch die Sonnenbeleuchtung des Mondes hervorgerufen.

Da sich der Mond schneller bewegt als die Sonne, erscheint die zunehmende Sichel nach Neumond am westlichen Abendhimmel, d. h., dem heliakischen Aufgang der Sternbilder gegenüber, die sich am östlichen Morgenhimmel aus dem Licht der Sonne erheben! Der zunehmende Mond zeigt sich in der ersten Nachthälfte, als Vollmond steht er der Sonne gegenüber. Er geht auf, wenn die Sonne untergeht, und unter, wenn die Sonne aufgeht. Das Lichtspiel des abnehmenden Mondes lässt sich in der zweiten Nachthälfte beobachten, bis der Mond als abnehmende Sichel morgens vor Sonnenaufgang beobachtet werden kann. Er versinkt dort ins Sonnenlicht, wo die Sternbilder sichtbar werden.

**Venus und Merkur:** Die Venus kann im Laufe ihres Sichtbarkeitszyklus zum dritthellsten Himmelsgestirn nach Sonne und Mond werden. Ein Zyklus dauert etwa 19 Monate. Hierbei taucht die Venus zunächst schwach leuchtend in der Abenddämmerung auf, wobei sie im Laufe von fünf Monaten der Jahreswanderung der Sonne vorausseilt und mehrere Stunden nach der Sonne untergeht. Sie wird dabei immer heller und dominiert den westlichen Abendhimmel. Dann allerdings hält sie inne, kehrt um und nähert sich relativ schnell der Sonne, um in der Abenddämmerung zu verschwinden. Nach etwa einem Monat taucht sie, immer noch schnell wandernd, am Morgenhimmel auf, wobei sie in etwa so weit hinter der Sonne zurückbleibt, wie sie vorher vor ihr zu finden war. Jetzt ist sie der Morgenstern. Doch erneut wendet sie ihre Bewegungsrichtung, um die Sonne wieder einzuholen und diesmal – allerdings viel langsamer – in der Morgendämmerung zu verschwinden. Die Venus wechselt auf diese Weise vom Morgen- zum Abendstern. Sie bleibt an die Sonne gebunden und ist niemals in den mittleren Nachtstunden in Opposition zu sehen.<sup>14</sup> In der Abbildung „Venus



am Abendhimmel“ verfolgen wir die Venus über einen Zeitraum von fünf Monaten immer zur gleichen Zeit nach Sonnenuntergang (Abbildung 4).



Die Position der Sonne lässt sich in etwa abschätzen, wenn man ihre Bewegung schon vor dem Sonnenuntergang verfolgt und extrapoliert. Die scheinbare „Venusschleife“ entsteht durch drei sich überlagernde Bewegungen: Es verändert sich der Abstand der Venus von der Sonne, gleichzeitig folgt die Venus dem jährlichen Auf und Ab der Sonne – für Kenner lässt sich ein Abschnitt des Analemmas

der Zeitgleichung an Sonnenuhren erkennen. Die dritte Komponente ergibt sich aus der relativen Lage der Ekliptik gegenüber dem abendlichen Horizont, wobei der Winkel zwischen Horizont und Ekliptik zur Frühlings-Tag-und-Nachtgleiche am größten ist.

Ein ähnliches Bewegungsbild zeigt der Merkur. Er bleibt allerdings viel näher bei der Sonne und ist daher nur für kurze Zeit am Abend- oder Morgenhimmel in der Dämmerung auszumachen. Beobachter in höheren Breiten gehen dabei gerne leer aus, da hier die Ekliptik, von der Merkur maximal  $7^\circ$  abweicht, flach steht und Merkur die Dämmerung nur kurze Zeit überstrahlt. Auch Merkur ist demnach Abend- und Morgenstern. Sein Sichtbarkeitsrhythmus wiederholt sich alle 116 Tage, also mehr als drei Mal im Jahr. Seines unsteten und nur für kurze Zeit sichtbaren Daseins wegen wurde Merkur mit den umherziehenden Händlern assoziiert (lat. *mercari* = Handel treiben). Den Grie-

chen war er Ausdruck des Gottes Hermes, des Schutzpatrons der Händler.

Merkur und Venus bleiben somit in Sonnennähe und ziehen mit ihr rechtläufig (von West nach Ost) durch den Tierkreis.

**Jupiter und Saturn:** Ein ganz anderes Bewegungsbild finden wir bei Jupiter und Saturn. Jupiter braucht für seinen Weg durch den Tierkreis 12 Jahre und kommt so pro Jahr etwa um ein Tierkreissternbild voran. Dies war ein weiterer Grund dafür, dass die Ekliptik in zwölf gleich-große Abschnitte, die Tierkreiszeichen, eingeteilt wurde.

Verfolgt man die Bewegung des Jupiter genau, taucht eine bemerkenswerte Besonderheit auf: Wir beginnen zu dem Zeitpunkt, in dem der Jupiter von der Sonne verdeckt wird. Wie bei den Fixsternen beginnt die Sichtbarkeit Jupiters am Morgenhimmel (heliakischer Aufgang) und erstreckt sich immer mehr in den Nachthimmel der zweiten Nachthälfte hinein. Hierbei wandert der Jupiter langsam rechtläufig von West nach Ost. Dann verlangsamt er seine Bewegung, bleibt stehen und kehrt um! Die rückläufige Bewegung wird hierbei immer schneller und erreicht in dem Moment ihre höchste Geschwindigkeit, wenn sie um Mitternacht genau im Süden zu beobachten ist. Hier stehen sich Jupiter und Sonne exakt gegenüber, d. h. in Opposition. Nach einer Verlangsamung der retrograden Bewegung bleibt er erneut stehen und zieht dann rechtläufig weiter in Richtung des nächsten Sternbildes. Notiert man die Bewegung vor dem Fixsternhimmel, so kann man zudem erkennen, dass wir keine einfache Vorwärts-Rückwärtsbewegung finden, sondern dass hierbei eine Schleife „gezeichnet“ wird: die „Oppositionsschleife“<sup>15</sup>. Der Sichtbarkeitszyklus des Jupiter beträgt ein Jahr und 34 Tage.

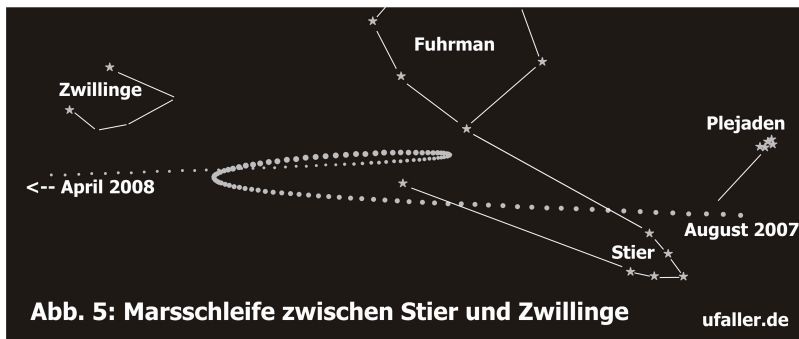
Ein ähnliches Bild zeigt die Bahn des Saturns, mit dem Unterschied, dass er noch langsamer auf der Ekliptik vorankommt. Sein Sichtbarkeitszyklus beträgt ein Jahr und 13 Tage, er braucht also annähernd drei Jahre, um von einem Tierkreiszeichen zum nächsten zu wechseln, und benötigt so fast 30 Jahren für einen Umlauf.

Während sich Venus und Merkur niemals in Opposition befinden und damit um Mitternacht sichtbar sind, haben wir zu dieser Zeit die auffälligste Sichtbarkeitszeit der Planeten Jupiter und Saturn, in wel-

cher sie mit ihren Bahnschleifen eine besonders schöne Figur in den Fixsternhimmel zeichnen!

**Mars:** Der Sichtbarkeitszyklus des Mars zeigt nun einige weitere Besonderheiten. Zunächst dauert er mit zwei Jahren und 49 Tagen von allen Planeten am längsten. Fast ein halbes Jahr versteckt er sich hierbei hinter der Sonne und taucht danach sehr langsam am Morgenhimmel auf (heliakisch, also wie die Fixsterne). Seine Bewegung wird dabei immer schneller und der Planet dabei immer heller, bis er eine sehr dynamische Oppositionsschleife durchläuft, für die er etwas mehr als ein halbes Jahr benötigt (Abbildung 5).

Dann verlangsamt sich seine Wandergeschwindigkeit und er versinkt im Abendhimmel. Etwa ein Jahr nachdem er als heller Nachtplanet seine Oppositionsschleife gezeigt hat, befindet er sich wieder in Konjunktion mit der Sonne und ist nicht auszumachen. Erst im darauffolgenden Jahr, etwas über einen Monat später, zeigt er die nächste Oppositionsschleife, wobei er um gut ein Sternbild im Tierkreis fortschreitet. Dieses dynamische Bewegungsmuster ist eines Kriegsgottes würdig.



## Die Geburt der wissenschaftlichen Kosmologie mit der ionischen Naturphilosophie

Um das Jahr 469 v. u. Z. fiel ein Meteorit auf die thrakische Halbinsel am Hellespont. Sein Einschlag hinterließ Spuren in der Philosophiege-

schichte. Der Philosoph Anaxagoras zählte zu dieser Zeit etwa dreißig Jahre. Er stammte aus Klazomenai an der kleinasiatischen Westküste im griechischen Ionien. Die heute zur Westtürkei zählende Region war in dieser Zeit Umschlagplatz für den Handel mit dem Orient und damit Berührungsfläche westlicher und östlicher Kulturen. Die Folge waren nicht nur blühende Städte, wie Milet und Ephesos, sondern auch die Beflügelung des Denkens. Es ist nicht verwunderlich, dass hier der Geburtsort der westlichen Philosophie auszumachen ist. Bekannt sind Namen wie Thales von Milet, dessen „Satz des Thales“ zum Bildungskanon gehört, oder Heraklit mit seinem „*panta rhei*“ („alles fließt“). Diese Denker werden der ionischen Naturphilosophie zugerechnet.

Als der Meteorit einschlug, lebten die meisten dieser als Vorsokratiker bezeichneten nicht mehr. Anaxagoras stand in ihrer Denktradition. Er sah in den Erscheinungen der Natur nicht das Walten der Götter, sondern suchte nach natürlichen Erklärungen für die Naturphänomene. Den ionischen Naturphilosophen interessierte, wie der Kosmos entstanden ist, welche Grundprinzipien dem Werden und Vergehen zugrunde liegen, aus welcher Stofflichkeit die Gestirne bestehen und welchen Gesetzmäßigkeiten sie gehorchen. Mythologische Vorstellungen, die das Naturgeschehen als Ausdruck göttlicher Taten und Leiden begriffen, sollten dadurch überwunden werden, dass man nach natürlichen Ursachen und Naturgesetzmäßigkeiten fragte.

Nachdem Anaxagoras den Meteoriten untersucht und seine stoffliche Natur erkannt hatte, *„erklärte [er] die Sonne für eine glühende Gesteinsmasse“* und für *„größer als den Peloponnes.“* Und: *„Der Mond [hat] bewohnte Gegenden, auch Berge und Täler.“* Dies berichtete Jahrhunderte später der Doxograf und Philosophiehistoriker Diogenes Laertios.<sup>16</sup>

An anderer Stelle wird Anaxagoras' Ansicht überliefert, Sonne, Mond und alle Sterne seien glühende Gesteinsmassen, die von dem Umschwung des Äthers mit herumgerissen würden. Die Wärme der Sterne ist nicht zu spüren, da deren Entfernung zu groß ist. Der vom Himmel gefallene Meteorit war für Anaxagoras Indiz für die physische Natur der Himmelserscheinungen.

Um das Jahr 462 geht Anaxagoras nach Athen, wo er Lehrer, Berater und Freund des bedeutenden Staatsmannes Perikles wird. Dieser hatte nach der Zerstörung Athens durch die Perser 480 v. u. Z. die der

Stadtgöttin Athene geweihte Akropolis als Tempel- und Burganlage wieder aufbauen lassen – ein kulturgeschichtlicher Ausdruck für den Aufstieg der attischen Demokratie zum Zentrum der hellenistischen Welt. Durch Anaxagoras' Einfluss kam die Philosophie nach Athen, die schon wenige Jahrzehnte später mit Sokrates, Platon und Aristoteles dort ihren klassischen Höhepunkt erlebte.

Anaxagoras selber allerdings hatte noch einen schweren Stand: Neider, wie der Politiker und Heerführer Kleon, klagten Anaxagoras wegen Asebie (Gottlosigkeit) an. Die Entzauberung der Sonne brachte ihm die Anklage ein! Anders als wenige Jahrzehnte später Sokrates entgeht Anaxagoras durch Perikles' Fürsprache dem Todesurteil und wird aus Athen verbannt. Er verbringt die letzten Jahre seines Lebens auf der Insel Lampsakos, wo er hoch geehrt starb.

Es ist erhellend, einige der wenigen überlieferten Zitate über das astronomische Denken der vorsokratischen Naturphilosophen auf sich wirken zu lassen. Man muss berücksichtigen, dass diese Zitate zumeist nicht Überlieferungen aus erster Hand darstellen, sondern oftmals erst Jahrzehnte oder Jahrhunderte später von sogenannten Doxografen aufgezeichnet wurden. So verstand schon Aristoteles den wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt als einen historisch wachsenden Prozess und setzte sich daher ausführlich mit Ansichten (gr. *Doxai*) seiner Vorgänger auseinander. Zudem gab es Doxografen wie den im 1. Jahrhundert u. Z. lebenden Aetios, die umfangreiche Sammlungen der überlieferten Ansichten alter Philosophen zusammentrugen. Einige wenige dieser Werke haben den großen Kulturverlust am Ende der Antike überdauert.

Blitzlichtartig wird in den überlieferten Sätzen erkennbar, welche astronomischen Fragen die ersten Naturphilosophen bewegten und wie sie diese zu erklären versuchten:

Anaximander (610–547): *„Anaximander behauptet, dass sich die Erde (im Weltraum) in schwebender Lage befinde, und zwar im Mittelpunkt der Welt.“* (Theon Smyrnaeus)

Anaximenes (585–528): *„(Anaximenes lehrte) Sonne, Mond und die übrigen Gestirne hätten ihren Ursprung von der Erde. Er erklärte demnach die Sonne für Erde; sie sei aber infolge ihrer raschen Bewegung erhitzt worden und in diesen Verbrennungszustand geraten.“* (Pseudoplutarch)

Pythagoras (571–510): „Weiter wir berichtet, dass Pythagoras als Erster den Himmel das Universum (Kosmos) genannt und die Erde für eine Kugel erklärt habe.“ (Diogenes Laertios)

Heraklit (540–470): „Nach Heraklit ist die Sonne neu an jedem Tag.“ (Aristoteles) – „Die Gestirne ernähren sich von den Ausdünstungen der Erde.“ (Aetios)

Parmenides (515–450): „Parmenides lokalisiert den Morgenstern, den er für identisch mit dem Abendstern hält, als ersten [Planeten] in den Äther; nach ihm kommt dann die Sonne und unter dieser wieder die Sterne in dem feurigen Wesen, das er Himmel nennt.“ (Aetios) – „Erdumwandelnd erhellt er (der Mond) die Nacht mit geliehenem Lichte.“ (Plutarch)

Anaxagoras (499–428) glaubte: „Sonne, Mond und alle Sterne seien glühende Gesteinsmassen, die von dem Umschwung des Äthers mit herumgerissen würden.“

Empedokles (480–430): „Empedokles meint, dass die Sonne doppelt so weit von der Erde entfernt sei als der Mond.“ (Aetios) – „Empedokles lehrte, dass die Fixsterne am Himmelsgewölbe festsäßen, während die Planeten sich frei bewegen könnten.“ (Aetios)

Leukippos (5. Jh. v. u. Z.): „Es sei aber der Kreis der Sonne der äußerste, der des Mondes dagegen der Erde am nächsten, während die anderen Gestirne zwischen diesen beiden sich befänden. Und sämtliche Gestirne seien infolge der Schnelligkeit ihrer Bewegung glühend.“ (Diogenes Laertios)

Demokrit (460–371): „Demokrit nahm das All als unendlich an, weil es keinesfalls von jemandem geschaffen sei.“

Man muss sich vergegenwärtigen, dass die hier zitierten Philosophen hochgebildete Persönlichkeiten waren, die heute möglicherweise der naturwissenschaftlichen Elite angehören würden. Trotzdem muten aus heutiger Sicht viele dieser Aussagen geradezu naiv an. Dadurch wird deutlich, wie wenig der unmittelbare Sinneseindruck der Gestirne über ihre kosmologische Natur Auskunft gibt und wie viel wir uns denkend erschließen müssen. Die Sinne bringen uns in Berührung mit der Welt, doch erst unser Nachdenken erkennt die kosmologischen Zusammenhänge! – Dieses Nachdenken begann für die europäische Geistesgeschichte mit den oben zitierten Denkern.

Mit den Meinungen der ionischen Naturphilosophen sind die Fragen angesprochen, die im geozentrischen Weltbild ihre Beantwortung fanden, bevor sie von Kopernikus eine neue Interpretation erfuhren:

- Zum einen geht es um die Reihenfolge und Bewegung der Gestirne: Wie stehen Fixsterne und Planeten zueinander? Wie steht es um die Position der Erde und des Mondes? Wo bewegen sich die Planeten?

Interessant ist, dass vielfach noch nicht zwischen Wetterphänomenen der Atmosphäre und kosmischen Phänomenen unterschieden wurde. „Die Gestirne ernähren sich von den Ausdünstungen der Erde.“ Noch Aristoteles zählt Meteoriten zu den atmosphärischen Erscheinungen (Meteorologie = Wetterkunde); aus Gründen, auf die noch einzugehen ist.

- Dann geht es um die Größenverhältnisse des Kosmos: Ist der Himmel Teil des irdisch-atmosphärischen Geschehens? Ist er größer? Wie groß sind die Planeten?

So wird staunend zur Kenntnis genommen, dass „die Sonne größer (ist) als die Peloponnes“ (Anaxagoras), d. h. etwa 200 km im Durchmesser. Man betrachte einmal die Sonne und stelle sich vor, sie hätte (aus heutiger Sicht „nur“) den Durchmesser von beispielsweise Baden-Württemberg. – Wie vergleichsweise greifbar wird die Sonne und mit ihr der ganze Kosmos!

- Des Weiteren geht es um die Natur der Gestirne: Aus welcher Substanz bestehen Sonne, Planeten, Sterne bzw. der Mond? Wieso leuchten sie?

Diese Fragen zielen auf eine naturalistische Beantwortung: In der Sonne wird jetzt ein physischer Körper gesehen, nicht mehr das Antlitz eines Gottes.

- Grundlegend ist die Frage nach der Ursache für die stete Bewegung der Gestirne: Woher kommen die nicht nachlassende Bewegung der Planeten und die tägliche Fixsternrotation?

Unsere Alltagserfahrung lehrt uns, dass alle Bewegungen, die wir irgendwo erleben, nach mehr oder weniger langem Zeitraum zur Ruhe kommen. Jedes rollende Fahrzeug bleibt irgendwann stehen, jedes fließende Wasser kommt spätestens beim Erreichen des Meeres zur Ruhe, wie auch der Wind, der die Oberfläche bewegt. Jeder fallende Gegen-

stand bleibt irgendwann liegen, solange er nicht erneut angestoßen wird. Nur Sonne, Mond und die Gestirne bewegen sich ohne Unterlass weiter! Waren diese Bewegungen im mythologischen, vorwissenschaftlichen Bewusstsein noch direkt Ausdruck des Willens eines Gottes, so musste man jetzt eine materielle Ursache hierfür finden. Ein spezielles himmlisch-physikalisches Prinzip, der Äther, wurde hierfür angenommen.

So wendeten die ionischen Naturphilosophen ihren Blick nach außen auf die Phänomene (gr. *phainómenon* = ein Erscheinendes), zum anderen aber auch nach innen, auf das Denken, den Verstand, der in der Vielfalt der Phänomene ordnende Prinzipien findet. Anaxagoras prägt hierfür den Begriff „nous“, also ein geistiges Prinzip, das dem Chaos Ordnung verleiht. Pythagoras, der die Schule der Pythagoreer begründet und den meisten Schülern durch seinen berühmten „Satz des Pythagoras“ bekannt ist, wirft in diesem Zusammenhang einen besonderen Blick auf die Mathematik und Geometrie. Mathematische Gesetzmäßigkeiten waren für ihn nicht nur ein pragmatisches Regelwerk, sondern direkter Ausdruck der Harmonien der Welt, die die Pythagoreer vor allem auch in der Musik wiederfanden. Auch die himmlischen Erscheinungen waren ihrer Auffassung nach von einer mathematisch zu fassenden Harmonie bestimmt, sie sprachen von einer Sphärenharmonie. So wurde von ihnen der Ausdruck „Kosmos“ geprägt, was sowohl „Weltordnung“ als auch „Schmuck“ bedeutet.

## **Aristoteles und die wissenschaftliche Begründung des geozentrischen Weltbildes**

Die Jahrzehnte von Anaxagoras (499–428 v. u. Z.) bis Aristoteles (384–322 v. u. Z.) umspannen die klassische Periode der griechischen Antike. Im Gegensatz zum späteren Römischen Reich gliederte sich der griechische Kulturkreis politisch in einzelne Stadtstaaten und Kolonien, deren stärkste, wie Sparta, Athen, Theben oder später Makedonien, mit wechselndem Erfolg um ihre Vorherrschaft kämpften. Hier erlebte die griechische Kultur eine kulturelle Blüte, die in Architektur, Theater und Kunst ihren Niederschlag genauso fand wie in der Philosophie und damit in den Wissenschaften.



Ein Zentrum dieses geistigen Schaffens bildete Athen. Hierher kam 367 v. u. Z. der siebzehnjährige Aristoteles, um der Akademie beizutreten, die Platon zwanzig Jahre vorher gegründet hatte. Hier blieb er, erst als Schüler, nachher als Lehrer, bis Platon 348 starb. Als nicht er, sondern der Neffe Platons, Speusippos, zur Nachfolge der Akademieleitung benannt wurde, verließ Aristoteles mit einigen getreuen Philosophen Athen. Er wurde vom makedonischen König Philipp II. beauftragt, den dreizehnjährigen Kronprinzen Alexander zu unterrichten. 336 wurde Alexander Thronfolger und tritt seinen beispiellosen Eroberungsfeldzug an.

Aristoteles kehrte zurück nach Athen, wo er zusammen mit seinem Freund und Mitarbeiter Theophrast am Lykeion lehrte und forschte, einem Park im Süden Athens. Später erst entwickelte sich aus dieser Einrichtung eine eigene Philosophenschule, die nach einer „Wandelhalle“, in der gelehrt wurde, Peripatos und deren Mitglieder Peripatetiker genannt wurden. Gute zehn Jahre dauerte diese fruchtbare Schaffenszeit Aristoteles', bis sich Athen nach dem plötzlichen Tod Alexanders des Großen 323 gegen die makedonische Vorherrschaft auflehnte und Aristoteles der Gotteslästerung angeklagt wurde. Aristoteles wollte, wie er sich äußerte, den Athenern nicht zum zweiten Mal die Gelegenheit geben, sich gegen die Philosophie zu versündigen. So geschehen 80 Jahre zuvor an Sokrates, der wegen Gotteslästerung den tödlichen Schierlingsbecher trinken musste. So floh er nach Chalkis auf Euboia auf das Landgut seiner Mutter und starb dort in Jahresfrist an einem Magenleiden im Alter von 62 Jahren.

Aristoteles hinterließ ein umfangreiches Werk. Seine für ein breites Publikum geschriebenen exoterischen Werke sind verloren gegangen. Viele für den internen Gebrauch in seiner Philosophenschule geschriebene esoterische Werke sind überliefert. Sie befassen sich mit allen nur erdenklichen Themen, von der Staatsphilosophie, Ethik und Sprachwissenschaft über Kernthemen der Philosophie, der Logik, Metaphysik und Seinslehre, bis hin zu einer umfangreichen Zusammenschau aller Themen, die heute in den verschiedenen Disziplinen der Naturwissenschaft behandelt werden.

Voraussetzung für die geozentrische Kosmologie bildeten Aristoteles' Vorstellungen von der Natur der Bewegung. Im naturwissenschaftlich geprägten Denken verbindet man mit dem Wort Bewegung in ers-

ter Linie eine materielle Ortsbewegung. Aristoteles hatte einen weiter gefassten Begriff der Bewegung. In seiner *physike theoria* (= Naturforschung) entwickelt Aristoteles Vorstellungen von den Ursachen der Bewegung, die so überzeugend an die Alltagserfahrungen anknüpfen, dass sie über nahezu zwei Jahrtausende Wissenschaftler beeinflussten. Das lässt ihn zum zentralen Begründer naturwissenschaftlichen Denkens werden: Nicht Spekulation oder Glaubenswahrheiten, sondern die gedanklich durchdrungene Erfahrung, die Empirie, ist Ausgangspunkt seiner wissenschaftlichen Gedankengänge.

Der 2001 verstorbene ungarische Physiker Károly Simonyi gibt in seiner Kulturgeschichte der Physik eine anschauliche Schilderung des Ausgangspunktes aristotelischer Physik:

„Nehmen wir an, wir hätten unsere Schulkenntnisse über die Newton'schen Grundgesetze der Bewegung vergessen und sollten aus unseren Alltagsbeobachtungen ohne Zuhilfenahme von Experimenten irgendeine Systematik in die Vielfalt der Bewegungsformen bringen sowie irgendeinen Zusammenhang zwischen [...] z. B. der Geschwindigkeit und einer wirkenden Ursache finden müssen. Wir versetzen uns in Gedanken auf eine Promenade am Ufer des Plattensees, wo wir alle Bewegungen, die durch die Menschen sowie durch die Dynamik der Natur verursacht werden, beobachten wollen. Im seichten Wasser des Sees schwimmen viele kleine Fische, in der Luft fliegen Möwen umher, und Spaziergänger gehen an uns vorbei. Allen diesen Bewegungen ist etwas gemeinsam: Die Ursache für die selbstständige Bewegung ist offenbar darin zu suchen, dass es sich hier um Lebewesen handelt.

Lassen wir nun einen Gegenstand aus der Hand gleiten, dann ist es natürlich, dass dieser auf die Erde fällt. Aus dem Schornstein eines vorüberfahrenden Schiffes steigt Rauch nach oben auf, was wir auch als naturgegeben ansehen. Ein Kind zieht hinter sich einen kleinen Handwagen, vor einem anderen Kind fährt ein modernes Spielzeugauto von allein, ohne dass ein unmittelbarer Kontakt zwischen Kind und Auto zu sehen ist. Diese beiden Bewegungen sehen wir nicht als naturgegeben an; wir suchen bei jeder nach der Ursache der Bewegung, nach dem Antrieb. Offenbar werden beide Bewegungen erzwungen, einmal von dem Kind, also einem Lebewesen, das andere Mal durch einen im Auto eingebauten Motor.

Es ist Abend, die Sonne versinkt langsam hinter dem Horizont, und die Sterne werden sichtbar. [...] Am Himmel beobachten wir etwas völlig anderes, als wir es von den irdischen Bewegungen her gewohnt sind. Die langsamen und gleichförmigen Bewegungen am Firmament stehen in einem scharfen Gegensatz zu all den schnell veränderlichen, unruhigen und schließlich abklingenden Bewegungen auf der Erde. Es ist offensichtlich, zumindest ist es unser unmittelbarer Eindruck, dass in den himmlischen Sphären andere Bewegungsgesetze gelten müssen, als auf der Erde.“<sup>7</sup>

Es fällt nicht schwer, diese Reflexionen am Plattensee auf unzählige eigene Erfahrungen zu übertragen. Sie spiegeln die Grundelemente, auf denen Aristoteles seine Physik des geozentrischen Weltbildes aufbaut:

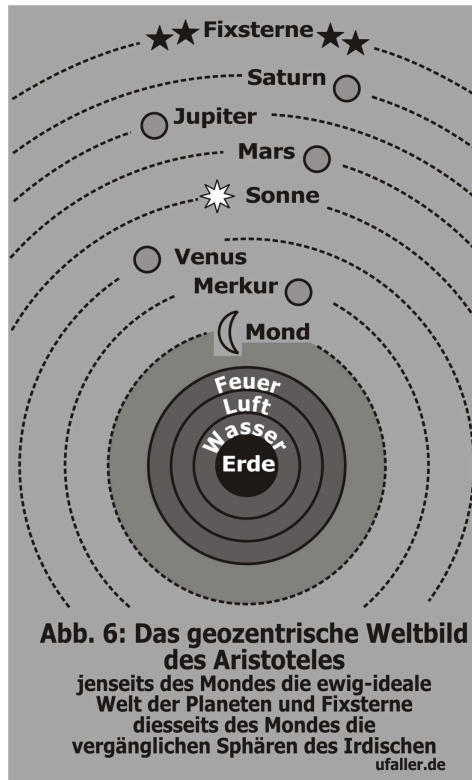
- Der irdische Bereich ist von Natur aus geordnet. Das schwere und feste Gestein ruht im untersten Bereich der Erde, die jeweils leichtere Substanz in höheren Bereichen. Daher gliedert sich die Welt in vier Sphären (Sphäre = Kugelschale): Die ruhende Erde bildet das Zentrum des Kosmos, gefolgt von einer Wassersphäre, über der die Luft liegt, wobei heiße Luft mit dem Feurigen verbunden ist und als noch leichteres Element in höheren Sphären ihren Platz hat. So wird die feste und kugelförmige Erde der Reihe nach von einer Wasser-, Luft- und Feuersphäre umgeben. Die Natur durchzieht das Bestreben, diese „natürliche Ordnung“ herzustellen.
- Alle Bewegungen, auch gleichförmige Bewegungen, werden durch Kräfte hervorgerufen. Diese Kräfte sind:
  - Lebewesen, die sich aus eigenem Willen heraus bewegen.
  - erzwungene Bewegung, wie ein Stein, der geworfen wird.
  - natürliche Bewegungen, die die gestörte irdische Ordnung wieder herstellt. Wird beispielsweise ein Stein hochgehalten und losgelassen, fällt er zu Boden, weil dadurch die natürliche Ordnung wiederhergestellt wird, der zufolge Festes im Zentrum ruhen. Umgekehrt steigen Luftblasen im Wasser nach oben, da sich ihr natürlicher Ort über dem Wasser findet.
- Nach Aristoteles sehen wir überall, wo wir Bewegungen erkennen können, auch wirkende Kräfte am Werk: Lebewesen, die etwas tun wollen, Gegenstände, die durch Kräfte zur Bewegung gezwungen werden, oder Bewegungen, die die natürliche Ordnung wiederherstellen und zur Ruhe kommen, wenn dies erreicht ist. Bewegungen sind also Ausdruck von Prozessen, von wirkenden Kräften, es sind demnach keine Zustände, hinter denen keine aktuell wirkenden Kräfte stehen. Hierbei ist die Bewegung umso schneller, je größer die Kraft ist, die auf den Körper einwirkt. Wirken keine Kräfte mehr auf den bewegten Gegenstand, erlischt sie in dem Moment, in dem der Zustand der natürlichen Ordnung wiederhergestellt ist.
- Durch das Werden und Vergehen der Lebewesen, deren Dasein durch Geburt und Tod begrenzt ist, haben wir im irdischen Bereich eine Welt der Vergänglichkeit und Unvollkommenheit.

- In scharfem Kontrast hierzu stehen die Bewegungen, die sich am Himmel beobachten lassen: Die täglichen Bewegungen der Gestirne kommen nie zur Ruhe, vollführen die vollkommenste denkbare Bewegung, die Kreisbewegung. Sie müssen der irdischen Physik entrückt sein. Aristoteles stellt fest, dass im irdischen und himmlischen Bereich unterschiedliche Naturgesetze gelten, wobei die himmlischen vollkommen und damit göttlich sind, während der irdische Bereich von Wandel, Werden und Vergehen geprägt ist. Besteht der irdische Bereich aus den vier Elementen Erde, Wasser, Luft und Feuer, so muss der Kosmos aus einer anderen, „fünften“ Stofflichkeit bestehen, der „Quintessenz“, die Aristoteles „Äther“ nannte.
- Die Grenze dieser zwei Seins-Bereiche stellt der Mond da, denn er vollführt ebenfalls ewige Kreisbewegungen, zeigt aber mit seiner zunehmenden und abnehmenden Lichtgestalt den Duktus der irdischen Sphäre: das Werden und Vergehen. Der Mensch lebt im sublunaren Bereich des Kosmos und ist damit von der vollkommenen, göttlichen Welt der Sterne und Planeten getrennt.
- Die „sublunare Welt“ zwischen Mond und der Fixsternsphäre wird durch die Planetensphären untergliedert. Am schnellsten rotieren die Fixsterne um die Erde, täglich kommen sie um ein Grad weiter voran als die Sonne. Saturn, Jupiter und Mars bleiben zurück. Sie werden in dieser Reihenfolge immer langsamer, vollführen im Schnitt ebenfalls täglich mehr als eine Umdrehung. Denn der Tag wird durch die Sonne bestimmt. So ergibt sich die Reihenfolge der „obersonnigen Planeten“: Sonne, Mars, Jupiter, Saturn und dann die Fixsternsphäre. Ein Problem sind die „untersonnigen Planeten“ Merkur und Venus. Beide rotieren täglich im Schnitt genauso schnell wie die Sonne. Da es keine Opposition gibt, sondern nur untere Konjunktionen, siedelte Aristoteles ihre Sphären unterhalb der Sonne an. Wer aber ist näher an der Sonne? Nun fällt der synodische Umlauf von Mars und Venus aus dem Rahmen. Die Zeit zwischen ihren Konjunktionen beträgt beim Mars 780 Tage, bei der Venus 584 Tage, während Jupiter und Saturn hierfür nur etwas länger als ein Jahr benötigen (399 bzw. 378 Tage) und Merkur mit 116 Tagen den kürzesten synodischen Rhythmus zeigt. Es liegt nahe, den Grund hierfür darin zu sehen, dass sowohl Venus als auch

Mars die sonnennächsten Planeten darstellen. Heliozentrisch wird die Erklärung für diese Besonderheit umgekehrt darin liegen, dass beide Planeten die erdnächsten sind!

Zentral war für das geozentrische Weltbild die hierdurch vollzogene Trennung der irdischen und kosmischen Physik. Eine Physik beschreibt die irdischen Verhältnisse als Welt des Vergänglichen, eine ganz andere Physik die Welt des Ewigen, Idealen, Göttlichen.

Aus der Erklärungslogik der aristotelischen Physik folgt die Zentralstellung der ruhenden Erde im ewig bewegten göttlichen Kosmos (Abbildung 6).



Damit ergibt sich ein kosmologisches Gesamtbild, das mit einem Zitat aus dem Werk „de mundi“ („Über die Welt“) zusammengefasst werden

soll. Ob „de mundi“ Aristoteles selbst zugeschrieben werden kann, ist umstritten – Sprachanalysen lassen vermuten, dass dieses Werk erst später verfasst wurde. Der Text beschreibt in komprimierter Form den aristotelischen Kosmos und sei deshalb ausführlicher zitiert:

*„Den Stoff von Himmel und Sternen nennen wir Äther, nicht, wie manche sagen, weil er wegen seiner Feuernatur leuchtet, [...] sondern weil er ewig im Kreis läuft, ein unvergängliches, göttliches Element und den anderen völlig ungleich. Von den Sternen nun, die der Himmel umfasst, kreisen die einen als Fixsterne mit dem ganzen Himmel und bleiben immer am selbigen Ort; mitten durch sie ist der sogenannte Tierkreis als schräger Gürtel zwischen den Wendekreisen gespannt, unterteilt in die Regionen der zwölf Tierbilder; die anderen Sterne aber, die Planeten, sind weder den Fixsternen noch untereinander an Geschwindigkeit gleich, sondern laufen auf jeweils verschiedenen Kreisbahnen, so dass sie teils erdnäher sind, teils höher stehen. Die Zahl der Fixsterne nun kann der Mensch nicht ergründen, mögen sie ihre Bahn auch auf der einen sichtbaren Oberfläche des ganzen Himmelsgewölbes ziehen. Die Planetenschar hingegen, im Ganzen sieben, ist in ebenso vielen ineinander liegenden Kreisen so angeordnet, dass immer die jeweils höhere Bahn größer ist als die untere, die sieben aber eine von der anderen umschlossen und alle zusammen von der Fixsternsphäre umfasst werden. [...]*

*An den göttlichen Äther, den wir ein Reich der Ordnung, dazu unverrückbar, unwandelbar und unveränderlich nennen, grenzt der gänzlich wandelbare, veränderliche und, kurz gesagt, vergängliche und sterbliche Bereich. In ihm wiederum kommt als erstes die feine, feurige Substanz, die vom Äther durch seine Ausdehnung und reißend schnelle Bewegung entzündet wird. In dieser, wie man sagt, feurigen und ungeordneten Region [...] treten [...] Kometen auf und verlöschen wieder. Gleich unter dieser Sphäre breitet sich die Luft aus, ihrem Wesen nach dunkel und eisig. Da sie aber von der Sphäre über ihr erleuchtet und zugleich durchglüht wird, wird sie hell und warm. In diesem Bereich aber, der gleichfalls von veränderlicher Wesensart ist und sich vielfach wandelt, ballen sich Wolken, stürzt Regen herab [...].*

*An das Reich der Luft grenzt die Feste der Erde und des Meeres, die in Fülle Pflanzen und Tiere hervorbringt. [...]*

*Dann erst folgt in den Tiefen, in der eigentlichen Mitte des Weltalls, fest und geballt die Erdmasse, die unbewegt und unerschütterlich ist. Und diesen Punkt im Weltall nennen wir „ganz unten“.*

*Diese fünf Elemente also liegen in fünf Schichten kugelförmig ineinander, wobei stets die kleinere von der größeren umschlossen wird, ich meine: Erde von Wasser, Wasser von Luft, Luft von Feuer, Feuer von Äther; und diese haben die gesamte Welt gebildet und den ganzen oberen Bereich zum Wohnsitz der Götter gemacht, den unteren aber zur Stätte von Eintagswesen.“<sup>98</sup>*

Damit ist sowohl die ruhende Erde im Mittelpunkt des Kosmos als auch die göttliche Natur der Gestirne, die sich um die Erde drehen, philosophisch-naturwissenschaftlich begründet. Es entstand ein in sich schlüssiges Weltbild voll Schönheit und Überzeugungskraft, das eineinhalb Jahrtausende führende Denker überzeugte. Erst vor wenigen Jahrhunderten wurde es zu Fall gebracht. Der endgültige Sargnagel war ein neuer Blick auf die Natur der Bewegung durch Isaak Newton, der die Trennung zwischen irdischer und kosmischer Physik hinfällig machte. Doch dazu später.

## **Astronomie im hellenistischen Alexandria**

So kurz das politisch-militärische Feuer Alexanders des Großen brannte, so tief greifend veränderte es die kulturelle Landschaft der Antike. 331 v. u. Z., zwei Jahre nach dem entscheidenden Sieg bei Issos, gründet Alexander am westlichen Ende des fruchtbaren Nildeltas eine Stadt, die in den kommenden Jahrhunderten zu einer der größten antiken Städte und zu einem geistigen Zentrum heranwuchs: Alexandria. Nach seinem Ableben wurde Alexandria zur Residenzstadt der Ptolemäer, die den ägyptisch-nordafrikanischen Teil des alexandrini-schen Reichsriesen erbten und bis zur Einverleibung ins Römische Reich für fast 300 Jahre beherrschten.

Wie am Beispiel Assurbanipals in Ninive dargestellt, wurden bereits in babylonischen Zeiten Wissensschätze gesammelt und in Bibliotheken zusammengetragen. Genauso ergänzte Alexander der Große die Bibliothek seines Lehrers Aristoteles um Schriftrollen aus allen Teilen der Welt – ein Vorbild, das im entstehenden hellenistischen Kulturraum Schule machte. In allen zentralen Städten der Diadochenreiche entstanden Bibliotheken, die Gelehrte anzogen und den wissenschaftlich-philosophischen Austausch förderten. Berühmte Beispiele sind die Bibliotheken von Pergamon und Antiochia. Zu einem herausragenden Zentrum entwickelte sich die Bibliothek von Alexandria als Herzstück des Museions, des Tempels der Musen (Schutzgöttinnen der Künste und Wissenschaften). Staatlich besoldete Gelehrte aller Disziplinen konnten dort ihr Leben der Wissenschaft widmen, wodurch die „Schule von Alexandria“ zu einem der wichtigsten Forschungszentren

der Antike heranwuchs. Nicht umsonst ist Claudius Ptolemäus, der fast fünfhundert Jahre später, im zweiten Jahrhundert u. Z., das geozentrische Weltbild zusammenfassend darstellt, Bibliothekar in Alexandria!

Die politisch stabile Zeit bis zur Einverleibung des östlichen Mittelmeerraumes in das Römische Reich, die staatliche Förderung wissenschaftlicher Tätigkeit und der ständige Wissensaustausch über die Bibliotheken im hellenistischen Kulturbereich waren die Voraussetzungen für die erste Blüte wissenschaftlichen Denkens. Der italienische Physiker, Mathematiker und Wissenschaftshistoriker Lucio Russo<sup>19</sup> spricht von einer „vergessenen Revolution“. Weil die meisten Primärtexte der Forscher dieser Zeit verloren gegangen sind, wird sie im historischen Bewusstsein nicht angemessen gewürdigt. Was sich allerdings aus den Sekundärtexten rekonstruieren lässt, reicht aus, um das Niveau zu erahnen, auf dem damals gedacht wurde.

So entstand das wohl meistgelesene Mathematikbuch, die „Elemente“ des Euklid von Alexandria. Straton von Lampsakos, der von Theophrast die Leitung des Lykeion übernommen hatte, beschäftigte sich mit fallenden Körpern und kam so zu einer Bewegungslehre, die sich von Aristoteles abhob und die Forschungsergebnisse Galileis oder Newtons vorausahnen lässt. Auch die wissenschaftliche Medizin erlebte eine erste Blüte in dieser Zeit. So beschrieb beispielsweise der griechische Arzt Herophilus von Chalcedon von der alexandrinischen Schule den Blutkreislauf mit Arterien und Venen, erkannte die diagnostische Bedeutung des Pulses und konstruierte eine spezielle Taschenwasseruhr für seine Messungen. Bekannt ist Archimedes von Syrakus, der die Hebelgesetze entdeckte sowie das Auftriebsprinzip und damit das spezifische Gewicht verschiedener Stoffe. Überliefert ist sein Buch „Die Sandzahl“, in dem er versucht, die Zahl der Sandkörner mathematisch zu erfassen, die in eine Kugel von der Größe des Universums passen.

Natürlich wurden in dieser Zeit kosmologische Fragestellungen intensiv diskutiert und der Himmel vermessen. Eine wesentliche Frage war, wie man sich die Größenverhältnisse im Kosmos vorzustellen hat. Wie groß sind bspw. Mond und Sonne? Eine schwierige Frage, erscheinen doch beide für den Betrachter etwa gleich groß. Wie weit sind Mond und Sonne von der Erde entfernt, wie die Planeten verteilt? Und

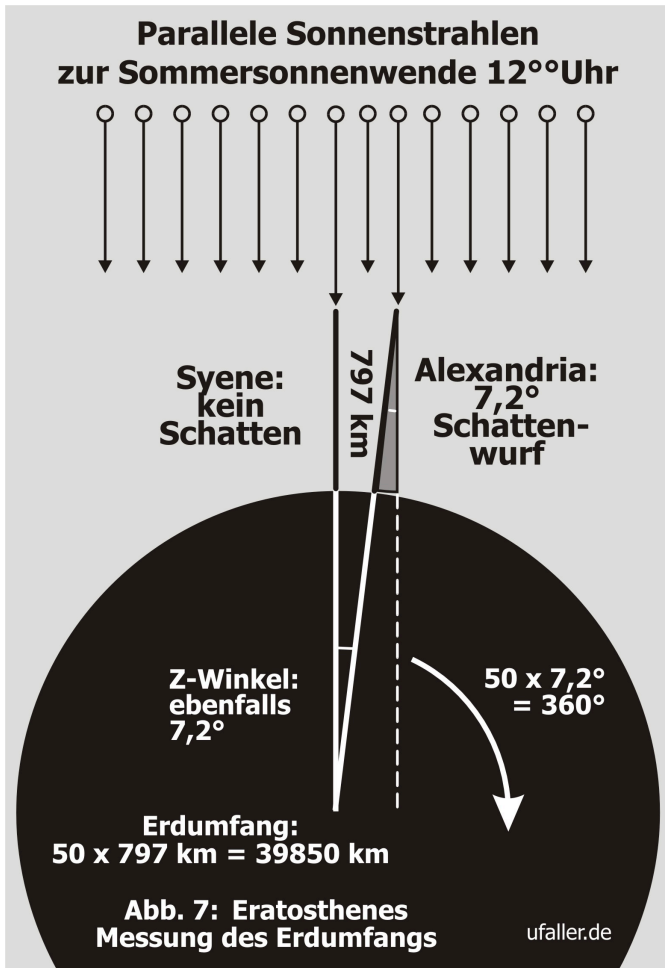


wie groß ist unsere Erdkugel? Dass die Erde ein kugelförmiger Körper ist, war zu dieser Zeit unstrittig. Denn man konnte bei Mondfinsternissen den runden Erdschatten beobachten.

Zwei Wissenschaftler spielen bei der Erforschung dieser Fragen eine zentrale Rolle: Eratosthenes von Kyrene und Aristarch von Samos. Mit genialen und für jedermann nachvollziehbaren Methoden erkannten sie erstmals die schwer vorstellbare Größe unseres Sonnensystems und sprengten die damals geläufigen Größenvorstellungen.

**Eratosthenes von Kyrene** (275–194 v. u. Z.) leitete fast ein halbes Jahrhundert die Bibliothek von Alexandria und fertigte in dieser Funktion ein umfangreiches Werk an, das nur in Fragmenten erhalten ist. Die bekannteste Leistung, die sich mit seinem Namen verbindet, ist die Messung des Erdumfanges. Das Interesse an diesem Unterfangen wuchs aus seinem Versuch, eine Karte der damals bekannten Welt zu zeichnen. Um eine einigermaßen zutreffende Vorstellung von der Größe der Erde zu erhalten, nutzte er folgende Beobachtung (Abbildung 7).

In Syene, dem heutigen Assuan, so wusste er, steht die Sonne mittags zur Sommersonnenwende senkrecht, d. h. Syene liegt auf dem Wendekreis. Nun glaubte er, dass Alexandria auf dem gleichen Längengrad liege – das stimmt nur annähernd – woraus folgt, dass der Kreis, der durch diese beiden Städte gezogen werden kann, ein „Erdumfangs-Kreis“ ist. Mit einem Schattenstab maß er in Alexandria mittags zur Sommersonnenwende den Winkel des Schattenwurfes (siehe Abbildung), der – da die Sonnenstrahlen parallel auf der Erde eintreffen – gleich dem Winkel sein muss, der vom Erdmittelpunkt aus zu den beiden Städten weist (Z-Winkel!). Er betrug ein Fünftel eines Vollkreises ( $7^{\circ} 12'$ ). Das bedeutete, dass die Strecke von Alexandria nach Syene ein Fünftel des Umfangs der Erde beträgt. Es galt also, diese Entfernung zu ermitteln. Kein leichtes Unterfangen, wenn man bedenkt, dass nicht eine Wegstrecke, sondern die „Luftlinie“ gefragt ist. Möglicherweise bediente sich Eratosthenes hierfür beamteter Schrittzähler und verglich deren Berichte mit Schilderungen der Nil-Schiffahrt und Kamelkarawanen. Indem er eine gerundete Zahl von 5000 Stadien als Entfernungswert angibt, macht er die Unsicherheiten in der Entfernungsbestimmung deutlich.



Der Erdumfang beträgt damit  $50 \times 5000 = 250.000$  Stadien! Eine Einschätzung der Genauigkeit dieses Wertes ist heute nicht mit Sicherheit möglich, da wir nicht wissen, welche Länge das Längenmaß „Stadion“ bei Eratosthenes hatte. Nimmt man das ägyptische Stadion von 157,5 m, so käme der ermittelte Erdumfang von über 39.000 km dem heute gemessenen Wert von etwa 40.000 km sehr nahe. (Beim römischen

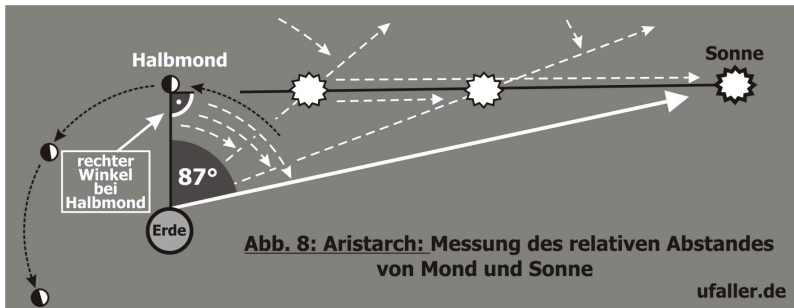
Maß, d. h. ein Stadion entspricht 185,6 m, wären dies 46.800 km, ebenfalls kein schlechter Wert.).

Fünfunddreißig Jahre jünger als Eratosthenes war der auf der ioni-schen Insel Samos geborene **Aristarchos von Samos** (310–230 v. u. Z.). Auch er war Wissenschaftler des Museion in Alexandria. Überliefert sind die Schrift „Von den Größen und Entfernungen der Sonne und des Mondes“ (ca. 260 v. u. Z.) und eine Würdigung seines Werkes in der Schrift „Die Sandzahl“ von Archimedes.

Die Vorstellung von der Größe des Universums ist verknüpft mit dem Bild, das man sich von den Vorgängen im Universum macht. Fixsterne, die sich unvorstellbar weit von der Erde entfernt in einem unendlichen Universum befinden, können unmöglich täglich um die Erde rotieren, daher zwingt uns das geozentrische Weltbild, die Fixstern-sphäre als endlich und von der Erde nicht allzu weit entfernt zu denken. Interpretiert man astronomische Erscheinungen als atmosphärische Phänomene, wie es der unmittelbare Sinneseindruck nahelegt, rückt der Himmel nah an die Erde. Genau diese Probleme beschäftigten Aristarch von Samos. Er ermittelte mit raffinierten, gut nachvollziehbaren Messungen und Berechnungen die relativen Entfernungen von Erde, Mond und Sonne. Sein Ergebnis sollte ihn zu einen Helio-zentriker machen, der nicht die Erde, sondern die Sonne im Mittel-punkt der Planetenbewegungen sah. Seine Astronomie ist über Archi-medes „Sandzahl“ überliefert und war auf diesem Weg auch Koperni-kus bekannt.

Ausgangspunkt von Aristarchs Überlegungen ist die Vorstellung, dass der Mond nicht selbst leuchtet, sondern sein Licht von der Sonne erhält, die er sich als Feuerkugel vorstellte. Abbildung 8 zeigt die Ver-änderung der Mondposition im Verhältnis zur Sonne. Damit erklären sich die Mondphasen.

Aristarchs erste Frage lautete: Um welchen Betrag ist die Sonne weiter von der Erde entfernt als der Mond? Schon durch die Existenz einer Sonnenfinsternis ist einsichtig, dass die Sonne weiter entfernt ist, da hier der Mond die Sonne verdeckt und nicht umgekehrt. Aber hat die Sonne einen doppelten, dreifachen oder einen noch größeren Ab-stand von der Erde als der Mond?



**Abb. 8: Aristarch: Messung des relativen Abstandes von Mond und Sonne**

Aristarch beobachtete einen zunehmenden Halbmond an einem Nachmittag. Erscheint der Mond von der Erde gesehen genau halb beleuchtet und halb im Schatten, so heißt dies, dass die Verbindungslinie vom Beobachter zum Mond genau *rechtwinklig* auf der Verbindungslinie vom Mond zur Sonne steht. Aristarch ermittelte in dieser Konstellation den Winkel zwischen der Blickrichtung zum Mond und der zur Sonne: Nach Aristarch beträgt er  $87^\circ$  (siehe Abbildung 8). Dieser Wert ist ungenau, was daher rührt, dass der genaue Zeitpunkt des Halbmondes nur sehr schwer abzuschätzen ist. Entsprechend den heutigen Vorstellungen liegt der Wert des Winkels bei  $89,85^\circ$ .

Was bedeutet das? Verringert man in Gedanken den Winkel von  $87^\circ$  auf der Abbildung beispielsweise auf die Hälfte, so wird erkennbar, dass dann die Sonne näher an den Beobachter heranrückt; je größer der Winkel also ist, desto weiter ist die Sonne entfernt.

Der Rest ist Mathematik, die Aristarch taufrisch zur Verfügung stand. Lehrte doch der wahrscheinlich etwas ältere Euklid ebenfalls in Alexandria. Hierbei setzt Aristarch die Strecke Erde-Mond gleich 1. Dann ergibt sich (Trigonometrie):

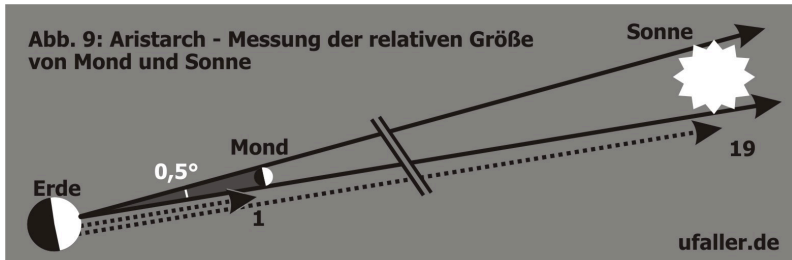
$$\frac{1 \text{ (d.h. Erde-Mond)}}{x \text{ (d.h. Erde-Sonne)}} = \cos 87^\circ \rightarrow 1 = \cos 87^\circ * x \rightarrow \frac{1}{\cos 87^\circ} = x \rightarrow x = 19,1$$

- Das bedeutet: Die Sonne ist nach Aristarch etwa 19-mal weiter von der Erde entfernt als der Mond!

Aristarchs zweite Frage lautete: Wie verhalten sich die Größen von Sonne und Mond zueinander? Erneut kommen Sonnenfinsternisse ins Spiel, bei denen man beobachten kann, dass Mond und Sonne annä-

hernd den gleichen Winkeldurchmesser haben: Einmal ist die Mondscheibe etwas größer und bedeckt die Sonne wenige Minuten, ein anderes Mal ist sie etwas kleiner und es kommt nur zu einer ringförmigen Sonnenfinsternis.

Abbildung 9 zeigt diese Verhältnisse.



Der Rest ist Grundlagengeometrie. Denn nach den Strahlensätzen ist das Verhältnis der Entfernung Erde-Mond zur Entfernung Erde-Sonne gleich dem Verhältnis des Durchmessers des Mondes zum Durchmesser der Sonne.

- Das bedeutet: Die Sonne ist nicht nur 19-mal weiter entfernt, sondern ihr Durchmesser ist auch 19-mal größer als der des Mondes!

Des Weiteren ermittelte Aristarch die Zeit, die der Mond bei einer Mondfinsternis benötigt, um durch den Kernschatten der Erde zu wandern, und kam auf etwas raffinierterem Wege zu folgenden Ergebnissen<sup>20</sup>:

- Damit ist sowohl der Radius als auch der Durchmesser der Erde sind 2,85-mal größer als der Monddurchmesser.
- Der Sonnendurchmesser entspricht 6,66-mal dem der Erde.
- Der Mond ist etwa 40 Erddurchmesser von der Erde entfernt, die Sonne 760 Erddurchmesser.

Hatte Aristarch nur relative Entfernungs- und Größenangaben ermitteln können, so wird unmittelbar deutlich, welche Bedeutung die Größenbestimmung der Erde durch Eratosthenes hatte. Es wurde möglich, kosmische Größen auf irdisch erfahrbare Entfernungen zu beziehen. Hier die Ergebnisse der Schule von Alexandria:

Wert	relativ nach Aristarchos	absolut mit den Werten von Eratosthenes
Durchmesser der Erde	1	0,25 Mio. Stadien oder 39.000 km
Entfernung des Mondes	40	10 Mio. Stadien oder 1,56 Mio. km
Entfernung der Sonne	760	190 Mio. Stadien oder 29,64 Mio. km
Durchmesser Mond	0,35	0,0875 Mio. Stadien oder 13.650 km
Durchmesser der Sonne	6,65	1,66 Mio. Stadien oder 259.350 km

**Abb. 10: Größenvorstellung von Erde, Mond und Sonne nach Aristarchos und Eratosthenes** ufaller.de

Archimedes berichtet, dass Aristarch zu dem Schluss kam, die Sonne stehe still und die Erde bewege sich um die Sonne und gleichzeitig um sich selbst. Denn es wollte ihm nicht einleuchten, dass ein Himmelskörper, der 760 Erddurchmesser von der Erde entfernt ist, täglich um die Erde rast. Über eineinhalb Jahrtausende vor Kopernikus entwickelte Aristarch aus diesen Überlegungen heraus ein heliozentrisches Weltbild. Aristarchs „kopernikanischer Versuch“ blieb zu dieser Zeit allerdings ohne Überzeugungskraft. Er widersprach den Grundzügen der aristotelischen Physik, wonach das „Schwere“ im Zentrum des Kosmos, also auf der Erde, an seinen natürlichen Ort anlangt und zur Ruhe kommt. Nur sie kann also im Zentrum ruhen. Die Planeten allerdings, also auch die Sonne, bestünden aus masselosem (gewichtslosem) Äther und könnten so die enorm schnelle tägliche Drehung um die Erde vollführen.

Damit setzten sich Aristarchs fortschrittliche Ideen über Jahrhunderte nicht durch. Ob er, wie manche Quellen berichten, wegen dieser Anschauung auch der Gottlosigkeit angeklagt wurde, ist allerdings umstritten.

## Hipparchos von Nicäa und weitere Bewegungen der Fixsterne

Über ein Jahrhundert nach Aristarch von Samos krönt Hipparch von Nicäa die astronomische Forschung der frühen hellenistisch-wissenschaftlichen Glanzzeit. Von ihm fehlen Primärquellen, ein Teil seines Werkes hat Ptolemäus in den noch zu besprechenden Almagest aufgenommen. Daher sind seine astronomischen Messungen überliefert. Die Beobachtungen Hipparchs belegen angesichts der instrumentalen

Möglichkeiten der damaligen Zeit eine bewundernswerte Genauigkeit, was dazu führt, dass sein Datenmaterial noch heute wissenschaftlich interessant ist. Vom persönlichen Leben Hipparchus weiß man allerdings nichts.

Anstoß zu einem seiner Projekte gab ein irritierendes kosmisches Ereignis. Im Jahr 135 v. u. Z. erschien ein neuer Stern am Fixsternhimmel – aus heutiger Sicht wahrscheinlich eine Supernova. Um zukünftig diese Ereignisse besser einordnen zu können, entschied sich Hipparchus, einen Sternenkatalog zu erstellen mit den Positionen und Helligkeiten der Fixsterne. Die von ihm gemessenen annähernd 1000 Sternpositionen übernahm Ptolemäus, womit die Grundlage für die heutige Sternenkatalogisierung geschaffen war.

Hipparchus verglich seine Positionsmessungen mit den überlieferten Messungen aus babylonischer Zeit und stellte fest: Die Sternpositionen aller Sterne haben sich seither um einen regelmäßigen Betrag verändert. Dies deutete er so, dass der Himmelsnordpol, um den sie täglich rotieren, wandert. Damit verschiebt sich die Lage der Ekliptik samt Frühlings- und Herbstpunkt. Heute sprechen wir von der Präzessionsbewegung. Geozentrisch betrachtet, kann man sich die rotierende Erde als Kreisel vorstellen, dessen Rotationsachse langsam ihre Neigung verändert. Hipparchus bestimmte in äußerster Genauigkeit die Geschwindigkeit dieser Bewegung. Sie ist der Grund dafür, dass Tierkreissternbilder und Tierkreiszeichen heute nicht mehr zusammenpassen, was sich auf der Sternkarte erkennen lässt.

Es gilt als sicher, dass Hipparchus nicht an eine Fixsternsphäre glaubte, sondern von langsamen Bewegungen der Sterne zueinander ausging. 2000 Jahre später wies der englische Astronom Edmond Halley (1656–1742) diese Relativbewegung der „Fix“-Sterne nach, indem er die Positionen von Sirius, Aldebaran und Arkturus bestimmte und mit den Angaben Hipparchus verglich.

Damit ist deutlich: Auch die Fixsterne und damit die Sternbilder, wie sie sich uns heute zeigen, sind keineswegs starr, sondern in, wenn auch sehr langsamer Veränderung begriffen!

## Der Einfluss Platons auf die Kosmologie

Abbildung 11 zeigt eine von mir zügig angefertigte Bleistiftskizze. Ich hoffe, es ist deutlich, dass sie einen Kreis darstellt.



**Abb. 11: Platons Kreis**

ufaller.de

Allerdings, man schaue genauer hin: Hat das dargestellte Gebilde etwas mit einem Kreis zu tun? Mitnichten! Je exakter man es betrachtet, desto krummer erscheinen die Linien, desto ausgebeulter die Konturen. Und der Strich? Eine geometrische Linie mit nur einer Dimension? Sicher nicht. Niemand wäre in der Lage, sie zu

sehen. Eine gezeichnete Linie ist immer eine dreidimensionale „Pigmentwurst“!

Genau genommen ist es erstaunlich, dass man überhaupt in dieser oder einer ähnlichen Zeichnung einen Kreis entdeckt, denn grundsätzlich *sieht* niemand in keiner noch so genauen Zeichnung einen Kreis!

Da ein Punkt keine räumliche Ausdehnung hat, ebenso wenig wie eine Linie, ist der Kreis seinem Wesen nach kein wahrnehmbares Gebilde, wohl aber ein denkbare! Trotzdem erkennt man beim Betrachten des Bildes den Kreis, der vom Zeichner „gemeint“ ist. Man projiziert den gedachten Kreis in die Abbildung hinein.

Somit trennt sich die Welt in zwei grundsätzlich verschiedene Bereiche: einen wahrnehmbaren, die Zeichnung, und einen denkbaren, die Kreisgeometrie. Ersterer hat Abbild-Charakter, letzterer ist das Urbild, das dem Abbild zugrunde liegt.

Dieser Gedankengang führt zu einem Zentralpunkt der Philosophie Platons. Er ist neben Aristoteles einer der einflussreichsten Philo-



sophen der klassischen Antike. Er lebte von 428 bis 348 v. u. Z., war Aristoteles' Lehrer und der Begründer der Platonischen Akademie in Athen. Das hier Dargestellte gilt nicht nur für Kreise, nicht nur für geometrische Figuren, sondern genau genommen für alle sinnlich wahrnehmbaren Objekte, seien es Lebewesen oder tote Gebilde: Man muss unterscheiden zwischen der Wahrnehmung des Objektes in Raum und Zeit und dem Begriff, den wir denkend erfassen. Platon spricht hier von „Abbildern“ oder „Erscheinungen“, die sich im ständigen Werden und Vergehen befinden, also von dem, was „wird und nie ist“ auf der einen Seite. Dem gegenüber steht das, was „immer ist und nie wird“, die „Urbilder“ oder die „Ideen“, das dem Menschen durch Denken Erfassbare. „Idee“ nicht in dem Sinne, wie wir es umgangssprachlich meinen, wenn wir davon sprechen, wir hätten eine „gute Idee“, einen schnellen Einfall. Gemeint ist der denkend aufzufindende Zusammenhang, der den Erscheinungen zugrunde liegt.

Für Platon stellte sich die Frage nach der „Wirklichkeit“ dieser beiden Bereiche, eine Frage, die sich bis heute durch die Philosophiegeschichte zieht.

Platon spricht der Ideenwelt eine höhere Wirklichkeit zu als der Erscheinungswelt, denn sie ist unveränderlich und ewig, während die Erscheinungen sich ständig verändern und vergehen. Wir werden heute keinen anderen Begriff, keine andere Idee vom Kreis haben als Platon, während die Zeichnungen, die Platon in seinem Leben angefertigt haben mag, längst vergangen sind. Die Welt besteht damit aus einer ewigen Qualität, der Ideenwelt, und der vergänglich-sinnlich wahrnehmbaren Welt der Erscheinungen.

Für die kosmologischen Vorstellungen war Platons naturphilosophisches Werk, der „Timaios“, von besonderer Bedeutung. Hier geht er auf die Frage ein, wie das Ewige, Urbildliche zum Veränderlichen, zum Abbild, wurde. Um diese Frage zu lösen, führt Platon ein göttliches Prinzip ein, das er als „Demiurg“ (gr.: Handwerker) bezeichnet. Der Demiurg erschafft nicht die ewigen Ideen – denn sie sind ewig, haben damit keinen Ursprung, keinen Anfang. Er schafft nach den ewigen Gesetzmäßigkeiten die vergängliche Welt, die damit geschaffen und zeitlich ist.

Von diesen Gedanken ausgehend, entwickelt Platon im Timaios seine Kosmologie. Die Fixsternsphäre ist dem Ewigen am nächsten, ge-

folgt von den Planetensphären jenseits des Mondes. Aufgrund dieser Nähe zum Ewigen bewegen sie sich auf den idealen und vollkommenen Bahnen. Dies sind Kreisbahnen. Denn im Gegensatz zur Ellipse oder anderen Formen sind im Kreis alle Punkte gleichwertig, d. h. gleich weit vom Mittelpunkt entfernt. Zudem hat die Kreisbahn in jedem Punkt die gleiche Krümmung.

Jenseits des Mondes, wo Planeten und Fixsterne in ungebremster, ewiger Bewegung zu beobachten sind, lässt sich daher nach Platon nur eine ideale und immer gleiche Bewegungsform denken. Ewig gleichförmige Kreisbewegungen. Dies wurde für fast zwei Jahrtausende für die meisten Denker und Astronomen zu einem nicht hinterfragbaren Ausgangspunkt ihres Denkens.

Der „Timaios“ war während der Spätantike und dem Frühmittelalter die einflussreichste der Schriften Platons. Deshalb sei ein Zitat angeführt:

*„So entstand denn die Zeit zugleich mit dem Weltall, auf dass beide, zugleich erschaffen, auch zugleich wieder aufgelöst würden, wenn es jemals zu einer Auflösung derselben kommen sollte: Das Urbild für sie aber war die eigentliche Ewigkeit; diesem sollte das Weltall so ähnlich wie nur möglich werden; denn dem Urbild kommt ein schlechthin ewiges Sein zu, das Abbild aber ist der Art, dass es die ganze endlose Zeit hindurch geworden, seiend und sein werdend ist. Solche Absicht und Erwägung des Demiurgen lag der Entstehung der Zeit zugrunde: Auf dass die Zeit entstünde, wurden Sonne, Mond und die fünf Sterne geschaffen, welche den Namen der Wandelsterne tragen, zur Unterscheidung und Bewahrung der Zeitmaße.“<sup>21</sup>*

## **Zusammenfassung des geozentrischen Weltbildes: Der Almagest des Claudius Ptolemäus**

Es ist eine Ironie des Schicksals, dass ausgerechnet vom Leben der Persönlichkeit kaum etwas bekannt ist, deren Werk uns zur wichtigsten Quelle für das Denken der griechischen Astronomen wurde. Das Wenige ist schnell erzählt: Claudius Ptolemäus lebte etwa von 100 bis 175 u. Z. Geboren als Grieche oder hellenisierter Ägypter in der Nähe von Theben, verbrachte er wohl die meiste Zeit seines Lebens in Alexandria als Bibliothekar am Museion. Dort tätig er in den Jahren 127 bis 141 astronomische Beobachtungen, die in sein Hauptwerk Eingang

fanden. Sein Name legt eine Verwandtschaft mit der Ptolemäer-Dynastie nahe, was aber keineswegs sicher ist, da dieser makedonische Herrschernamen häufig vorkam. Viel mehr ist nicht bekannt.

Zweihundert Jahre trennen Ptolemäus von Hipparch von Nicäa, Jahrhunderte, in denen der Faden hellenistisch-wissenschaftlicher Forschung abriß. Politisch unruhige Zeiten, verbunden mit der Expansion des Römischen Reiches, tragen hierfür Mitverantwortung. Das Römische Reich expandierte und nahm die hellenistische Welt in sich auf; griechische Gelehrte wurden versklavt und dienten als Hauslehrer oder Verwalter in den Privatbibliotheken der Patrizier. Erst Ptolemäus' Jahrhundert gilt wieder als ruhigere Zeit; das Römische Reich hatte unter Kaiser Trajan seine größte Ausdehnung erreicht, bevor es in den nächsten Jahrhunderten seinem Zerfall entgegenging.

Ptolemäus Hauptwerk ließ seinen Namen unsterblich werden. Es ist unter dem Namen „Almagest“ bekannt. Er nannte es „Mathematike Syntaxis“, später „Megiste Syntaxis“ („mathematische oder größte Zusammenstellungen“), ein Titel, der auf seinem Überlieferungsweg in Arabien („al-magisti“) zu Almagest mutierte. Ptolemäus fasste in diesem Werk das geozentrische Weltbild der antiken Astronomen zusammen. Er stellte Rechenwege zusammen, mit denen die Positionen der Planeten in für Jahrhunderte unübertroffener Genauigkeit ermittelt werden konnten. Das überzeugte die gelehrte Welt eineinhalb Jahrtausende, machte den Almagest zum astronomischen Standardwerk und ließ den Autor zum Namenspatron des geozentrischen Weltbildes werden, das von nun an als „ptolemäisches Weltbild bezeichnet wurde“.

Die Positionsrechnungen der Gestirne hatten einen praktischen Nutzen, der in Ptolemäus zweitem Werk zum Ausdruck kommt, dem „Tetrabiblos“. Die „vier Bücher“ beinhalten eine Zusammenfassung des astrologischen Wissens der Antike und wurden zum Standardwerk der Astrologie. Uns verwundert aus heutiger Sicht die Verbindung von Astrologie und Astronomie. Zu Ptolemäus' Zeit gewannen die Schriften des Aristoteles erneut an Bedeutung und damit eine Physik, die hinter Bewegtem einen Beweger sah. Der Kosmos mit seinen Planeten wurde auf diese Weise als göttlich beseelt erlebt. Ihre Konstellationen können dem irdischen Schicksal nicht gleichgültig gegenüberstehen. Im ersten Buch des Tetrabiblos verteidigt Ptolemäus die Astrologie:

*„Zuvörderst liegt es mehr als augenscheinlich auf der Hand und bedarf keiner wortreichen Versicherung, dass Kräfte vom Himmel auf alles Irdische, das den Veränderungen der Allnatur unterworfen ist, niederströmen. So in die sublunaren Grundelemente, in Feuer und Luft, die durch die himmlischen Bewegungen erregt werden, und welche alles übrige Untergeordnete in sich tragen und also Erde und Wasser, Pflanzen und Tiere beeindrucken.“* (Tetrabiblos)<sup>22</sup>

Offensichtlich musste Ptolemäus sein astrologisches Engagement rechtfertigen. Denn einerseits ist von keinem Astronomen der hellenistischen Glanzzeit ein astrologisches Werk überliefert. Andererseits bildete das Empfinden der göttlichen Natur der Himmelskörper einen Grundpfeiler des damaligen öffentlichen Bewusstseins.

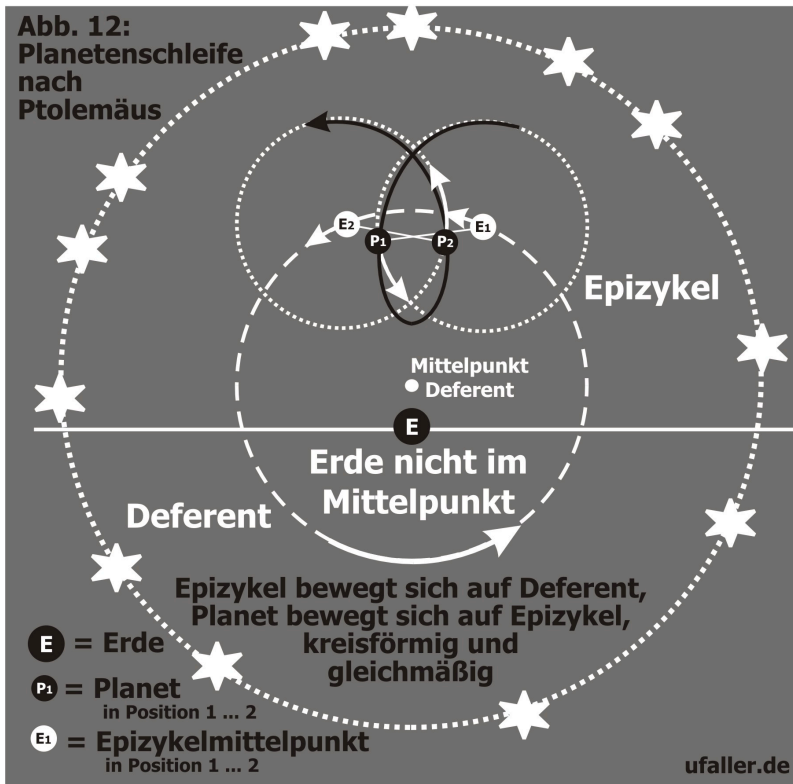
Im „Tetrabiblos“ verbindet Ptolemäus schicksalswirksame Kräfte mit den Planeten. Dem Mars zum Beispiel ordnet er aufgrund seiner Nähe zur Sonne und wegen seiner blutroten Färbung feurige, kriegerische Eigenschaften zu, die astrologisch für einen maskulin-durchsetzungsstarken Einfluss stehen. Aus heliozentrischer Sicht rückt der Mars weit von der Sonne ab, wodurch diese Argumentation ihre Basis verliert. Ähnliches gilt für viele Versuche, astrologische Argumentationen gedanklich zu untermauern. Ptolemäus verteidigte daher das geozentrische Weltbild gegen die zu seiner Zeit noch geführte, von Aristarch angestoßene Diskussion um eine heliozentrische Interpretation des Kosmos.

Die astrologische Praxis erfordert eine genaue Berechnung der Planetenbewegungen. Nach Aristoteles sollte dies kein Problem darstellen. Alle Gestirne bestehen seiner Physik zufolge aus masselosem „Äther“ und bewegen sich gleichförmig auf idealen Kreisbahnen um die Erde. Nichts wäre leichter, als diese zu berechnen. Wie schon beschrieben, ist dies nicht der Fall. Zwei „Ungleichheiten“ findet man bei genauerer Messung:

- Die erste Ungleichheit besteht darin, dass die verschiedenen Bahnabschnitte der Planeten in unterschiedlicher Geschwindigkeit durchlaufen werden. Beispielsweise dauert das Winterhalbjahr 179 Tage und das Sommerhalbjahr 186 Tage: Die Sonne benötigt für den Bogen von der Frühlings- zur Herbst-Tagundnachtgleiche länger.
- Die zweite Ungleichheit bezeichnet die von den Planeten vollführten Schleifen.

Somit musste ein Weg gefunden werden, diese „Ungleichheiten“ auf ideale, gleichmäßig durchlaufene Kreisbewegungen zurückzuführen und mathematisch zu beschreiben. Dabei lässt sich die Genauigkeit jederzeit überprüfen. Im Almagest leistet Ptolemäus diesen Spagat exzellent – weshalb man ihm nicht ohne Grund die größte Bewunderung entgegenbrachte.

Abbildung 12 zeigt sehr vereinfacht den Lösungsansatz des Ptolemäus.<sup>23</sup>



Die Planeten bewegen sich nicht auf einer Kreisbahn um die Erde, sondern auf einer Kreisbahn, deren Mittelpunkt sich auf einer Kreisbahn um die Erde bewegt. Die Kreisbahn des Planeten (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>) heißt

Epizykel, „Auf-Kreis“. Der Kreis, auf dem sich der Mittelpunkt des Epizykels ( $e_1$  und  $e_2$ ) bewegt, heißt Deferent, „Trägerkreis“. Sowohl der Planet auf dem Epizykel als auch der Mittelpunkt des Epizykels auf dem Deferent bewegen sich gleichförmig und folgen so dem Paradigma Platons. In der Abbildung ist der Moment dargestellt, in dem (zwischen  $P_1$  und  $P_2$ ) von der Erde aus eine Rückwärtsbewegung des Planeten zu beobachten ist. Die zweite Ungleichheit wird damit mathematisch beschrieben.

Bei geschickter Wahl der Größe von Epizykel und Deferent bzw. der Umlaufgeschwindigkeiten lassen sich die beobachteten Planetenschleifen darstellen. Die Kunst besteht in der richtigen „Wahl“ dieser Parameter. Abweichungen von den beobachteten Planetenpositionen werden dabei immer kleiner. Sie lassen sich aber nie ganz vermeiden. Für noch genauere Vorhersagen fügte Ptolemäus auf dem Epizykel einen weiteren Epi-Epizykel hinzu, gegebenenfalls noch weitere.

Wie „modelliert“ Ptolemäus die erste Ungleichheit? Er rückt den Mittelpunkt des Deferenten vom Zentrum der Erde ab. Da sich der Epizykel auf dem Deferenten gleichmäßig bewegt, ist nun ein Halbjahr (dunkleres Segment in der Abbildung) von der Erde aus gesehen kürzer als das andere (das hellere Segment).

Durch geschickte Kombination dieser mathematischen Hilfsmittel lassen sich die Planetenpositionen mit hoher Genauigkeit vorhersagen. Ptolemäus' Mathematik hat aber ihren Preis: Sie passt nicht zur aristotelischen Physik!

Der aristotelischen Physik zufolge müssten alle Planeten gleichförmig auf exakten Kreisbahnen wandern, die ihr Zentrum im Mittelpunkt der Erde haben; nicht, wie der Deferent, einen exzentrischen Mittelpunkt außerhalb der Erde. Zudem ist ein Epizykel nur ein mathematisches Hilfsmittel ohne physikalische Entsprechung. Heute würde kein Naturwissenschaftler diese krassen Widersprüche zwischen Mathematik und physikalischer Erklärung zulassen. Genau das ist eine der Folgen der kopernikanischen Wende in der Renaissance: Die Mathematik hatte seinerzeit die Aufgabe, die „Phänomene zu retten“, wie man sich ausdrückte. Heute beschreibt sie die physikalischen Verhältnisse.

Im ptolemäisch-geozentrischen Weltbild sind zwei Bereiche getrennt. Die Kosmologie nach Aristoteles erklärt die Planetenbewegung

physikalisch, und die astronomische Mathematik macht die Planetenpositionen berechenbar. Beide Beschreibungen der kosmologischen Verhältnisse passten nicht zusammen. Sie standen nebeneinander. Wollte man den Kosmos erklären, bediente man sich der Physik Aristoteles', wollte man Planetenpositionen voraussagen, der Mathematik Ptolemäus'. Dieses Nebeneinander sorgte für Unbehagen. Es war ein Stachel, der erst mit der Überwindung des geozentrischen Weltbildes durch die kopernikanische Wende gezogen wurde.

## Das Schicksal der Schule von Alexandria

Zur Zeit des Claudius Ptolemäus war die Schule von Alexandria die tonangebende Philosophenschule der antiken Welt. Seit Kaiser Caracalla (211–217 röm. Kaiser) zur Finanzierung seiner Thermen die Pensionen der Gelehrten einzog, begann ihr schleichender Niedergang, doch blieb sie noch lange eine wichtige Bildungseinrichtung.

Die mathematisch-astronomische Tradition in der alexandrinschen Schule endete mit Theon von Alexandria (305–405) und seiner Tochter Hypatia (355–415) auf tragische Weise. Theon gilt als letzter Leiter der alten Bibliothek am Serapeion. Überliefert ist seine redaktionelle Herausgabe der „Elemente“ des Euklids, die Grundlage für die Euklid-Übersetzungen bis in die Neuzeit wird, und ein vielbändiger Kommentar zu Ptolemäus' Almagest. Die Jahre seiner Lehrtätigkeit waren in Alexandria geprägt von blutigen Zusammenstößen zwischen Heiden und Christen unter der Führung des Patriarchen Theophilos von Alexandria (385–412). In diesem Zusammenhang wurden auf Geheiß Theodosius' 393 alle heidnischen Tempel, darunter das Serapeion mit seinen wissenschaftlichen Schätzen, zerstört.

Theon unterrichtete seine Tochter Hypatia, die ob ihrer Intelligenz und ihres Charismas in Alexandria zu hohem Ansehen kam.<sup>24</sup> So erhielt sie einen Lehrauftrag am Museion. Auch von Hypatia haben wir keine direkten Überlieferungen. Ihr werden Kommentare zu mathematischen Werken und zur Astronomie Ptolemäus' zugeschrieben, womit sie eine der Letzten der astronomischen Tradition Alexandrias ist. Ebenso ist überliefert, dass sie eine wissenschaftliche Abhandlung über die Kegelschnitte des Apollonius von Perge verfasste. Johannes

Kepler dienten diese zur Berechnung der Planetenbahnen.<sup>25</sup> Tragisch endete das Leben Hypatias. Der Kulturkampf zwischen Christen und Heiden setzte sich auch unter dem Nachfolger des Patriarchen fort, dem später zum Heiligen und Kirchenvater erhobenen Kyrill von Alexandria. Der Tod Hypatias ereignete sich wenige Jahre nach Kyrills Machtantritt im Jahr 415. Sie wurde von christlichen Eifern auf brutale Weise ermordet.<sup>26</sup>

Mit dem Tod Hypatias endet die astronomisch-mathematische Forschungstradition der Schule von Alexandria. Die Philosophenschule blieb allerdings bestehen, passte sich aber dem christlichen Umfeld an. Der Bildungsschwerpunkt verlagerte sich hingegen in Richtung Konstantinopel, wohin auch Teile der alexandrinischen Bibliothek gebracht worden sein sollen. Das Ende kam mit der arabisch-islamischen Eroberung durch den Kalifen Umar ibn al-Chattab in den Jahren 639 bis 642.

## Das christlich-geozentrische Weltbild

### Kulturverlust im Zuge der Christianisierung

Während der Besprechung der antiken Astronomie haben wir feststellen müssen, dass die meisten Primärquellen der antiken Forscher und Denker verloren gegangen sind. Viele ihrer Werke lassen sich nur aus den Spuren rekonstruieren, die sie in den überlieferten Schriften hinterlassen haben. Angesichts des hohen Bildungsgrades der spätantiken römisch-hellenistischen Welt ist das mehr als verwunderlich. Zu Beginn des 4. Jahrhunderts hatte jede größere antike Stadt öffentliche Bibliotheken, in Rom gab es über zwanzig, ganz zu schweigen von privaten Buchsammlungen reicherer Bürger. Die Schriften waren auf Papyrusrollen verfasst, die immer wieder kopiert wurden. Hierfür gab es einen öffentlichen Kopierdienst, meist Sklaven, die des Lesens und Schreibens kundig waren. Nicht selten umfassten diese Bibliotheken Hunderttausende Schriften. Ein öffentliches Schulsystem sorgte für einen hohen Alphabetisierungsgrad, sodass die Schriftstücke auch ge-



lesen und rezipiert werden konnten. Die Themen der Schriften umfassten alle kulturellen Bereiche, wie Literatur, Philosophie, Wissenschaft, Medizin und ethische Reflexionen.

Wenige Jahrhunderte später, im Frühmittelalter, zeigt sich anderes Bild. Statt öffentlicher Bibliotheken finden sich vergleichsweise dürtig ausgestattete Büchersammlungen in den neu entstandenen christlichen Klöstern. Schwerpunkt der gesammelten Themen sind theologische Ausführungen. Des Lesens und Schreibens kundig sind im Wesentlichen Geistliche. Analphabetentum ist die Regel. Selbst Herrscher in der sich herausbildenden Feudalgesellschaft können weder lesen noch schreiben – auch Karl der Große gesellt sich in diesen Reigen. Geistiger – oder besser geistlicher – Kulturträger im westlichen Europa ist die römisch-katholische Kirche.

Hier stellen sich zwei Fragen. Erstens, wie kommt es zu diesem vielfach unwiderruflichen Verlust schriftlich fixierter und gelebter kultureller Vielfalt zum Ende der Antike? Und zweitens, wo haben antike Schriftstücke, wo hat das antike Wissen überlebt? Denn die hoch- und spätmittelalterliche Kulturblüte hat ihre Substanz dem Wiederentdecken der römisch-griechischen Kultur zu verdanken.

Meist wird der Untergang der antiken Kultur als Folge der Völkerwanderung vom 4. bis ins 6. Jahrhundert beschrieben. Klimawandel, Bevölkerungsdruck und nicht zuletzt der Hunnenvorstoß ließen germanische Stämme wandern, um neue Siedlungsräume zu suchen. In der Folge brach das westliche Imperium Romanum zusammen, es entstand im geschichtlichen Wechsel Germanenreiche, bis sich der politische Schwerpunkt im 8./9. Jahrhundert unter Karl dem Großen nach Norden verlagerte. Das östliche Imperium blieb noch über tausend Jahre bestehen und mutierte zum christlichen Byzantinischen Reich mit dem erstarkenden kulturellen Zentrum in Konstantinopel, heute Istanbul. Im Selbstverständnis der „Oströmer“ empfand man sich in der Kontinuität des Gesamtimperiums – doch auch hier zeigt sich ein vergleichbares, etwas gemäßigteres Bild des Kulturverlustes.

Hier wie dort macht man es sich mit dem Argument, den Kulturverlust vor allem den „wilden Barbaren“ zuzuschreiben, zu leicht, denn zum einen zeigt die Geschichte immer wieder, dass Kulturgüter auch gravierende politische Wechsel überdauern. Zum anderen fragt sich,

welches Interesse Germanen an einer Kulturzerstörung dieses Ausmaßes haben sollten. Andere Gründe wirkten einleuchtender.

Das Römische Reich in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung war nicht nur von philosophischer, sondern auch von religiöser Vielfalt geprägt. Der berühmte Kult um das Gottkaisertum diente als rituelle Klammer, verpflichtete aber keinen, sich einer Staatsreligion anzuschließen. In diesem Milieu gediehen vielfältige christliche Strömungen. Viele lagen in heftigem Disput miteinander, an dem das Christentum als aufblühende Religion zu zerbrechen drohte. Ein zentraler Streitpunkt war der zwischen Arianern und Trinitariern, bei dem es um die Frage nach dem Wesen Jesus von Nazareth ging. Die Arianer als konsequente Monotheisten lehnten die Gott-Natur Jesu ab, ihre Gegner vertraten die Lehre der Dreifaltigkeit Gottes in Vater, Sohn und Heiligem Geist. Die Verbissenheit, mit der um diese wie um andere Fragen gestritten wurde, machte das Christentum für Außenstehende nicht gerade sympathisch, die Verweigerung des Kaiserkultes sogar verdächtig. Das gab Anlass zu mehreren Christenverfolgungen, die aber meist lokal begrenzt blieben, bis Kaiser Konstantin (der Große), das Christentum im „Toleranzedikt“ den anderen Religionen im Reich gleichstellte. Die gute innerkirchlich-hierarchische Organisation nutzte er zur innenpolitischen Stabilisierung seiner Macht. Diesem Beispiel folgten andere Kaiser, bis es im Jahr 380 zum „Cunctos populos“ kam, dem „Dreikaiser-Edikt“, u. a. des Kaisers Theodosius I., später der Große genannt. Es beendete die Religionsfreiheit der Antike:

*„Alle Völker [...] sollen sich [...] zu der Religion bekehren, die der göttliche Apostel Petrus den Römern überliefert hat [...]; das bedeutet, dass wir gemäß apostolischer Weisung und evangelischer Lehre an eine Gottheit des Vaters, Sohnes und Heiligen Geistes in gleicher Majestät und heiliger Dreifaltigkeit glauben. Nur diejenigen, die diesem Gesetz folgen, sollen, so gebieten wir, katholische Christen heißen dürfen; die übrigen, die wir für wahrhaft toll und wahnsinnig erklären, haben die Schande ketzerischer Lehre zu tragen. Auch dürfen ihre Versammlungsstätten nicht als Kirchen bezeichnet werden. Endlich soll sie vorab die göttliche Vergeltung, dann aber auch unsere Strafgerechtigkeit ereilen, die uns durch himmlisches Urteil übertragen worden ist.“<sup>27</sup>*

Dem Cunctos populos folgten weitere Gesetze, die das Christentum zur Staatsreligion erhoben. Sie gaben den kirchlich organisierten Vertretern eine politische Macht, die sie in der Folgezeit sowohl gegen in-

nerchristliche Gegner als auch gegen Heiden einzusetzen wussten. Die beginnende Verfolgung Andersdenkender und die Zerstörung antiker Schätze und Traditionen suchten ihresgleichen. So fanden beispielsweise die letzten antiken Olympischen Spiele 393 statt, und die auch in römischen Zeiten viel besuchte Orakelstätte Delphi musste 394 schließen. Manche Strömungen hielten sich noch eine Weile. So schloss die Platonische Akademie erst im Jahr 529 unter dem oströmischen Kaiser Justinian. Bibliotheken mussten schließen, das Lesen heidnischer Literatur wurde untersagt. Damit versiegte das Interesse an dieser Literatur, Schriftrollen wurden nicht mehr kopiert und überlebten die Jahrhunderte nur vereinzelt.<sup>28</sup>

Träger des geistigen Lebens wurde die christliche Kirche. Bibliotheken verschwanden hinter Klostermauern, die vor allem dem Klerus zugänglich waren. Ins Zentrum des Denkens rückten religiöse Texte, allen voran die Bibel. Kirchliche Institutionen wachten über die korrekte Auslegung der göttlichen Offenbarung und darüber, dass es zu keinen Häresien kam. Das Denken wurde über Jahrhunderte gleichgeschaltet. Was nicht zur christlichen Vorstellungswelt passte, wurde entweder verboten und verfolgt oder einfach ignoriert und vergessen.

Die religiöse Vormachtstellung stellte die römisch-katholische Kirche über das Auf und Ab weltlicher Machtverhältnisse, wodurch sie über Jahrhunderte die Kultur des entstehenden Europa dominierte. Die klerikale Dogmatik der Kirche gab allgemein verbindlich vor, was als wahr zu gelten hatte, und wachte mit Inquisitionstribunalen über die unverfälschte Tradierung dieser Wahrheiten. Der Glaube daran, dass der allwissende und alleinige Gott sich in einem Buch geoffenbart habe, rückte die Inhalte der Bibel ins Zentrum allen Nachdenkens über die Welt. Sie wurde zum Angel- und Ausgangspunkt für die Lebensorientierung einerseits und das Weltverständnis andererseits. Die Vielfalt „heidnischer“ Gedankenwelten störte die Ausrichtung auf die „allein seligmachende“ christliche Weltinterpretation, ja säte Zweifel. Das galt es zu verhindern durch Leseverbote oder einfach dadurch, dass der kulturelle Fokus auf das christliche Narrativ wenig Raum für die Inspiration aus Quellen ließ, die sich mit diesem nicht vereinbaren ließen. So kam es zu einer geistigen Engführung, die kulturell ihresgleichen sucht. Die Bibel und ihre Interpretationen besetzten die Köpfe über die christliche Ära und tun dies für viele bis heute noch.

Als Staatskirchentum hielt sich das Christentum auch im Byzantinischen Reich, das sich im sogenannten „Morgenländischen Schisma“ 1054 endgültig von der katholischen Westkirche abtrennte und zur griechisch-orthodoxen Kirche wurde. Im „Abendland“ erstarkte das römische Bischofsamt zum Papsttum und trat seinen jahrhundertelangen Machtkampf mit den europäischen weltlichen Herrschern an, der heute die Geschichtsstunden füllt. Dieses Milieu, das immer gründlicher den europäischen Kulturkreis beherrschte, erstickte am Übergang der Antike zum Frühmittelalter die gedanklich-kulturelle Vielfalt der Antike nachhaltiger, als dies politische Umwälzungen je vermocht hätten.

Nachdem das Christentum aus dem Kulturkampf gegen die „heidnische Welt“ siegreich hervorgegangen war und diese nicht mehr als existenziell bedrohlich empfunden wurde, konnte man sich den Resten antiker Zeugnisse öffnen. Es sickerten Kenntnisse aus der Antike in den europäischen Kulturraum ein. So inspirierte die Wiederentdeckung der aristotelischen Schriften im 12. Jahrhundert die Scholastik. Die Epoche der Wiederentdeckung des antiken Schriftwerkes vom 14. bis 17. Jahrhundert wird seit dem 19. Jahrhundert als „Renaissance“, Wiedergeburt, bezeichnet. Hierdurch öffnete sich der Horizont des Denkens und ermöglichte so die Wende hin zur Aufklärung und zur modernen Naturwissenschaft.

## Die voraristotelische Kosmologie des christlichen Mittelalters

Im Zentrum des christlichen Glaubens steht das Seelenheil jenseits der Todesschwelle. Die Bibel schildert die Geschichte der Welt als Heilsgeschichte. Nach der Schöpfung hatte der paradiesische Urzustand keinen langen Bestand. Es kam zum Sündenfall. Das diesseitige Leben wird grundsätzlich als von der Erbsünde belastet und erlösungsbedürftig aufgefasst. Der Erlösung wird jeder einzelne Mensch durch die Gnade Gottes teilhaftig. Möglich wird dies durch die „Erlösungstat“ des christlichen Heilsbringers auf dem Hügel Golgatha. Um am apokalyptischen Ende der Welt erlöst zu werden, ist für jeden Einzelnen vor allem eines wichtig: der rechte Glaube. Denn *„wer glaubt und sich taufen lässt, wird gerettet; wer aber nicht glaubt, wird verdammt werden“*

(Markus 16,16<sup>29</sup>). Angesichts der Tragweite christlicher Lebensgestaltung für das ewige Heil ist es nicht verwunderlich, dass die Bedeutung der Naturforschung um ihrer selbst willen verblasste, ja nicht selten als Gefahr für die rechte Ausrichtung der Seele auf Gott hin gesehen wurde.

Mit dem Ende der Antike wird das Wissen in der abendländischen Kultur von Klostermauern umschlossen. Astronomische Forschung hatte den Bedürfnissen der christlichen Liturgie zu dienen. So beschäftigte die Bestimmung des korrekten Osterdatums die christliche Astronomie über Jahrhunderte und mündete 1582 in die Kalenderreform Papst Gregors XIII.

Kosmologische Vorstellungen wurden aus der Bibel abgeleitet. Astronomische Forschung hatte diese Vorstellungen zu stützen oder zu schweigen, damit sie den Glauben und das Seelenheil nicht gefährdeten. Kein Wunder, dass unter diesen Vorzeichen auch die Kugelgestalt der Erde wieder infrage gestellt wurde. So schrieb der nestorianische Christ Kosmas Indikopleustes um 550 eine „christliche Weltbeschreibung“, in der er die ptolemäische Auffassung von der Welt als Kugel zu widerlegen suchte. Entgegen landläufigen Vorstellungen allerdings stand die Kugelgestalt der Erde meist nicht zur Disposition. Ein Grund hierfür kann man darin sehen, dass der letzte lateinische Kirchenvater, Isidor von Sevilla, die Kugelgestalt der Erde ausführlich begründet. Isidor trug um 600 das im Westen noch vorhandene antike Wissen in seinen „Etymologien“ zusammen, die zu den meistgelesenen Werken im Mittelalter gehörten.<sup>30</sup>

Ein Jahrhunderte langer Streit drehte sich allerdings um die Existenz von „Antipoden“, also Menschen und Kulturen, die auf der gegenüberliegenden Seite der Welt lebten<sup>31</sup>. Meist wurde sie bestritten. Die Nachkommen Noahs hätten die Ozeane nicht überwinden können, welche die antipodischen Ländereien von uns trennten. Zudem könnten diese Völker, deren Missionierung ein göttlicher Auftrag der christlichen Völker war,<sup>32</sup> die Wiederkunft Christi in den Wolken verpassen, da die Erde selbst die Sicht versperrte.

Dies ist ein Beispiel dafür, wie die Erzählungen der Heiligen Schrift herangezogen werden, um wissenschaftliche Fragen zu beantworten. Und das ist konsequent. Denn wer überzeugt ist, dass der allwissende, allmächtige und allgütige Gott in der Bibel ein für alle Men-

schen aller Zeiten verbindliches Schriftzeugnis vorgelegt hat, der wird nicht umhin kommen, diesem Schriftzeugnis höchsten Erkenntnisrang einzugestehen. Mit dem flauen „Man darf die Bibel nicht wörtlich nehmen“ versuchen Christen heute, die religiöse Bedeutung der Heiligen Schrift hochzuhalten, obwohl der Horizont, den die Bibel aufspannt, mit dem der modernen Kosmologie unvereinbar ist. Doch davon später. Bis ins Hochmittelalter dominierte das Studium des heiligen Buches über ein unabhängiges Naturstudium, und im abendländischen Kulturkreis wurden das aristotelisch-geozentrische Weltbild und die mathematische Astronomie des Ptolemäus weitgehend vergessen.

## Die arabisch-islamische Periode

Der Strom wissenschaftlicher und astronomischer Tätigkeit riss nur im christlich-abendländischen Kulturkreis ab. Anders sah es in der arabischen Welt aus. Viele Bezeichnungen aus der Astronomie weisen uns den Weg in den arabischen Sprachraum. Nehmen wir das Wort „Zenit“ für den Himmelspunkt direkt über dem Sternenbeobachter. Es kommt von „samt ar-ra’s“ („Weg des Kopfes“), wurde in der Übersetzung zu „zemt“ und später zu „Zenit“ abgewandelt; entsprechend das Wort „Nadir“ als dem Zenit entgegengesetzter Himmelspunkt, was sich von „nazir“ („das Entsprechende“) ableitet. Oder Azimut als Horizontwinkel, von Süden oder Norden aus gesehen, das von „as-sumut“ abgeleitet ist, in dem das Wort „samt“ für Weg steckt. Andere, gebräuchlichere Worte wie „Algebra“ oder „Alkohol“ erinnern an eine Jahrhunderte dauernde Wissenschaftsepoche im arabischen Raum. Ihr haben wir beispielsweise auch unsere dezimale Mathematik und die Schreibweise der Zahlen zu verdanken, die die Araber aus dem indischen Kulturkreis übernommen hatten. Das Zehnersystem vereinfacht das Rechnen und ebnet den Weg zur Mathematisierung der Naturwissenschaften – man stelle sich nur vor, wir würden nach wie vor mit römischen Ziffern hantieren!

Wenn man die Namen der Sternbilder und einzelner Sterne betrachtet, so fällt auf, dass Sternbilder gerne griechische Namen tragen (Kassiopeia, Herakles, Perseus etc.), während viele markante Sterne Namen arabischen Ursprungs aufweisen. Beispiele sind die Sterne des

Sommerdreiecks Wega, Deneb, Atair, oder Beteigeuze, Rigel und Aldebaran. Dies hat zwei Gründe: Zum einen pflegten die Hellenen nicht einzelnen Sternen, sondern Sternbildern Namen zu geben, während arabische Nomadenkulturen markante Sterne benannten. Zum anderen wurden in Astrolabien aus technischen Gründen nicht Sternbilder, sondern Leitsterne markiert. Astrolabien dienten der Orientierung am Sternenhimmel und wurden in der hellenistischen Astronomie-Tradition entwickelt. Theon von Alexandria, der Vater Hypatias, verfasste eine Schrift zum Astrolabium. Weiterentwickelt wurde es in den arabischen Jahrhunderten astronomischer Forschung. Arabische Astrolabien fanden im Mittelalter weite Verbreitung, womit sich die Namen der Leitsternbilder in unseren Kulturraum einprägten. Insgesamt haben etwa 200 Sterne Namen, die sich aus dem Arabischen ableiten. Weder Sterne noch Sternbilder tragen hingegen christliche Namen, obwohl es nicht an Bemühungen gefehlt hat, den stellaren Namenskosmos zu christianisieren.<sup>33</sup>

Zu Beginn des 7. Jahrhunderts entstand als neuer kultureller Faktor der Islam, der sich in den ersten zwei islamischen Jahrhunderten rasant in den Vorderen Orient und über Nordafrika bis nach Spanien ausdehnte. Die entstandene arabische Weltmacht vereinte Völker verschiedener Herkunft und Religion, wobei der Islam durch das theokratische Staatssystem die führende Rolle übernahm. Da der Koran nicht in andere Sprachen übersetzt werden darf, wurde das Arabische zur verbindlichen Kultursprache. Mit der Übernahme des Kalifats durch die Abbasiden begannen eine Zeit relativer politischer Stabilität und eine kosmopolitische Atmosphäre. Bagdad am Tigris im heutigen Irak wurde zur Hauptstadt und damit zu einem zentralen Zentrum des islamischen Kulturkreises. Dort gründete der Abbasiden-Herrscher al-Ma'mun im Jahr 825 das „Bait al-Hikma“, das „Haus der Weisheit“, nach dem Vorbild der 271 im Sassanidenreich gegründeten persischen Akademie von Gondishapur (die im heutigen Iran liegt). Vergleichbar der Akademie von Alexandria war das Haus der Weisheit Bibliothek und Forschungsstätte zugleich. In Byzanz verfolgte nestorianische Christen sowie Juden und andere Gelehrte fanden dort eine weltoffene Einrichtung. Es begannen lebhaftere Übersetzertätigkeiten, sodass bis zum Ende des 9. Jahrhunderts viele der wesentlichen Arbeiten der Antike von Aristoteles, Euklid, Ptolemäus, Archimedes und Apollonius

ins Arabische übertragen wurden. Damit war die Grundlage für eine rege naturwissenschaftliche und medizinische Tätigkeit geschaffen mit einer die Völker verbindenden Sprache, dem Arabischen.

Das spezifisch islamische Interesse an der Astronomie hatte vor allem drei die religiöse Praxis betreffende Hintergründe:

1. Das tägliche Gebet der Muslime richtet sich bekanntlich gegen Mekka, sodass die für den aktuellen Ort korrekte Gebetsrichtung, die „Qibla“, bestimmt werden muss. Dies ist eine geometrisch und astronomisch sehr anspruchsvolle Aufgabe.
2. Zudem mussten die Gebetszeiten sicher bestimmt werden.
3. Der islamische rituelle Kalender ist ein Mondkalender, wobei der Monat mit der ersten Sichtung der Neumondsichel beginnt.

Neben den islamischen Akademien fanden Astronomen als Hofastronomen eine Anstellung. Hier waren sie für die Gebetszeiten zuständig. Zur Berechnung diente das ptolemäische Werk. Es wurde nicht unkritisch übernommen, sondern kommentiert und verbessert. Durch die Beobachtungsvergleiche über die Jahrhunderte konnte die Präzession exakter bestimmt und damit das ptolemäische Werk ergänzt werden.

So gab der in Isfahan lebende persische Astronom Abd ar-Rahman as-Sufi (903–986) in Anlehnung an Ptolemäus einen Sternenkatalog heraus, der die arabischen Namen festhielt, exaktere Helligkeitsangaben zu den Sternen machte und neue Sterne und Nebel, wie den Andromedanebel und die Magellan'sche Wolke, umfasste.

Ein herausragender Gelehrter dieser Epoche war Alhazen (965–1040), der in Kairo lehrte. Er tat sich vor allem auf dem Gebiet der Optik hervor, wo er Brechungsphänomene untersuchte, parabolische Brennspiegel entwickelte und ein „Leseglas“, indem er Sehsteine zu Lupen schliff. Aufgrund der Brechungsgesetzmäßigkeiten konnte er erklären, warum die Sonne bei Sonnenuntergang noch zu sehen ist, obwohl sie schon untergegangen sein muss. Aus diesem Phänomen errechnete er eine lichtbrechende Luftschicht von etwa zehn Kilometern Höhe. Ptolemäus stand er skeptisch gegenüber und veröffentlichte ein Werk mit dem Titel „Zweifel an Ptolemäus“, in dem er vor allem die reale Natur des Äquanten infrage stellte.

Der persische Gelehrte al-Biruni (973–1048) entwickelte neue Methoden zur Bestimmung des Erdumfangs und machte sich um die Bestimmung der geografischen Länge verdient. Die geografische Breite

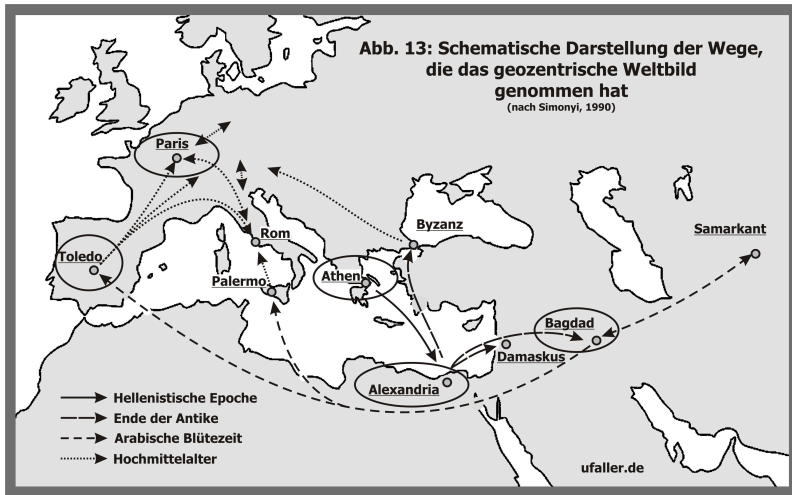


eines Ortes ist leicht festzustellen, indem man die Höhe des Nordsterne vermisst. Um die Längengraddifferenz zwischen zwei Orten zu bestimmen, braucht man gleich gehende Uhren, um dann die Positionsdifferenz der Sonne oder einiger Sterne zu messen. Zur „Taktung“ der Uhren benutzte al-Biruni die Mondfinsternis am 24. 5. 997! Sein durch politische Unruhen bewegtes Leben führte ihn nach Samarkand, wo er zusammen mit dem Astronomen al-Khujandi einen 20 Meter großen Sextanten in der Meridianlinie bauen ließ, um so die Schiefe der Ekliptik in erhöhter Genauigkeit zu bestimmen. Damit legten sie die Grundlage für das Ulugh-Beg-Observatorium, das über Jahrhunderte eine astronomische Forschungsstätte blieb.

Damit ist deutlich: Die Schriften der hellenistischen Antike haben im arabisch-islamischen Kulturkreis nicht nur überlebt, sondern sind dort kommentiert, hinterfragt und wissenschaftlich weitergeführt worden. Der arabische Raum erlebte bis Ende des 15. Jahrhunderts eine kulturelle Blütezeit, die auch die Wissenschaften beflügelte.

## Übersetzerzentrum Toledo und die Universität Paris

Auf der Iberischen Halbinsel kam es über viele Jahrhunderte zu einem fruchtbaren Austausch zwischen arabischen und lateinischen Gelehrten. Die von den Arabern geretteten antiken Werke wurden ins Lateinische übersetzt und damit im Abendland bekannt. Ein Zentrum dieser Übersetzertätigkeit war Toledo im Herzen der Iberischen Halbinsel. Hier lebte und wirkte Gerhard von Cremona (1114–1187). Innerhalb von vierzig Jahren übersetzte er in Toledo mindestens 70 philosophische und naturwissenschaftliche Texte, darunter Euklids Elemente, Aristoteles' Buch zur Physik und den Almagest des Ptolemäus. Hinzu kamen Texte der arabischen Aristoteles-Kommentatoren Avicenna (980–1037) und Averroes (1126–1198). Von Toledo aus fanden diese Schriften im lateinischen Europa schnell Verbreitung. Mit der christlichen Rückeroberung Spaniens 1492 durch Ferdinand II. fand die arabisch-lateinische Begegnung in Spanien ihr Ende (siehe Abbildung 13).



Die durch den Kulturaustausch geförderte geistige Regsamkeit überstieg die Möglichkeiten der mittelalterlichen Kloster- und Domschulen. In schneller Folge entstanden Universitäten wie Mitte des 12. Jahrhunderts die Sorbonne in Paris. Die Universitäten wurden Träger einer eigenen theologisch-philosophischen Methodik. Gründungsväter waren beispielsweise Anselm von Canterbury (1033–1109), der für seinen ontologischen Gottesbeweis bekannt ist, und Petrus Abaelard (1079–1142). In seiner Schrift „sic et non“ zeigt Abaelard, wie man mit einer ausgefeilten Argumentationsmethode Widersprüche zwischen der Dogmatik des Glaubens und den Aussagen führender Autoritäten abhandeln kann. Die mit äußerster Akribie durchgeführte Argumentationstechnik ist als scholastische Methode bekannt (von lat. schola = Schule).

Ab 1221 lehrt der Engländer Johannes de Sacrobosco (1195–1256) an der Artistenfakultät der Sorbonne. Sacrobosco erkennt die zentrale Bedeutung des Almagest und stellt ein Lehrbuch zur ptolemäischen Astronomie zusammen, den 1230 erschienenen „Tractatus de Sphaera“. Knapp und gut verständlich geschrieben, wurde es schon bald zum Standardwerk der Astronomie – bis ins beginnende 17. Jahrhundert! So gehörte die „Sphaera“ auch zu den ersten Büchern, die nach der Erfindung des Buchdrucks gedruckt wurden, wobei sie zu den am häu-

figsten aufgelegten Büchern der Astronomie überhaupt gehört. Die Abbildung 14 zeigt die Seite einer Druckausgabe mit zahlreichen Anmerkungen.<sup>34</sup>



Abb. 14: Johannes de Sacrobosco "Tractatus de Sphaera" ufaller.de

## Die Kluft zwischen der aristotelischen Physik und den christlichen Glaubenswahrheiten

Paris im Jahr 1277. Der Bischof Étienne Tempier veröffentlicht auf Geheiß Papst Johannes' XXI. einen Syllabus von 219 Thesen. Jeder, der eine der aufgezählten Thesen vertritt, muss mit schweren Konsequenzen rechnen: Exkommunikation, Verurteilung. Adressat ist der Lehrkörper der Universität Sorbonne, eines geistigen Zentrums dieser Zeit. Der Syllabus wird als die „Pariser Verurteilung“ in die Geschichte eingehen. Er markiert den vorläufigen Höhepunkt einer jahrzehntelangen Auseinandersetzung zwischen der Kirche und der erst vor einem knappen Jahrhundert entstandenen Universität.

Die Verurteilung richtete sich gegen die „Artistenfakultät“, die alle Studierenden zu durchlaufen hatten. Denn jedes Studium begann mit den „sieben freien Künsten“ (*septem artes liberales*). Es umfasste das „Trivium“ Grammatik, Rhetorik und Logik und das „Quadrivium“ Arithmetik, Geometrie, Musik und Astronomie. Nach diesem „Studium generale“ entschied man sich für die Fachrichtung Theologie, Jurisprudenz oder Medizin. Der Verurteilung durch Bischof Tempier gingen päpstliche Verbote voraus, die Physik und Metaphysik des Aristoteles zu unterrichten, bevor sie vor dem Verdacht der Irrlehre bereinigt sind.

Um welche Fragen ging es in der Auseinandersetzung an der Sorbonne?

Die Schriften des Aristoteles boten dem Gelehrten ein Gedankengebäude, das dem Verstand schlüssige Wahrheiten über den Gesamtaufbau der Welt lieferte. Ausgangspunkt war die alltägliche Erfahrung ohne religiösen Überbau. Aristoteles überzeugte in seiner Argumentation dermaßen, dass man ihn schlichtweg „den Philosophen“ nannte. Allerdings ließen sich seine Vorstellungen nicht so einfach mit den christlichen Glaubenswahrheiten vereinbaren. Schwieriger wurde es noch, wenn man die Aristoteles-Kommentare des Averroes hinzuzog, was man so geflissentlich tat, dass man Averroes als „den Kommentator“ bezeichnete. Auch die islamische Orthodoxie hatte ähnliche Probleme, weshalb Averroes seinerzeit aus Spanien nach Marokko fliehen musste, wo er in Marrakesch starb.

Die aristotelische Philosophie störte die jahrhundertealte Synthese von Philosophie und christlichem Glauben. Der Gelehrsamkeit des Mittelalters drohte eine Zerreißprobe zwischen der geistlichen Wahrheit des Glaubens und der weltlichen Wahrheit der Vernunft.

Tatsächlich betonte Siger von Brabant, Magister der Artistenfakultät seit spätestens 1266, die Differenz zwischen der Vernunftserkenntnis (*scientia*) und dem Glauben (*fides*) und sprach von einer doppelten Wahrheit.

Den hierdurch entstehenden Grundkonflikt formuliert Bischof Tempier in seinem Verurteilungsschreiben. Darin stellt er fest,

*„dass einige Lehrer der freien Künste zu Paris die Grenzen ihrer eigenen Fakultät überschreiten und es wagen, die verabscheuenswürdigen Irrlehren und falschen Hirngespinnste [...] [gemeint sind die 219 Thesen, die nun folgen] als behandlungswürdige Probleme abzuhandeln und zu disputieren. [...] Sie sagen nämlich, diese Irrlehren seien wahr im Sinne der Philosophie, aber nicht im Sinne des christlichen Glaubens, als gebe es zwei gegensätzliche Wahrheiten und als stehe gegen die Wahrheit der Heiligen Schrift die Wahrheit in den Schriften der gottverworfenen Heiden.“<sup>35</sup>*

Betrachten wir zwei weitere „verdammungswürdigen Thesen“: These 37: *„Nichts ist zu glauben, sei es denn evident<sup>36</sup> oder aus Evidentem beweisbar.“* Und These 153: *„Das theologische Wissen bringt keinen Erkenntnisgewinn.“*

Als Leser des 21. Jahrhunderts verstehen wir den Konflikt als Dissonanz zwischen geglaubten Wahrheiten und wissenschaftlich gefundenen Erkenntnissen. Doch im Mittelalter wurde Aristoteles vor allem als überzeugende Autorität wahrgenommen und noch nicht primär als jemand, der auf naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse verweist. Somit musste das Problem nicht mit wissenschaftlicher Forschung im heutigen Sinne, sondern mit scholastischer Disputation geklärt werden.

Es ging, die Kosmologie betreffend, um folgende Fragen:

- Wie stehen die Wahrheiten des Glaubens zu den Wahrheiten, wie sie die Vernunft im Sinne Aristoteles’ erfassen kann?
- Wie steht der trinitarische Gott der Christenheit zum „unbewegten Beweger“ im aristotelischen Weltbild?
- Wie steht das im Sinne der Genesis geschaffene Universum zum ewigen Kosmos des Aristoteles?

- Wie lässt sich der geozentrische Kosmos Aristoteles' in das christliche Weltbild integrieren?

## Thomas von Aquin und das Verhältnis von Glauben und Vernunft

Es ist eine Ironie des Schicksals: Die Geistesgröße, die für die katholische Welt die eingeforderte Synthese zwischen Glauben und Vernunft vollbracht hatte, war zum Zeitpunkt der Pariser Verurteilung schon drei Jahre verstorben. Thomas von Aquin steht bis auf den heutigen Tag für den Vernunftoptimismus der katholischen Theologie.

Thomas wurde zu Beginn des Jahres 1225 in Aquino bei Rom in den ländlichen Hochadel hineingeboren. Mit fünf Jahren übertrug man seine Erziehung und Ausbildung dem Kloster Montecassino, das zu den bedeutendsten geistlichen Zentren des Mittelalters zählte. Keine zwanzig Jahre alt, entschließt er sich, in den Dominikanerorden einzutreten. Dies war für seine reiche Familie ein Affront, denn der gerade erst gegründete Orden gehörte zu den Bettelorden, die sich bewusst gegen den Prunk der Kirche stellten. Entsprechend vehement geriet der Widerstand gegen seine Entscheidung. Thomas wurde ein Jahr in einen Turm des elterlichen Schlosses eingesperrt, um ihn von dem Entschluss abzubringen. Ohne Erfolg.

Dass Thomas von Aquin seine geistige Heimat bei den Dominikanern suchte und fand, ist bezeichnend. Der Orden bekam sein Gepräge mit den Albigenser Kreuzzügen gegen die Katharer. Es war die Aufgabe dieses Predigerordens, sich geistig mit Häretikern auseinanderzusetzen, diese wenn möglich zu bekehren und wenn nötig einer gerechten Strafe zuzuführen. Gerecht konnte nach Thomas von Aquin nur die Todesstrafe sein, wie er in seinem Falschmünzer-Vergleich ausführt. Wenn schwerwiegende weltliche Straftaten die Todesstrafe nach sich ziehen, so galt dies mehr noch für schwerwiegende geistliche Straftaten. Und die Häresie ist eine der schwerwiegendsten, wendet sie sich doch gegen die geoffenbarte Wahrheit Gottes. Die Schärfe, die das Denken der Dominikaner in der Auseinandersetzung mit Häresien gewann, machte sie zum Träger der Inquisition. „Domini canes“, „Spürhunde des Herrn“, wurden sie in dieser Funktion auch genannt.

Der geistlichen Dramatik des Dominikanerlebens stand eine materielle Bescheidenheit gegenüber. Dominikaner legten beispielsweise ihre Wege grundsätzlich zu Fuß zurück. Dies gab Gelegenheit zu naturkundlichen Beobachtungen. Ebenfalls zum Dominikanerorden gehörte der bedeutendste Lehrer des Aquiners, Albertus Magnus (1200–1280). Man rühmt ihn nicht nur für seine literarischen Kenntnisse, sondern auch für sein umfangreiches naturkundliches Werk. In der Aufarbeitung seines Erfahrungswissens orientierte sich Albertus Magnus an der Naturphilosophie des Aristoteles. Ihm wurde dabei sogar vorgeworfen, ein „Affe des Aristoteles“ zu sein. Allerdings kommt bei Albertus Magnus ein für die damalige Zeit neuer Zug hinzu. So erklärt Albertus Magnus in seinem Werk „De Mineralibus“:

*„Aufgabe der Wissenschaft ist es nicht, alles, was berichtet wird, einfach hinzunehmen. Sie hat vielmehr die Ursachen im Naturgeschehen zu ergründen.“<sup>37</sup>*

Aus heutiger Sicht ist in diesen Zeilen eine naturwissenschaftliche Grundhaltung zu erkennen. Denn die Erfahrung wird in diesen Zeilen höher gewichtet als die Überlieferung. Während der Scholastiker die Werke der Großen für seinen Erkenntnisgewinn akribisch studiert, ist für den Naturwissenschaftler zweitrangig, wer die „Ursachen im Naturgeschehen ergründet“ hat. Sie selbst sind die Lehre. Papst Pius XII. sah sich daher 1941 veranlasst, Albertus Magnus zum Schutzpatron der Naturwissenschaftler zu ernennen.

Albertus Magnus setzte sich auch mit der Kosmologie des Aristoteles auseinander. Er hielt die Leugnung von Antipoden für unvernünftig – bei aller biblischen Argumentation, die wir schon kennengelernt haben. In der Art, wie er argumentiert, wird Albertus’ Primat der natürlichen Vernunft deutlich:

*„Obwohl keiner der Bewohner der unteren Hemisphäre zu uns gekommen ist, kann daraus nicht geschlossen werden, dass niemand dort lebt, denn das Ausmaß des Ozeans, der diese Länder umgibt, erlaubt ganz einfach nicht, ihn segelnd zu überqueren. [...] Keine Beachtung sollte denen geschenkt werden, die sich vorstellen, Menschen könnten diese Gebiete nicht bewohnen, da sie von der Erde fallen würden. Zu behaupten, dass die fallen könnten, welche die Antipodenseite bewohnen, mit anderen Worten die, welche ihrer Füße entgegengesetzt zu unseren haben, kann nur das Ergebnis der Ignoranz der einfachen Leute sein. Der untere Teil der Erde sollte nicht im Verhältnis zu uns, sondern in absoluter Weise gesehen werden. Was absolut un-*

*terhalb ist, was also von überall aus unten genannt werden muss, ist der Mittelpunkt der Erde.*<sup>38</sup>

Vernünftiges Nachdenken über die Naturverhältnisse entscheidet darüber, ob man Antipoden für möglich hält – oder nicht. Biblische Hintergründe sind bestenfalls zweitrangig. Was aber, wenn es hierbei zu Widersprüchen kommt? Wenn die eine Sicht die andere ausschließt? Hier liegt das zentrale Grundproblem des mittelalterlichen Denkens: In welchem Verhältnis stehen die in der Bibel und in den Dogmen offenbarten Wahrheiten des christlichen Glaubens zu den Wahrheiten, die durch die Vernunft in Auseinandersetzung mit der Natur erfasst werden können.

Diese Grundfrage wird seinem berühmtesten Schüler zur Lebensaufgabe. Viele Jahre lernt Thomas von Aquin bei Albertus, zunächst in Köln, dann in Paris. Thomas wird als bescheiden und zurückhaltend beschrieben und als von immenser Leibesfülle. So nannten ihn seine Kommilitonen einen „stummen Ochsen“. Albertus Magnus soll darauf geantwortet haben, dass das Brüllen des stummen Ochsen die Welt über die Jahrhunderte erfüllen werde. Da hatte er recht. Allerdings brüllte Thomas mit der Feder und hinterließ trotz seines kurzen Lebens – er überlebte seinen Lehrer Albertus Magnus nicht – ein umfangreiches Werk. Neben Aristoteles-Kommentaren und theologischen Gesamtdarstellungen, wie die „Summe der Theologie“, bzw. Schriften zur christlichen Dogmatik hinterließ er Schriften, die den christlichen Glauben rechtfertigen, wie die „Summe wider die Heiden“, die vor allem gegen die Araber gerichtet ist.

Wie stellt sich für Thomas das Verhältnis von Glauben und der durch Aristoteles verkörperten Vernunft dar? Das „Credo, quia absurdum est“ („ich glaube, weil es unvernünftig ist“) des Tertullian lehnt er entschieden ab. Allerdings teilt er auch nicht mehr uneingeschränkt das „Credo ut intelligam, intelligo ut credam“ („ich glaube, um zu verstehen, und ich verstehe, um zu glauben“) des Anselm von Canterbury, wonach die christlichen Glaubensüberzeugungen aus der Vernunft hergeleitet werden können. Glaubens- und Vernunftwahrheiten können sich für den Aquinaten nicht grundsätzlich widersprechen, denn beide Wege zur Wahrheit sind von Gott gegeben.

Die zentralen christlichen Wahrheiten, die 325 u. Z. im Konzil von Nicäa dogmatisiert wurden – den Christen aller Konfessionen als



„Credo“ geläufig –, sind nur mit dem Glauben zu erfassen. Die trinitarische Struktur Gottes als Vater, Sohn und Heiliger Geist, die Doppelnatur Christi als wahrer Mensch und wahrer Gott und seine Heilstat am Kreuz sind nach Thomas von Aquin der Vernunft nicht zugänglich, sondern ausschließlich dem Glauben. Der Philosophie kommt die Aufgabe zu, christliche Wahrheiten gegen widersprechende Argumente zu verteidigen. Damit erhalten Glaubenswahrheiten gegenüber der Vernunft eine Vorrangstellung. Von ihrer Wahrheit hat das Denken auszugehen. Sie können der Vernunft nicht widersprechen, da sie aus der Gnade Gottes dem rechthabenden Menschen gegeben wurden. Glauben heißt, von dieser Überzeugung ausgehend, die Welt zu verstehen und sein Leben zu gestalten. Die Philosophie bleibt die „Magd der Theologie“, zumindest was übernatürliche Wahrheiten anbelangt. Das Feld der Natur ist der Vernunft freigegeben, solange die in der Überlieferung offenbarten Wahrheiten unangetastet bleiben.

Damit konnte Thomas die skeptische Haltung gegenüber der aristotelischen Philosophie aufgeben. Solange die Grenzen des Glaubens akzeptiert werden, die der Vernunft durch Gottes Offenbarung in den kirchlichen Dogmen gesteckt sind, kann sich die menschliche Vernunft im Felde der natürlichen Dinge austoben. Mit dieser Grundhaltung schafft der Aquinat sein umfangreiches schriftliches Lebenswerk.

Den Siegeszug seiner Gedanken konnte nichts aufhalten, auch nicht die Pariser Aristoteles-Verurteilung. Schon 1323 wurde Thomas von Aquin heiliggesprochen, 1567 in den Stand des Kirchenlehrers erhoben. Diese Auszeichnung erhielten nur 33 Persönlichkeiten, unter anderem Albertus Magnus, Anselm von Canterbury, Augustinus von Hippo und Kyrill von Alexandria.

Der Primat des Glaubens und seine Magd, die Philosophie: Dieses Verhältnis prägt die thomistische Philosophie der katholischen Theologie bis auf den heutigen Tag. So leitet Papst Johannes Paul II. 1998 seine Enzyklika „Fides et Ratio“<sup>39</sup> („Glaube und Vernunft“) mit den Worten ein: *„Glaube und Vernunft sind die beiden Flügel, mit denen sich der menschliche Geist zur Betrachtung der Wahrheit erhebt.“* Und er endet mit Blick auf die Jungfrau Maria, die das „Gebet der Kirche als Sitz der Weisheit anruft“: *„Wie die Jungfrau berufen wurde, ihr ganzes Sein als Mensch und Frau darzubringen, damit das Wort Gottes Fleisch [...] werde, so ist die Philosophie berufen, ihre kritische Vernunftarbeit zu*

*leisten, damit die Theologie als Verständnis des Glaubens fruchtbar und wirksam sei.“*

In seinen Darstellungen würdigt Johannes Paul II. die Philosophie des Thomas auch für die Theologie nach der katholischen Erneuerung des Zweiten Vatikanischen Konzils (1962–1965) und bekräftigt das Anliegen der Enzyklika *Aeternie Patris* des Papstes Leo XIII. Papst Leo hatte 1879 mit dieser Enzyklika eine neue Phase der thomistischen Philosophie eingeleitet und Thomas zum zentralen katholischen Philosophen erhoben. In unmissverständlichen Sätzen bekräftigt er die katholische Erkenntnishaltung. Im Folgenden einige Zitate aus dieser Enzyklika:<sup>40</sup>

*„Der eingeborene Sohn [...] hat der Welt eine wahrhaft wunderbare Wohltat erwiesen, als er [...] die von ihm gegründete Kirche als oberste Lehrerin aller Völker zurückließ. [...] In der Tat hat der barmherzige Gott [...] nicht bloß jene Wahrheiten durch das Licht des Glaubens offenbart, welche der menschliche Verstand aus sich nicht zu erkennen vermag, sondern auch solche, [...] welche für die Vernunft nicht vollständig unbegreiflich sind. [...] Auch das endlich ist die Aufgabe der philosophischen Wissenschaften, die von Gott geoffenbarten Wahrheiten sorgfältig zu verteidigen und denen, welche sie zu bekämpfen wagen, entgegenzutreten. Zu dieser Beziehung verdient die Philosophie großes Lob, da sie als eine Schutzwehr des Glaubens und ein festes Bollwerk der Religion gilt. [...] Die Philosophie soll als Dienerin der göttlichen Lehre folgen. [...] Sie darf sich nicht über die Lehren des Glaubens hinwegsetzen. [...] Sie ist nicht irrtumslos. [...] Ohne Glauben geht die Philosophie in die Irre. [...] Mit dem Glauben leistet sie Großes. [...] [Thomas von Aquin ist] der Fürst unter den Scholastikern. [...] Er zeigt die Harmonie von Vernunft und Glaube. [...] [Die Lehre des heiligen Thomas] ist keine Feindin des Fortschritts in den Naturwissenschaften.“*

Die Naturwissenschaft ist nach katholischer Auffassung keine Feindin des Glaubens, solange sie sich in den Grenzen bewegt, die ihr die geoffenbarten Wahrheiten Gottes setzen. Man darf fragen, wie sollte sie, wenn es ihr verboten ist. Doch würdigen wir den Fortschritt. Mit der thomistischen Philosophie tat sich eine Arena der Legitimation auf, in der sich der forschende Geist mit der Natur beschäftigen konnte. Das ist ganz sicher ein Verdienst des Thomas von Aquino. Und in dieser Arena wurde Aristoteles „getauft“, seine Physik zum Mainstream wissenschaftlichen Denkens und seine geozentrische Kosmologie ein Glauben und Wissen befriedigendes Bild der Welt – mit einigen Mackeln, wie wir sehen werden.

## **Die Erde im Zentrum und Gott über allem – der christianisierte aristotelische Kosmos**

Die auf Thomas von Aquin folgenden etwa 250 Jahre bis zur Veröffentlichung von Kopernikus' Werk sind von einem Wechsel des Zeitgeistes bestimmt. Das vorchristliche Erbe Europas inspirierte die gebildete Schicht. In Kunst und Literatur besann man sich auf antike Vorbilder, suchte die Reste der literarischen Überlieferung, um an authentische antike Quellen zu kommen. „Ad fontes“ lautete die Devise, zu den Quellen. Der antike Geist wurde überhöht, idealisiert. Viele fühlten sich in einer neuen Zeit, die an die Antike anknüpfte, unterbrochen von einer abfällig als „Mittelalter“ bezeichneten Epoche<sup>41</sup>. Mit dieser kulturellen Wiedergeburt, der Renaissance, begann man sich mit allen Sinnen dem Diesseits zuzuwenden. Lebensbejahende Bilder und Skulpturen waren das Ergebnis, genauso wie die Entdeckung Amerikas, die Erfindung der Buchdruckerkunst und der Aufstieg des Bürgertums, das durch Handel und Bankwesen reich geworden ist.

Dies ist die Blütezeit der christlich-geozentrischen Kosmologie. Der Mensch als Krone der Schöpfung, um den der Kosmos kreist – auch wenn die einen die Erde als Jammertal, die anderen das Leben als Freudenfest interpretierten: Im Zentrum von allem, umworben von den Mächten des Guten und des Bösen, stand der Mensch. Das entsprach dem Selbstbewusstsein des Renaissancemenschen. Ob man christlich das Leben auf eine nachtodliche Vereinigung mit Gott ausrichtet oder mit dem aufblühenden Humanismus im Menschen die Maßstäbe des Lebens sucht: Die kosmische Zentralstellung der Erde befriedigte das Selbstbewusstsein des Menschen. Die geozentrische Kosmologie war von nun an Mainstream. Zeichnen wir den Kosmos nach, den Kopernikus so kühn ins Wanken brachte!

Zur Illustration diene uns eine berühmte Abbildung aus der Weltchronik des Humanisten und Historikers Hartmann Schedel, die im Jahr 1493 erstmals erschien und zu den ersten Büchern gehörte, die gedruckt wurden (Abbildung 15).

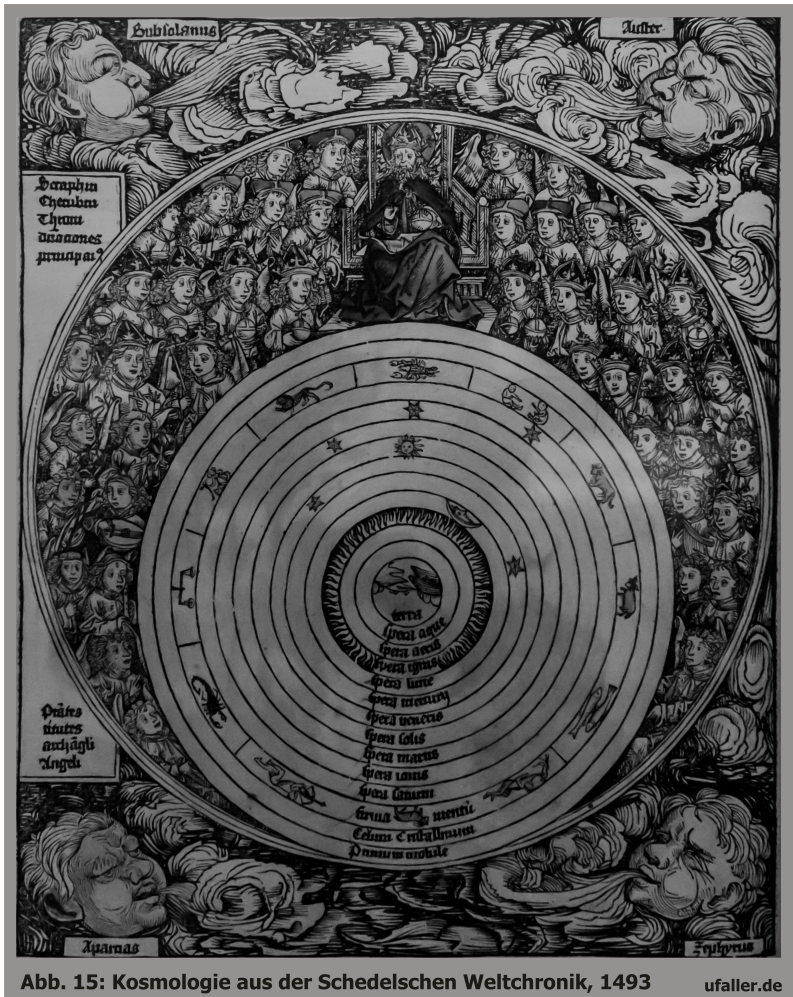


Abb. 15: Kosmologie aus der Schedelschen Weltchronik, 1493

ufaller.de

Sie behandelte die Weltgeschichte von der Genesis über die Sintflut, Abraham, David, das babylonische Exil, die Geburt Christi bis zur damaligen Gegenwart mit einem Ausblick auf den Weltuntergang und das jüngste Gericht. Dieser Kontext zeigt, wie sehr die Welt durch die Brille der biblischen Darstellung gedeutet wurde. Da bildete auch die Kosmologie keine Ausnahme.

Der materielle Aufbau des Weltganzen wurde von Aristoteles übernommen. Wir sehen im Bild der Chronik sein sphärisches Schalenmodell. An den Universitäten wurde über „die Sphären“ gelesen, wenn eine Astronomie-Vorlesung auf der Tagesordnung stand.

Jenseits des Mondes herrschen physikalisch andere Gesetze als auf der Erde. Alle Planeten bewegen sich auf gleichmäßig durchlaufenen idealen Kreisbahnen, von der äußersten Sphäre her durch einen unbewegten Beweger in einem ewigen Akt bewirkt. Die jeweils äußeren Sphären übertragen die Bewegung auf die jeweils inneren, sodass die Planetensphären von außen nach innen gegenüber der täglichen Umdrehung des Himmels etwas zurückbleiben. Was heißt das konkret?

Campanus von Novara, selbst Herausgeber eines „Tractatus de Sphaera“, der Thomas von Aquin um elf Jahre überlebte, überliefert uns seine konkrete Vorstellung von der Größe des Kosmos. Er schätzte den Durchmesser der Saturnsphäre auf 117.000.000 km, der Saturn wäre demnach 58 500 000 km von der Erde entfernt, das entspricht etwa dem 5000-fachen Erddurchmesser. Für die damalige Vorstellung waren das beachtliche Größen, erst heute muten sie uns bescheiden an.<sup>42</sup>

Alle Sterne stellte man sich im gleichen Abstand von der Erde vor, auch sie lagen damit auf einer Sphäre, die auf die Saturnsphäre folgte. Gehen wir davon aus, dass die Fixsternsphäre etwas größer ist als die Saturnsphäre und damit ca. 125 Millionen Kilometer Durchmesser hätte, so hieße das, dass sich die sichtbaren Fixsterne innerhalb von 23 Stunden und 56 Minuten um die Erde drehten und damit eine Geschwindigkeit von etwa 16 000 000 km/h hätten. Das war eine die menschliche Vorstellungskraft strapazierende Feststellung!

Etwas schneller noch bewegte sich die Kristallsphäre, die der Araber Thabit ibn-Qurra (836–901) eingeführt hatte, um auch die Verschiebung des Frühlingspunktes (Präzession) mit dem Sphärenmodell erklären zu können. Den physischen Kosmos umschließt die Sphäre des Primum Mobile, des unbewegten Bewegers. Beide Sphären können wir in der Abbildung aus der Scheddelschen Weltchronik ausmachen.

Alle nach innen folgenden Sphären bleiben in ihrer täglichen Umdrehung um den Weltmittelpunkt gegenüber der Fixsternsphäre zurück:

- die Saturnsphäre um  $0,03^\circ$  täglich, sodass sie nach dreißig Jahren von den Fixsternen überholt wird,
- die Jupitersphäre um  $0,08^\circ$  täglich, sodass sie nach zwölf Jahren von den Fixsternen überholt wird,
- die Marssphäre um  $0,52^\circ$  täglich, sodass sie nach fast zwei Jahren von der Fixsternsphäre überholt wird,
- die Sonnensphäre und mit ihr durchschnittlich auch die Venus- und Merkursphäre um etwa  $1^\circ$  täglich, sodass sie nach einem Jahr von der Fixsternsphäre überholt werden,
- gefolgt von der Mondsphäre, die täglich um  $13,2^\circ$  zurückbleibt und somit zwölf bis dreizehn Mal im Jahr von den Fixsternen überholt wird.
- Im Zentrum schließlich ruht die Erde mit ihren vier Sphären!

Man halte im Lesen inne und versuche, sich dieses kosmische Wettrennen konkret vorzustellen. Es ist intuitiv verständlich, dass die physikalischen Gesetze auf der ruhenden Erde und im rasenden Kosmos nicht die gleichen sein können – wenn der Geozentrismus wahr wäre!

Jenseits dieses sphärischen Kosmos ist NICHTS – da sich ein *Etwas* nur dadurch sinnvoll ausgrenzen lässt, dass es neben einem anderen *Etwas* etwas ist. Wo also nichts ist, ergibt es keinen Sinn, von einer Existenz zu sprechen.

Das Bild der Schedel'schen Chronik zeigt über dem materiellen Kosmos den metaphysischen Überbau der christlichen Kosmologie. So schließt sich an die Sphäre des „Primum Mobile“ das Empyreum an. Dieser Bereich taucht in Dante Alighieris „Göttlicher Komödie“ (1320) als „Ort des Lichtes“ auf. Das griechische Wort „empyros“ bedeutet „im Feuer befindlich“. Hier finden sich die christlichen Heiligen zusammen mit den himmlischen Heerscharen um Gottes Thron versammelt. Aus der Sicht der Scholastik müssen wir uns diesen Ort ganz unstofflich vorstellen. Der einfache Mensch lokalisierte dort den Himmel.

Nach Thomas von Aquin ist der Kosmos hierarchisch gegliedert. Der irdische Bereich ist zugleich der von Gott am weitesten entfernte. Gott überragt die Schöpfung. Er ist ungeschaffene, höchste Wirklichkeit. Unschwer lässt sich der „unbewegte Bewegte“ des Aristoteles als „christlicher Gott“ identifizieren.

Gott überträgt in der mittelalterlichen Vorstellung die Bewegung nicht direkt auf die Fixstern- und Planetensphären, sondern mittelbar

über Engelwesen, die – von außen nach innen – immer unvollkommener werden. Die Bewegung der Gestirne garantiert erhabene Seelen, die für ihre Bewegung verantwortlich waren. Wenn also der geozentrische Astronom den Nachthimmel betrachtete, „sah“ er nicht nur sich bewegende Materie, sondern er erlebte in der andauernden Bewegung der Gestirne kosmische Intelligenzen, Engel, Gott.

Engel waren in der damaligen Zeit keine blassen Vorstellungen, weder barocke Baby-Engel noch kindergerechte Schutzengelgestalten. Thomas von Aquin widmet große Teile seines Werkes der seelischen Anatomie von Engelwesen. Streng hierarchisch entsprechend ihrer Vollkommenheit geordnet, zählte Thomas neun Engelschöre: Seraphime, Cherubime und Throne, Herrschaften, Gewalten und Fürsten, Mächte, Archangeloi und Angeloi.<sup>43</sup>

Den Engelshierarchien entsprechend, war der Kosmos hierarchisch aufgebaut: außen die vollkommenste Gottesnähe, innen die Erde als Ort größter Gottesferne. Der geozentrische Himmel war nicht nur ein materielles Gebilde, sondern ein durch den himmlischen Äther vermittelter sichtbarer Ausdruck der hinter ihm wirkenden übermenschlichen Engelwesen. Die hierarchische Ordnung des sichtbaren Kosmos spiegelt sich in der gleichfalls hierarchischen Ordnung des Kirchenvolkes. Eines wurde als Ausdruck des anderen verstanden. Damit überzeugte das geozentrische Weltbild. Nicht nur, dass es auf den ersten Blick den beobachteten Verhältnissen entsprach. Es gab Orientierung für die Gestaltung des Zusammenlebens auf der Erde.

Ein zentrales Problem des ins christliche Weltbild integrierten Aristoteles musste noch befriedigend gelöst werden. Aristoteles dachte den Kosmos zeitlich unendlich, die biblische Heilsgeschichte ergibt nur in einem sehr überschaubaren Zeitrahmen Sinn. Hier half das beschriebene Verhältnis von Glauben und Vernunft weiter. Denn sowohl die Endlichkeit als auch die Ewigkeit des Kosmos sind mit dem Verstand nicht beweisbar. Da kann der Glaube aus der Pattsituation helfen. „Am Anfang schuf Gott ...“: Gott offenbart uns in der Bibel die endliche Schöpfung – Aristoteles, der vor Christus lebte, konnte hiervon nichts wissen. Der Glaube leitet die Vernunft in der Endlichkeitsfrage, Aristoteles ist getauft.

## Der kosmologische Gottesbeweis des Thomas von Aquin

Wir beobachten mit dem Blick des christlichen Geozentrikers die Welt. Ein nach oben loderndes Feuer hier, Wasser, das den Fluss hinabstürzt, dort und über allem das ewige Kreisen der Gestirne. Jede Bewegung hat ihre Ursache, alles Bewegte wird von einem Bewegenden in Bewegung versetzt. Das entzündete Feuer strebt dem natürlichen Ort, der Feuersphäre, zu, das Wasser strebt dem Meer zu, um in dieser Wassersphäre zur Ruhe zu kommen. Die Mondsphäre wird von der Merkur-, Venus- und Sonnensphäre bewegt, diese wiederum im täglichen Umlauf von der Mars-, Jupiter- und Saturnsphäre. Die äußerste Planetensphäre wird von der Fixsternsphäre bewegt. Wir finden nichts Bewegtes, das nicht von etwas anderem bewegt wird.

Die Bewegungen der sublunarischemirdischen Sphären kommen an ihrem natürlichen Ort zur Ruhe, der auf diese Weise in die Erd-, Wasser-, Luft- und Feuersphäre gegliedert ist. Die supralunaren Planetensphären bewegen sich ewig, weil ihre Bewegung die ideale geometrische Gestalt hat. Vermittelt wird diese himmlische Bewegung durch Engelswesen, wobei die unvollkommensten Engel erdnah, die jeweils vollkommeneren immer fixsternnäher gesehen wurden.

Ein harmonischer, hierarchisch gegliederter Kosmos entsteht vor dem Beobachter. Alles verweist auf eine vollkommeneren Ursache, auf ein Höheres. Denn hinter jeder Wirkung steht eine höhere Ursache. Ein ewiges sich gegenseitiges Bewegen ist aber nicht vorstellbar, ein Stufenbau ohne Abschluss nach oben ebenfalls nicht. Es muss einen ersten, selbst unbewegten Beweger geben, eine nicht verursachte Ursache, ein vollkommenstes Wesen, das die Stufenordnung der Unvollkommenheiten umgreift. Dieses Höchste nennen wir Gott, wie es Aristoteles schon getan hat, und ein Christ identifizierte es mit dem trinitarischen Vater, Sohn und Heiligen Geist. So verweist die erlebte kosmische Schöpfung auf ihren Schöpfer, so führt glaubensgeleitete Vernunft zu einem Beweis Gottes. Gott als notwendigerweise erster Beweger, Gott als erste Ursache und Gott als vollkommenstes Wesen.<sup>44</sup>

Diese von Thomas von Aquin formulierten Gedanken sind als kosmologischer Gottesbeweis in die Philosophiegeschichte eingegangen. Er war mehr als eine gedankliche Spitzfindigkeit. Er verknüpft



den Blick in die Sterne mit einem erhabenen religiösen Gefühl. Das Studium der Astronomie war Teil gelebten Glaubens.

## **Würdigung des christlich-geozentrischen Weltbildes**

Bevor wir sehen, wie der mittelalterliche Kosmos nach und nach zu unseren heutigen Vorstellungen vom Aufbau des Universums umgewandelt wurde, kommen wir um eine Laudatio nicht herum. Für uns Europäer sollte es das letzte Mal sein, dass der Sinn suchende Mensch in einem geschlossenen Weltbild leben konnte. Gott als höchste Sinn gebende Instanz zeigte sich den Menschen in zweierlei Weise. Seine Schöpfung lag ihm im „Buch der Natur“ vor. Er war, ausgehend von seinen Alltagserfahrungen, fähig, mit der von Gott geschenkten Vernunft in diesem Buch zu lesen und Gott zu erkennen. Zudem offenbart sich Gott durch die Bibel, die Dogmen und Traditionen der Kirche und schenkt den Menschen ihren christlichen Glauben. Offenbarung und Schöpfung haben den gleichen göttlichen Ursprung. Dadurch kam der menschlichen Vernunft in der Philosophie die Aufgabe zu, zwischen Wissen und Glauben Brücken zu bauen und das christliche Weltbild gegen Ungläubige zu verteidigen.

Klar ist das ewige und ideale Sein des Himmels von der vergänglichen Existenz der irdischen Sphären geschieden, in denen der Mensch lebt. Er stand hierbei im Zentrum des Kosmos und damit im Zentrum der Aufmerksamkeit Gottes. Alles dreht sich buchstäblich um Mensch und Welt. Gleichzeitig war die Erde der Ort größter Gottesferne, größter Unvollkommenheit, moralisch gesehen der Bereich der Sünde. Die Notwendigkeit, das Leben auf den gleichermaßen fernen wie nahen Gott auszurichten, konnte man auch in den als beseelt erlebten Bewegungen am Himmel täglich erfahren. Mit dieser individuellen Ausrichtung ist der Mensch Teil der Heilsgeschichte, die ihren Anfang im Schöpfungsakt hatte, von dem das erste Buch Mose der Bibel berichtet. Das statische Bild, das sich der Geozentriker vom Kosmos machte, ließ einen Schöpfungszeitpunkt denken, der in historischen Zeitskalen beschreibbar ist.

Die biblische Chronologie datiert das Sechstageswerk im Oktober 4004 vor der Geburt des Erlösers. Den Predigten Jesu von Nazareth

folgend, muss der Zeitpunkt des Endes der Welt und damit der Wiederkunft Christi in Kürze erwartet werden. Beispielsweise setzt Nikolaus von Kues, Kardinal und bedeutender Philosoph des ausgehenden Mittelalters, das Datum des Weltenendes auf das Jahr 1734. Heilsgeschichte des Menschen und Naturgeschichte des Kosmos waren eins, die Phänomene der Natur und der christliche Glaube waren widerspruchsfrei verwoben - zumindest, solange man nicht allzu genau schaute. Aber sollte man wirklich die kosmisch-menschliche Harmonie von ein paar Unregelmäßigkeiten der Planetenbahnen stören lassen?



# Teil 2: Die kopernikanische Wende

## Die kopernikanische Wende

### Die Renaissance-Astronomen Georg von Peurbach und Regiomontanus

Ein Schauplatz astronomischer Bemühungen in den Jahrzehnten vor Kopernikus war die Universität in Wien. Die „Alma Mater Rudolphina“ wurde 1365 als zweite Universität im deutschsprachigen Raum gegründet und erlebte im ersten Renaissance-Jahrhundert eine Blütezeit, bevor sie im folgenden 16. Jahrhundert im Zuge der Glaubensspaltung und der Türkenkriege vorübergehend an Bedeutung verlor. Hier war der 1423 geborene Georg von Peurbach Magister der freien Künste. Er teilte seine astronomische Leidenschaft mit Johannes Müller, der als Regiomontanus, „Königsberger“, bekannt ist. Dem Freundesgespann war es in die Wiege gelegt, die Wende zum heliozentrischen Weltbild schon vor Kopernikus einzuleiten. Doch beide starben vorzeitig.

In Wien vermaßen sie Planetenstellungen und protokollierten besondere Himmelsereignisse wie die Mondfinsternis am 3. September 1457<sup>45</sup>. Damit ist ein Arbeitsfeld der Renaissance-Astronomie genannt. Die Kenntnis der Planetenpositionen wurde beispielsweise für die Navigation auf hoher See erforderlich: Europa steht kurz vor der Entdeckung Amerikas durch Kolumbus im Jahr 1492! Die meisten Renaissance-Astronomen benötigten astronomische Tabellen, um Horoskope zu erstellen – ein guter Nebenverdienst, denn mit der Rückbesinnung auf die Antike stieg das Interesse an der Astrologie.

Für die Berechnung der Planetenstellungen dienten bis dahin die „Alfonsinischen Tafeln“, die etwa 200 Jahre zuvor in Toledo auf Anordnung Alfons' X. von Kastilien entstanden waren, deren Genauigkeit allerdings zu wünschen übrig ließ. Peurbach und Regiomontanus arbeiteten an der Verbesserung der Alfonsinischen Tafeln und erstellten hierzu 1459 neue Tabellen der Finsternisse, die „Tabulae eclipsium“, deren Genauigkeit sie mit der Mondfinsternis am 27. Dezember 1460 prüften. Nur fünf Minuten trennten Berechnung und das tatsächliche

Ereignis. Eine solch hohe Genauigkeit erreichten sie, indem sie die Trigonometrie weiterentwickelten.

Um zu immer genaueren Messungen zu kommen, verbesserte das Duo seine Messinstrumente. Sie konstruierten genauere Astrolabien. Hierbei entdeckte Peurbach die magnetische Missweisung, die Tatsache, dass der magnetische und der geografische Nordpol nicht zusammenfallen. Dadurch konnte die Genauigkeit von Sonnenuhren erheblich verbessert werden.

Im Jahr 1461 hielt sich Kardinal Basilius Bessarion (1403–1472) in Wien auf, der in Byzanz aufgewachsen war. Als Renaissance-Humanist sammelte er antike Schriften und besaß unter anderem eine Ausgabe des *Almagest* in griechischer Sprache, die in Konstantinopel überlebt hatte. Die ptolemäische Astronomie war bisher nur in der Übersetzung aus dem Arabischen bekannt. Er ersuchte Peurbach und Regiomontanus, eine Neuübersetzung vorzunehmen. Da Peurbach kurz darauf starb, wurde diese Arbeit von Regiomontanus übernommen, der Bessarion hierfür nach Rom folgte.

Regiomontanus ging nach seiner Übersetzertätigkeit in Rom 1467 nach Ungarn ins heutige Budapest. Dort arbeitete er wieder an der Erstellung astronomischer Tafeln und war als Astrologe tätig. 1471 wechselte er nach Nürnberg und eröffnete eine Druckerei – der Buchdruck mit beweglichen Lettern war gerade erfunden. Er druckte seine Tabellenwerke und Peurbachs „Neue Planetentheorie“ ein Menschenalter, bevor Kopernikus „*De revolutionibus*“ in der gleichen Stadt in Druck ging. Die typische Renaissance-Biografie des Regiomontanus wird dadurch geehrt, dass er von Papst Sixtus IV. zur Mitarbeit an der Kalenderreform aufgefordert wird. 1475 zieht es ihn deshalb nach Rom.

Die Kalenderreform stand im Fokus der Renaissance-Astronomie bis zur gregorianischen Kalenderkorrektur. Das Problem bestand darin, dass der bis zur Reform gültige julianische Kalender, eingeführt von Julius Cäsar, von einer Jahreslänge von 365,25 Tagen ausging. Alle vier Jahre ergibt sich so ein zusätzlicher Tag, der an den Februar angehängt wurde und wird (im antiken Rom der letzte Monat im Jahr)<sup>46</sup>. Tatsächlich ist das Jahr aber um etwa 11 Minuten kürzer! Dieser Betrag machte sich über die Jahrhunderte immer deutlicher bemerkbar, indem das kalendarische Jahr dem astronomischen vorauseilte. Folge: Die tatsächliche Frühlings-Tagundnachtgleiche fand nicht um den 21.,

sondern um den 11. März statt. Beim Konzil von Nicäa wurde aber der liturgische Osterfestkreis von der Fastenzeit bis Pfingsten an die Tagundnachtgleiche angeknüpft. Genauer gesagt, findet Ostern am ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond nach der Frühjahrs-Tagundnachtgleiche statt, denn das jüdische Pessach-Fest, in dessen Zusammenhang die Kreuzigung Jesu von Nazareth stattfand, lag dem jüdischen Kalender folgend an diesem Datum. Damit stimmten der Kalender und die kirchlichen Feste im Osterkreis immer weniger zusammen. Die Frage, welche Länge das Jahr hat und wie man den Kalender reformiert, beschäftigte die Astronomen seit dem 14. Jahrhundert, vereinzelt schon früher. Erst Papst Gregor XIII. führte, fußend auf den Forschungen der Renaissance-Astronomen, 1582 die Kalenderreform durch, die zum heute noch gültigen Kalender führte. Man lies auf den 4.10. den 15.10.1582 folgen und legte fest, dass an allen Jahrhundertenden der Schalltag ausgelassen wird.<sup>47</sup>

Regiomontanus konnte zur Kalenderreform keinen Beitrag leisten, denn er starb kurz nach seiner Ankunft in Rom im Alter von nur 40 Jahren vermutlich an einer Seuche. So blieb es Nikolaus Kopernikus vorbehalten, das astronomische Weltbild zu hinterfragen. Denn bei genauerer Prüfung konnten Ungereimtheiten der geozentrischen Beschreibung des Himmels nicht verborgen bleiben.

Die Tätigkeit Peurbachs und Regiomontanus' ist typisch für die frühen Renaissance-Astronomen. Auf der einen Seite wurde der Wissenshorizont durch das Studium antiker Schriften erweitert. Auf der anderen Seite vermaß man Planeten und Sterne für den praktischen Nutzen.

Hierbei lebte man mit dem doppelten geozentrischen Weltbild der Antike: erstens mit dem geometrischen Modell des Ptolemäus zur Berechnung der Planetenpositionen und zweitens mit der physikalischen Kosmologie des Aristoteles. Das Auseinanderfallen von Mathematik und physikalischer Erklärung konnte auf Dauer nicht befriedigen. Trotzdem hielt man am aristotelischen Weltbild fest. Zu hoch war der Preis dafür, den geozentrischen Kosmos zu hinterfragen. Denn die physikalische und biblische Kosmologie bildeten eine Einheit. Zudem bestätigte die Bibel in einem viel zitierten Passus den täglichen Umlauf der Sonne um die Erde. Gott hielt die Sonne für einen Tag an, nachdem Joshua die Amoriter besiegte, damit Joshua an seinen Feinden

länger Rache nehmen konnte.<sup>48</sup> Er hielt die Sonne an, nicht die Erde. Die Übereinstimmung der Kosmologie mit der biblischen Offenbarung wog für viele Gelehrte und Astronomen gewichtiger als die Übereinstimmung mit beobachtbaren Phänomenen.

Dabei gab es weitaus mehr Probleme als unregelmäßigen Planetenbewegungen.

- Da ist die Tatsache, dass die Helligkeiten von Mars, Jupiter und Saturn im Laufe ihres jährlichen Umkreisens der Ekliptik sehr markant schwanken. Kommen diese Planeten in Sonnennähe und sind so nur am Abend- oder Morgenhimmel zu sehen, nimmt ihre Helligkeit stark ab, sie scheinen sehr weit von der Erde entfernt zu sein. In Opposition zur Sonne erscheinen sie hell und der Erde näher. Das lässt sich geozentrisch nicht verstehen, denn der Erdbestand der Planeten wird durch den Epizykel begrenzt, der wesentlich geringere Unterschiede zulässt.
- Auch die Tatsache, dass Venus und Merkur in Sonnennähe bleiben, ist durch Deferent und Epizykel zwar beschreibbar, folgt aber im geozentrischen Weltbild keiner Notwendigkeit: Was also hält diese Planeten so nah an der Sonne?
- Das Gleiche gilt für die Planetenschleifen, die man mit dem Rüstzeug des Ptolemäus zwar beschreiben, aber keinen Grund dafür angeben konnte, dass die Schleifen immer genau dann durchlaufen werden, wenn der Planet der Sonne gegenüber in Opposition steht.

Ein Motor, der wissenschaftliches Denken über die kopernikanische Wende zur modernen Kosmologie antrieb, bestand darin, dass diese Unvereinbarkeiten zunehmend ernst genommen wurden. Dabei befand sich der Renaissance-Gelehrte in einer zwiespältigen Lage. Zum einen war er der antiken Überlieferung verpflichtet, die geozentrisch geprägt ist. Viele kannten jedoch die heliozentrischen Spekulationen des Aristarch von Samos. Auch Nikolaus Kopernikus. Doch man lebte im christlichen Abendland, in dem es gefährlich war, den christlichen Glauben infrage zu stellen. Zudem verhärteten sich nach der Reformation die theologischen Positionen, und die liberaleren Zeiten der Hochrenaissance des 15. Jahrhunderts gehörten der Vergangenheit an.

So versuchte der Renaissance-Wissenschaftler dadurch weiterzukommen, dass er die Welt der Erscheinungen immer genauer erforschte. Der Himmel wurde präziser vermessen, die Erkundung und Eroberung



rung der Welt vorangetrieben. Auch der menschliche Körper wurde zum Forschungsobjekt. Es sei an die anatomischen Studien eines Leonardo da Vinci oder, zeitgleich mit Nikolaus Kopernikus, an die erste Darstellung der Anatomie des Menschen durch Andreas Vesalius 1543 erinnert. Der Entdecker- und Forschergeist war erwacht.

Auf dem Weg zum heliozentrischen Weltbild musste wesentlich mehr aufgegeben werden als nur die räumliche Vorstellung der Planetenbewegungen. Das haben die beteiligten Geistesgrößen vielleicht nur geahnt. Deshalb gab es auch nicht den großen Revolutionär, der mit einem Streich den Paradigmenwechsel verrichtet hätte. Auch Kopernikus war dies nicht. Die Wende wurde schrittweise vollzogen. Aber Nikolaus Kopernikus gab den ersten Anstoß, deshalb trägt sie zurecht seinen Namen: die kopernikanische Wende.

### **Nikolaus Kopernikus: „De revolutionibus orbium coelestium“**

Nachdem wir die Persönlichkeit des Nikolaus Kopernikus im Prolog kennengelernt haben, wenden wir uns nun seinem Werk zu. Schon 1509 hatte Nikolaus Kopernikus seine heliozentrische Sichtweise in seinem „Commentariolus“ spekulativ vorgetragen. Im ersten Band seines 1543 erschienenen Hauptwerkes führt er diesen Gedanken systematisch aus und verteidigt ihn gegen Einwände aus geozentrischer Sicht.

In grundlegenden Punkten bleibt Kopernikus den Vorstellungen seiner Zeit treu. So beschreibt er den Aufbau der Erde und des Kosmos nach alter Manier sphärisch. Auch die Qualität kosmischer Bewegungen stellt er im vierten Kapitel als „gleichmäßig, kreisförmig, stetig, oder aus kreisförmigen zusammengesetzt“ dar. Daher kann es auch nicht anders sein, als dass für ihn Himmels- und Erdenphysik unverbunden nebeneinanderstehen. Auch Kopernikus denkt den Himmel als Bereich, in dem ewige und ideale Gesetze gelten. Hierin bleibt er der antiken und mittelalterlichen Tradition treu. Nicht zu Unrecht wird Kopernikus daher des Öfteren das Attribut des „großen Revolutionärs“ abgesprochen. Und doch gibt Kopernikus der geozentrischen Sichtweise den ersten entscheidenden Todesstoß.

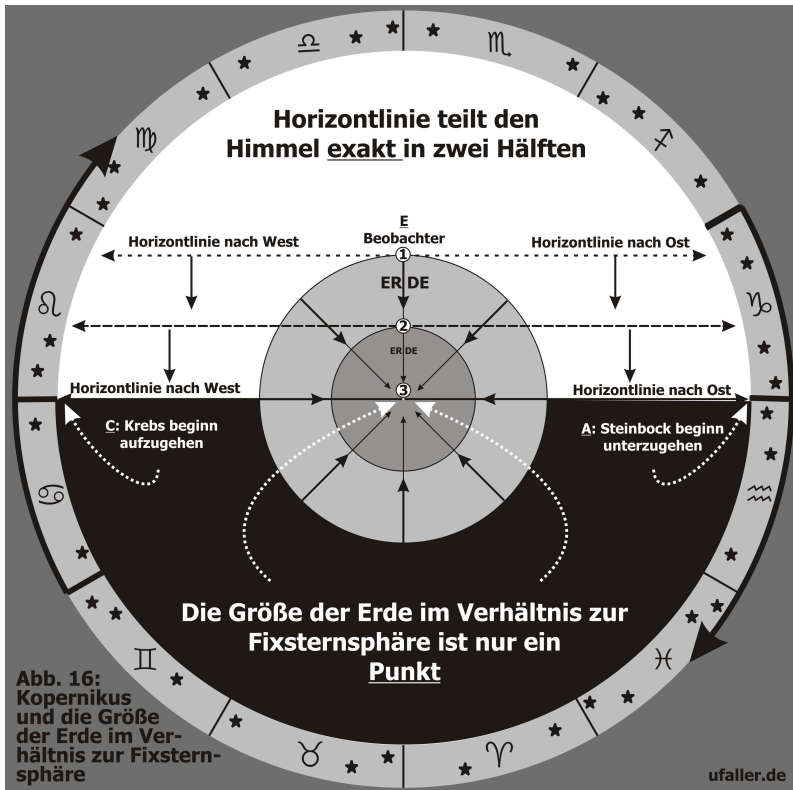
Wo fand Nikolaus Kopernikus den archimedischen Punkt, von dem aus er die Erde in Bewegung versetzte und dabei aus ihrer Zentralstelle im Kosmos verwies? Mit welchem Gedanken, welcher Beobachtung fing er an, das geozentrische Weltbild aus den Angeln zu heben? Wir finden diesen Angelpunkt im Kapitel 6 des ersten Buches, in dem es heißt:

*„Über die Unermesslichkeit des Himmels in Beziehung zur Erdgröße. Dass diese ganze Erdmasse den Schätzwert Null hat im Vergleich zur Größe des Himmels, kann aus Folgendem erschlossen werden: Die Begrenzer-Kreise – so übersetzt man den Ausdruck Horizonte bei den Griechen – schneiden die ganze Himmelskugel halb durch, was nicht geschehen könnte, wenn die Erdgröße einen messbaren Betrag ausmache im Vergleich zum Himmel oder der Entfernung von der Weltmitte. [...] Es soll nun erblickt werden mittels eines Diopters der Anfang des in Punkt C aufgehenden Krebses und gleichzeitig scheint dann der Anfang des Steinbocks unterzugehen in A. Da nun AEC auf einer Geraden durch das Diopter lagen, so steht fest, dass eben diese [Gerade] der Durchmesser des Tierkreises ist.“<sup>99</sup>*

Um die Genialität dieser Argumentation zu verstehen, müssen wir etwas verweilen. Wir betrachten Abbildung 16.

Zunächst vergegenwärtigen wir uns die Verhältnisse, wie sie **nicht** vorzufinden sind: Wir stehen bei 1 auf einer im Verhältnis zur Fixsternsphäre großen Erde. Wir können erkennen, dass die Horizontlinie den Tierkreis nicht halbiert, sondern deutlich weniger als sechs Tierkreissternbilder sichtbar sind. Die Beobachtung lehrt uns aber, dass wir die Erde erheblich verkleinern müssen. Über die Größe bei 2 so weit, bis sie im Vergleich zum Tierkreis nur noch punktförmig erscheint (3). Erst dann teilt die Horizontlinie den Tierkreis exakt in zwei Hälften, und bei C beginnt der Krebs zur gleichen Zeit aufzugehen, wie bei A der Steinbock beginnt unterzugehen.

Auf der Ekliptik, die einen Großkreis der Fixsternsphäre darstellt, liegen sich der Aufgangspunkt des Krebses und der Untergangspunkt des Steinbocks exakt gegenüber, sie sind demnach 180° voneinander entfernt. Das bedeutet, dass der Horizont die Fixsternsphäre halbiert. Es sei dahingestellt, ob Kopernikus die geschilderte Beobachtung mit dem Diopter in der dargestellten Form durchführen konnte, was aufgrund des horizontnahen Dunstes bezweifelt werden muss. Die Verhältnisse lassen sich aber durch Winkelmessungen an höher stehenden Fixsternen indirekt erschließen.



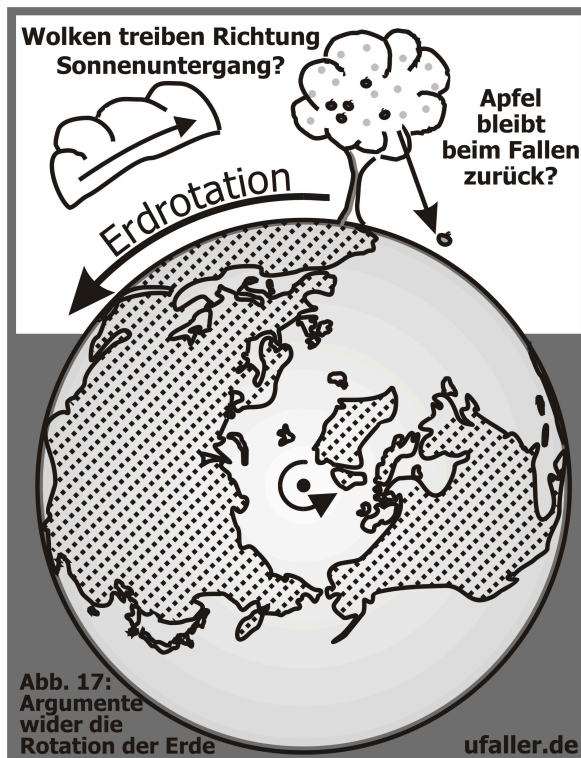
Wenn die Größe der Erde kosmisch betrachtet von einem Punkt nicht zu unterscheiden ist, muss die Fixsternsphäre aus dem Blickwinkel der Erde unermesslich sein! Die Sphäre des Göttlichen, des Ewigen, entfernt sich weit, sehr weit von der Erde, die zu einem Punkt zusammenschrumpft. Das ist der Preis, der von Beginn an für die Aufgabe des geozentrischen Weltbildes gezahlt werden muss.

Angesichts der Größe des Himmels gegenüber der Erde bedenkt Kopernikus in den folgenden Kapiteln die Frage, ob man sich einen täglichen Umschwung der unermesslich großen Sternsphäre um die Erde vorstellen kann. Ist es nicht leichter, sich die punktförmig kleine Erde in täglicher Rotation zu denken. Beide Bewegungen würden im Resultat für die Erdbewohner den gleichen Eindruck des bewegten

Himmels hervorrufen, wie auch ein Seemann nach dem Ablegen seines Schiffes die Hafenanlagen an sich vorbeiziehen sieht.

Kopernikus entkräftet den Einwand, dass durch die Heftigkeit der Rotationsgeschwindigkeit Gebirge auseinanderbersten müssten, wenn sie in unvorstellbarer Geschwindigkeit in 24 Stunden den Erdkreis umrunden. Dies gälte, so Kopernikus, für die wesentlich schnelleren Bewegungen der Fixsterne umso mehr. Wie Recht er hatte: So müsste der damals noch nicht beobachtete Planet Neptun, bei täglicher Umrundung der Erde schneller sein, als das Licht, was nach heutigem Verständnis der Naturgesetze nicht möglich wäre.

Kopernikus diskutiert viele Einwände, die man gegen die Erdrotation haben kann. Ich möchte zwei aufführen, deren Klärung mit dem Fortschritt der Naturwissenschaft eng verbunden ist (Abbildung 17).



Wenn, so muss man fragen, die Erde täglich um sich selbst rotieren würde, dann müssten wir dies an Folgendem bemerken:

- „*Wolken und was sonst noch in der Luft schwebt, würde man immer in Richtung Sonnenuntergang treiben sehen.*“<sup>50</sup>
- „*Senkrecht fallende Körper würden nicht an dem ihnen vorausbestimmten Ort herunterkommen, nämlich nach Maßgabe des Lots, da dieser inzwischen mit solcher Geschwindigkeit unter ihnen weg gezogen wäre.*“<sup>51</sup>

Der Leser möge sich die Freude gönnen, diese Einwände selbst zu entkräften. Wir werden später darauf zurückkommen. Kopernikus geht ausführlich auf diese und weitere Einwände ein und kommt zu dem Schluss, dass „*nichts die Annahme einer Beweglichkeit der Erde hindert*“<sup>52</sup>, ohne allerdings den Kern des Problems zu treffen. Das sollte letztlich Newtons Aufgabe bleiben.

Einmal in Bewegung geraten, sind die dogmatischen Fesseln des aristotelischen Weltbildes gesprengt. Damit kann Kopernikus mit Recht am Eingang des 9. Kapitels sagen: „*[...] so muss nun, meine ich, zugesehen werden, ob auch mehr Bewegungsformen ihr [der Erde] zukommen, sodass sie als einer der Wandersterne gelten könnte.*“ Damit kann er die Phänomene erklären, die aus geozentrischer Sicht unverstänlich sind. Er formuliert weiter:

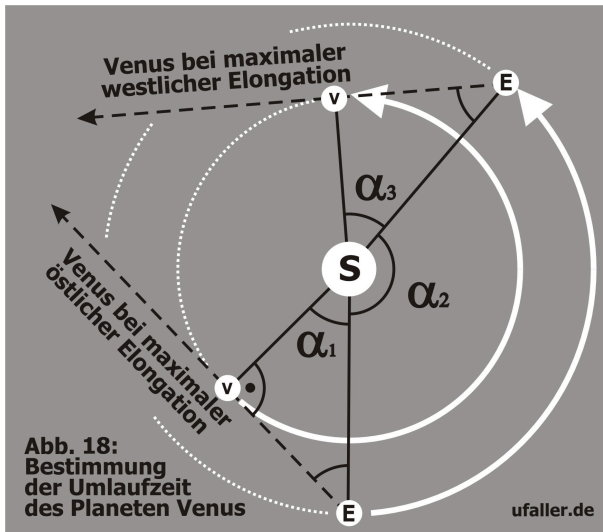
„*Dass sie nämlich aller Umläufe Mittelpunkt nicht ist, das zeigen die erscheinende ungleichförmige Bewegung der Wandersterne und ihre wechselnden Abstände von der Erde, was mithilfe eines Kreises um die Erde mit ein und demselben Mittelpunkt nicht verstanden werden kann.*“

Sollte es andere Zentren der gleichförmigen Himmelsbewegung geben, muss die Frage der Schwere als Zentrum dieser Bewegungen geklärt werden. Denn als „Schwerezentrum“ kam nach Aristoteles nur die Erde infrage, die Gestirne bestanden ja aus schwerelosem Äther. Hören wir uns Kopernikus' Gedankengänge in dieser Frage an:

„*Ich jedenfalls bin der Meinung, Schwere sei nichts anderes als eine Art natürlichen Strebens der Teile, ihnen eingegeben von der göttlichen Vorsehung des Werkmeisters des Alls, dass sie sich zu ihrer Einheit und Ganzheit zusammmentun, indem sie zur Kugelform zusammengehen. Diese Verhaltensweise, so darf man glauben, wohnt auch Sonne, Mond und den Glanzlichtern der übrigen Wandersterne inne.*“

Damit war der Damm gebrochen und Kopernikus konnte in Kapitel 10 die heliozentrische Anordnung der Planeten um die im Zentrum ruhende Sonne darstellen. Dabei zeigte sich, dass die bisher rätselhaft gebliebenen Bewegungsmuster der Planeten mit diesem Aufbau leicht verständlich wurden.

- Zunächst galt es, die **Umlaufzeiten der Planeten** um die Sonne zu bestimmen. Dies sei am Beispiel der Venus dargestellt (siehe Abbildung 18).<sup>53</sup>

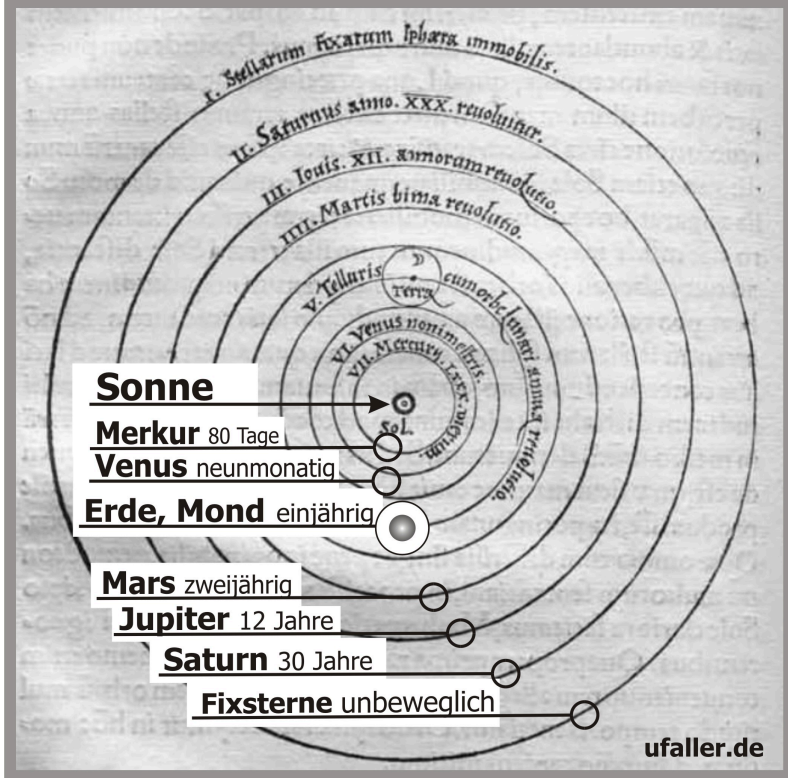


- Von der Erde aus kann man leicht den größten Winkelabstand der Venus von der Sonne bestimmen. Das ist der Punkt, an dem die Venus als Morgen- oder Abendstern am höchsten am Himmel steht. Man nennt diese Positionen die maximale östliche bzw. westliche Elongation. Da die Venus sehr schnell vom Abend- zum Morgenstern wechselt, aber relativ lange für den Wechsel vom Abend- zum Morgenstern benötigt, ist klar, dass sie bei diesem Wechsel zwischen Erde und Sonne vorbeizieht. In der Abbildung ist zu erkennen, dass die Erde zwischen diesen beiden Positionen den Winkel  $\alpha_2$  zurücklegt, während die Venus in der gleichen Zeit den Gesamtwinkel von  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$  durchläuft. Sie ist also schneller als die Erde. Aus dem Zeitabstand zwischen den beiden Beobachtungen lässt

sich  $\alpha_2$  bestimmen. Die Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_3$  ergeben sich durch die Winkelsumme im Dreieck, da man den Winkel der Elongationen direkt messen kann. Schon aus der Abbildung lässt sich abschätzen, dass die Venus für eine vollständige Sonnenumrundung etwa neun Monate benötigt, genau 225 Tage.<sup>54</sup>

- Wie wir in der Abbildung 19 aus „De revolutionibus“ sehen,<sup>55</sup> ordnet Kopernikus die Planeten nach ihrer Umlaufzeit um die Sonne.

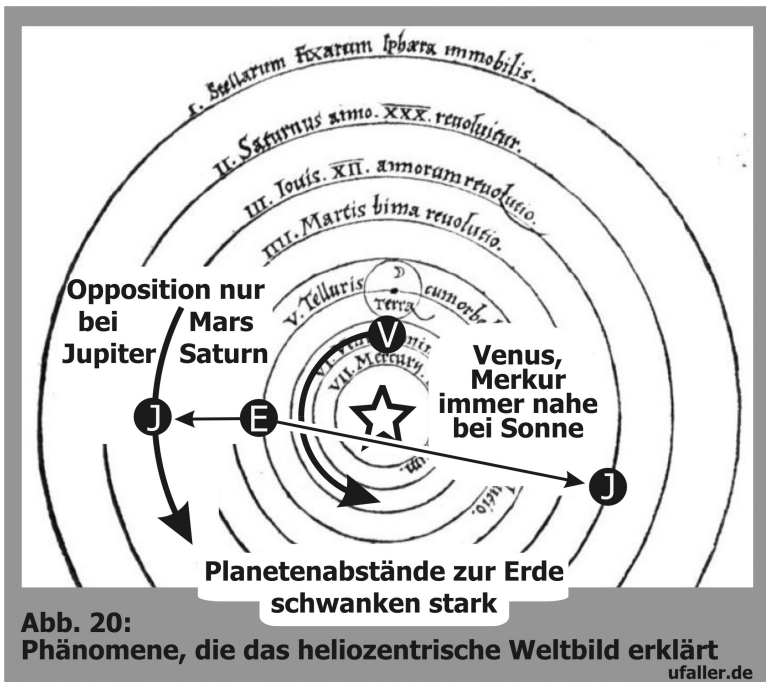
**Abb. 19: Das heliozentrische Weltbild aus „De revolutionibus“**



- Von der Sonne aus gesehen, ergibt sich die **Reihenfolge** Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Im geozentrischen Weltbild ruhte die Erde und der Kosmos war in ständiger Bewegung begriff-

fen. Im heliozentrischen Weltbild ruhen Sonne und Fixsternsphäre, während sich die Erde mit allen bekannten Planeten bewegen.<sup>56</sup> Die Sonne ist damit kein Planet mehr, genauso wie der Mond, wenn man als Planeten nur die Himmelskörper bezeichnet, die die Sonne umrunden. Monde hingegen umrunden Planeten. Die Erde wird zum Planeten, dessen „Wandern“ wir nur indirekt beobachten können. Sie wird zu einem Planeten unter vielen. Aus vormalig sieben (sichtbaren) Planeten wurden im heliozentrischen Weltbild sechs! Erst später entdeckte man weitere Planeten, die für das bloße Auge unsichtbar sind: Uranus, Neptun und Pluto, dem man erst jüngst den Planetenstatus aberkannte. Doch das ist eine andere Geschichte.

- Die **Abfolge der Planeten** erklären unmittelbar die drei offenen Fragen im geozentrischen Weltbild (siehe Abbildung 20).

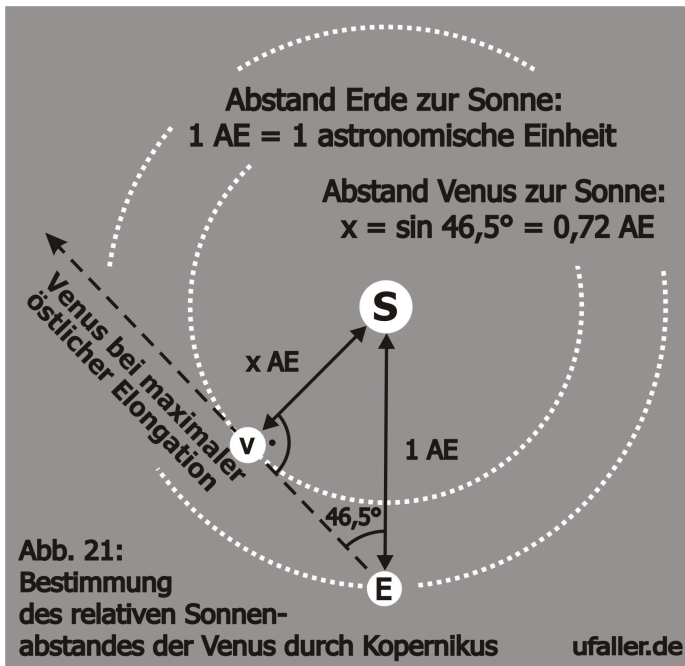


- Nur Mars, Jupiter und Saturn können in Opposition zur Sonne stehen, da nur diese Planeten weiter von der Sonne entfernt sind als



die Erde. Venus und Merkur hingegen bleiben immer in Sonnennähe, da ihre Umlaufbahnen kleiner sind als die der Erde und sie daher „an die Sonne gebunden“ erscheinen. Die erheblich schwankenden Abstände der Planeten von der Erde werden unmittelbar verständlich: Einmal ziehen die Planeten an der Erde vorbei, ein anderes Mal stehen sie hinter der Sonne, sind also weiter entfernt als das Zentralgestirn. Deutlich ist, warum die Planeten immer dann klein und weit entfernt erscheinen, wenn sie auf ihre obere Konjunktion mit der Sonne zuwandern. In dieser Position haben sie ihre entfernteste Position hinter der Sonne. Der Mond hingegen verändert seine Größe und Helligkeit nur unmerklich, nur er bleibt ständig im annähernd gleichen Abstand zur Erde. Nur der Mond kreist nach wie vor um die Erde und mit ihr um die Sonne.

- Mit der heliozentrischen Anordnung der Planeten ist es Kopernikus möglich, eine Vorstellung von den **Abständen der Planeten von der Sonne** zu gewinnen (siehe Abbildung 21).



- Es ist verhältnismäßig leicht, den Winkelabstand der Venus von der Sonne zu messen. Dieser ist genau dann maximal, wenn die Sichtlinie eine Tangente auf den Kreis der Umlaufbahn bildet. Rechtwinklig zur Sichtlinie liegt der Radius der Umlaufbahn. Wir benötigen ein wenig Trigonometrie, um zu sehen, dass der Radius dem Sinus des Elongationswinkels gleichkommt.<sup>57</sup> Kopernikus erhielt auf diese Weise nur den relativen Abstand der Venus und entsprechend den der übrigen ihm bekannten Planeten im Verhältnis zum Abstand der Erde von der Sonne. Offen blieben die absoluten Entfernungen. Damit war der Astronomie ein neues Projekt vorgezeichnet: die Bestimmung des absoluten Erdabstandes. Davon später. Es ist aber schon Kopernikus möglich, die Abstände der Planeten mit dem Abstand der Erde zur Sonne zu vergleichen. Bis heute bildet der Erd-Sonnenabstand eine Grundgröße der Astronomie, die „Astronomische Einheit“.
- Abbildung 22 fasst die **Eigenschaften der Planetenbahnen** zusammen, wie sie sich für Kopernikus ergaben.

**Abb. 22: Bahndaten der sichtbaren Planeten**

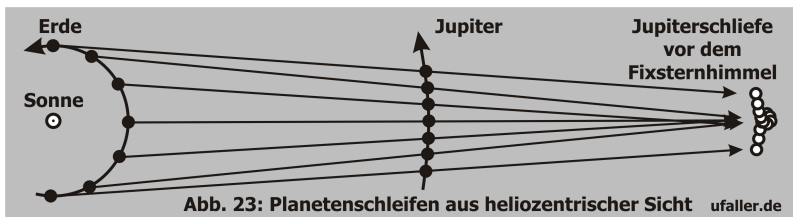
	<b>Abstand Planet- Sonne in AE</b>	<b>Sider- ischer Umlauf</b>	<b>Syno- discher Umlauf in Tagen</b>	<b>Kleinster Erdabstand in AE</b>	<b>Größter Erdabstand in AE</b>
<b>Merkur</b>	<b>0,39</b>	<b>88 Tage</b>	<b>116</b>	<b>0,5</b>	<b>1,5</b>
<b>Venus</b>	<b>0,72</b>	<b>225 Tage</b>	<b>584</b>	<b>0,25</b>	<b>1,75</b>
<b>Erde</b>	<b>1</b>	<b>365 Tage</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Mars</b>	<b>1,5</b>	<b>687 Tage</b>	<b>778</b>	<b>0,4</b>	<b>2,7</b>
<b>Jupiter</b>	<b>5,2</b>	<b>11,9 Jahre</b>	<b>399</b>	<b>3,9</b>	<b>6,5</b>
<b>Saturn</b>	<b>9,6</b>	<b>29,5 Jahre</b>	<b>378</b>	<b>8,0</b>	<b>11,1</b>

ufaller.de

- Der siderische Umlauf gibt die Zeit an, die ein Planet für einen Durchlauf seiner Umlaufbahn benötigt. Der Abstand des Planeten

zur Sonne entspricht dem Radius der kreisförmigen Umlaufbahn; dadurch lässt sich der Umfang der Planetenbahnen und die Geschwindigkeiten der Planetenbewegung berechnen. Es fällt auf, dass die entfernteren Planeten nicht nur deshalb längere Zeit für ihren Umlauf benötigen, weil ihre Bahn größer ist, sondern auch, weil sie sich langsamer bewegen. Der Saturn immerhin fünf Mal langsamer als der Merkur! Dieser Umstand harrt der Klärung, die Newton gelang. Im Überblick werden die erheblichen Schwankungen des Abstandes der Planeten zur Erde deutlich, die im geozentrischen Weltbild unverstanden blieben. Eine weniger beachtete Tatsache findet ebenfalls mit der heliozentrischen Sichtweise eine Erklärung: Wir betrachten die synodischen Umlaufzeiten der Planeten. Sie geben den Zeitraum an, in welchem sich gleiche Planetenstellungen zur Erde wiederholen; beispielsweise den zeitlichen Abstand zwischen zwei Oppositionen. Mars und Venus fallen hierbei durch lange Zeitabstände auf. Im geozentrischen Weltbild war dies ein Grund anzunehmen, dass Venus und Mars die sonnen nächsten Planeten sind. Diese Eigenschaft verlagert sich auf die Erde. Da beide Planeten als erdnächste Planeten mit der Erde mitwandern, verlangsamt sich die Verschiebung der relativen Positionen.

- Das heliozentrische Weltbild überzeugte besonders durch die elegante **Erklärung der Planetenschleifen** von Mars, Jupiter und Saturn. Wir haben gesehen, wie mühsam ihr Zustandekommen mathematisch modelliert werden musste. Heliozentrisch entpuppen sie sich als Scheinbewegungen: Der Beobachter auf der schnelleren Erde überholt diese Planeten sonnenwärts, wie die Abbildung 23 deutlich macht.



- Vor dem entfernten Fixsternhimmel kommt es daher zu einer scheinbaren Schleifenbewegung. Zudem ist ein Umstand unmittelbar verständlich, der aus geozentrischer Sicht unverständlich geblieben ist: Die Planetenschleife beobachten wir immer dann, wenn der Planet in Opposition zur Erde steht. Geozentrisch gibt es hierfür keinen Grund, heliozentrisch kann es nicht anders sein. Denn es handelt sich hierbei nicht um eine Unregelmäßigkeit der Planetenbahnen, sondern um ein scheinbares Phänomen, das sich durch die Oppositionsstellung des Planeten und die schnellere Bewegung der Erde ergibt.<sup>58</sup>

So weit die Vorzüge der heliozentrischen Sichtweise, die 1543 von Kopernikus vorgelegt wurde. Doch die Umdeutung des Kosmos hatte ihren Preis. Und es standen ihr gewichtige Argumente entgegen.

Fundamental ist die Tatsache, dass die Erde ihren einzigartigen Platz im Zentrum des Kosmos verliert. Sie gibt ihre Zentralposition an die Sonne ab. Die Erde selbst wird zum Planeten und damit zu einem Planeten unter vielen. Denn was unterscheidet die Erde noch von Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn außer Äußerlichkeiten wie dem Abstand von der Sonne und der Bahngeschwindigkeit. Wir müssen bedenken, dass über die physische Natur der Planeten im 16. Jahrhundert nichts bekannt war. Es war naheliegend, sich Venus und Mars erdähnlich, also auch belebt und bewohnt, vorzustellen. Von Kopernikus selbst ist ein solcher Gedanke nicht überliefert, er sollte aber mit dem Siegeszug des heliozentrischen Weltbildes bald eine Rolle spielen. Kopernikus macht dem Leser die Zentralstellung der Sonne mit folgenden Worten schmackhaft: *„Inmitten alles dessen aber thront die Sonne. Wer denn wollte in diesem wunderschönen Heiligtum diese Leuchte an einen anderen, besseren Ort setzen als den, von wo aus sie das Ganze gleichzeitig erhellen kann? Zumal doch bestimmte Leute sie durchaus zutreffend ‚Lampe der Welt‘, andere ihren ‚Sinn‘, andere ihren ‚Lenker‘ nennen. [...] So wirklich, wie auf königlichem Thron sitzend, lenkt die Sonne die um sie herum tätige Sternfamilie.“*<sup>59</sup>

Der Kosmos gewinnt eine für menschliche Maßstäbe unermessliche Größe. Auch hier sieht sich Kopernikus genötigt, den Leser zu beruhigen: *„Dass ja vom obersten der Wandersterne, Saturn, bis zur Fixsternschale noch eine riesige Entfernung dazwischenliegt, zeigen deren*

*flackernde Lichter. [...] So groß wahrlich ist dieser göttlich-kunstvolle Bau des Größten Besten.*<sup>60</sup>

Ausgangspunkt für das Begreifen der Welt ist die unmittelbare Erfahrung, die Sichtweise, die uns im alltäglichen Leben leitet. Das Alltagsbewusstsein lässt sich täuschen. Das müssen wir mit dem heliozentrischen Weltbild akzeptieren. Die gedankliche Durchdringung der Erfahrungen lässt uns eine andere Realität erkennen, als die, die wir täglich erleben. Denn diese ist abhängig von der Position, die wir im Naturgeschehen einnehmen. Wir müssen uns vorstellend über uns selbst und unseren Platz in der Welt erheben, um ein realistischeres Bild von der Welt zu erhalten. Die Ruhe, die wir auf unserer Erde erleben, ist eine scheinbare. Ohne es zu bemerken, rasen wir mit einer Geschwindigkeit durch den Kosmos, an die keine irdische Bewegung herankommt.

Ein schwerwiegendes Problem tat sich mit Kopernikus' Werk auf. Denn die heliozentrische Beschreibung des Kosmos stellte das seit Aristoteles gewohnte Naturverständnis infrage. Vordem hatte man „nur“ das Problem, dass sich die mathematische und die physikalische Beschreibung nicht deckten. Nun spielte sich die irdische Physik der Vergänglichkeit auf einem Planeten ab, der sich zugleich nach kosmischer Physik gleichförmig in idealen Kreisbahnen um die Sonne bewegt. Kopernikus' Leistung bestand darin, die Beschreibung des Kosmos auf das Zentrum der Sonne hin umzustülpen. Physikalisch und mathematisch blieb er bei der tradierten Trennung zwischen Himmels- und Erdenphysik. Die physikalische Widersprüchlichkeit löste er nicht auf. Sein mathematisches Glanzstück bestand darin, den heliozentrischen Kosmos mit dem gleichen Instrumentarium von Deferenten und Epizykeln zu beschreiben wie vormalig den geozentrischen. Die auf den ersten Teil folgenden fünf Teile sind dieser Aufgabe gewidmet und stellen ein mathematisch-geometrisches Meisterwerk dar.

Damit blieb „De revolutionibus“ kein spekulatives Werk, sondern bot ein Rechenwerk, um heliozentrisch Planetenörter bestimmen zu können. Wenige Jahre nach dem Druck des Werkes und dem Tod Nikolaus Kopernikus' leistete dies der Astronom und Mathematiker Erasmus Reinhold (1511–1553), der an der Universität zu Wittenberg lehrte, unterstützt vom preußischen Herzog Albrecht. Er berechnete die Standorte der Planeten neu und gab sie als preußische (prutenische)

Tafeln heraus. Sie lösten die Alfonsinischen Tafeln ab, da sie genauer waren. Allerdings lag dies mehr an neueren Ausgangsdaten für die Berechnung als daran, dass der kopernikanische Ansatz zu genaueren Positionen führte. Die Tafeln fanden breite Anwendung in der Seefahrt, bei den Astrologen und nicht zuletzt bei der Vorbereitung der Kalenderreform, die 1582 unter Papst Gregor XIII. stattfand. Dies machte Kopernikus' Werk weithin bekannt, ohne dass sofort die Tragweite des heliozentrischen Weltbildes erkannt und diskutiert worden wäre.

Erst Jahrzehnte später wurde die heliozentrische Vorstellung als Angriff auf die christliche Vorstellungswelt verstanden. Nicht zuletzt, weil Tycho Brahe, Johannes Kepler und Galileo Galilei das heliozentrische Weltbild fundierten und dabei Wegbereiter der sich neu etablierenden Naturwissenschaft wurden. Giordano Bruno erweiterte den Heliozentrismus zur Vorstellung eines unendlich großen Universums und spekulierte, dass es unzählige der unsrigen ähnliche Welten geben müsste. So kam es, dass die heilige Inquisition im Jahr 1616 im Zusammenhang mit dem Prozess um Galileo Galilei „De revolutionibus“ auf den Index der verbotenen Bücher setzte, auf dem es über 200 Jahre (bis 1822) verblieb.

Von den ursprünglich 400 bis 500 Bänden der Erstausgabe sind noch etwa 270 erhalten, von denen einer 2008 für 2,2 Mio. US-Dollar versteigert wurde. Er zählt damit heute materiell zu den teuersten und wertvollsten Büchern, ideell steht er für ein Werk, das einen ersten gedanklichen Impuls setzte, der von der christlich-geozentrischen Kosmologie zur naturwissenschaftlichen Vorstellung vom Universum führte. Damit kann man sagen, dass Kopernikus die nach ihm benannte Wende anstieß, keineswegs aber der große Revolutionär war, als der er oftmals hingestellt wurde.

## Tycho Brahe – der Empiriker

Der 27-jährige dänische Adlige und leidenschaftliche Astronom Tycho Brahe veröffentlichte 1573 folgende Beobachtung:

*„Im vorigen Jahr, am 11. November abends nach Sonnenuntergang, als ich nach meiner Gewohnheit die Sterne am klaren Himmel betrachtete, sah ich einen neuen und ungewöhnlichen Stern neben meinem Kopf leuchten; und*

*da ich, beinahe seit meiner Kindheit, alle Sternbilder völlig kenne und überzeugt war, dass kein Stern vorher jemals an diesem Ort gewesen sei, auch kein sehr kleiner, sicherlich kein so heller Stern, war ich über diese Sache so verwundert, dass ich mich nicht scheute, an meinen Beobachtungen zu zweifeln. Aber als ich feststellte, dass andere am gleichen Ort den Stern sahen, konnte ich nicht mehr zweifeln.*

*Ohne Zweifel ein Wunder, [...] dem Wunder vergleichbar, das auf Bitten Joshuas im Zurückwandern der Sonne geschah [...] wie die Bibel berichtet. Denn alle Philosophen stimmen darin überein, und die Tatsachen beweisen es, dass im Ätherbereich der Himmelswelt keine Änderung, sei es Entstehung oder Zerstörung, eintreten kann.*<sup>61</sup>

Tycho erkannte sofort, welche Bedeutung dieser „neue Stern“, die „Stella Nova“, hatte. Ein neu entstehendes Himmelsobjekt konnte nach Aristoteles nur in der sublunaren Sphäre zu finden sein. Um dies zu prüfen, führte Tycho eine Parallaxenmessung durch (siehe unten), indem er den Winkel zu den Sternen der Kassiopeia maß. Bei einem Kometen müssten diese Winkel zwischen Abend und Morgen schwanken, da Kometen nach aristotelischer Auffassung der Erde näher stehen als der Mond. Dem war nicht so. Der neue Stern war Teil der Fixsternsphäre. Tycho schreibt:

*„Falls nicht jemand glauben will, dass die Kometen nicht in der Luft, sondern im Himmel entstünden, [...] ob dies wirklich geschehen könne, steht uns noch nicht fest. Aber wenn mit Gottes Willen in unserer Zeit ein Komet erscheinen sollte, so werden wir darüber Gewissheit zu erringen suchen.“*<sup>62</sup>

Den dänischen König Friedrich II. faszinierte die Entdeckung des neuen Sternes so, dass er Tycho die Insel Ven im Öresund als Lehen gab und mit einem beachtlichen Budget die Einrichtung des ersten Forschungszentrums Europas, der Uraniborg, finanzierte. Tycho leitete es über zwei Jahrzehnte. In dieser Zeit wurde der Nachthimmel systematisch erfasst und mit einer bis dahin nie erreichten Genauigkeit vermessen. 1577 ging Tychos Wunsch in Erfüllung, und es erschien ein Komet: Die Parallaxenmessung ergab, dass es sich nicht um ein Phänomen der Atmosphäre, sondern um ein astronomisches Phänomen jenseits der Mondbahn handelte. Die Konsequenz dieser Beobachtung formuliert Tycho mit folgenden Worten:

*„Deshalb kann die aristotelische Philosophie hierin nicht richtig sein, die lehrt, dass am Himmel nichts Neues könnte entstehen und dass alle Kometen im oberen Teil der Luft sich befänden.“*<sup>63</sup>

Der Komet beweist etwas Weiteres: Jenseits des Mondes kann es keine unsichtbaren Kristallsphären geben; abgesehen von den Gestirnen ist jenseits des Mondes einfach nur RAUM.

Mit Tychos Forschungen ist methodisch ein wichtiger Schritt getan. Nicht die wissenschaftliche Autorität, verbunden mit einer jahrhundertealten Denktradition, entscheiden über die Realität eines Weltbildes, sondern die Beobachtung, die Empirie. Ein Weltbild, das sich in der Erfahrung nicht bestätigt, ist falsch.

Tycho beginnt zu zweifeln, ob die grundlegende Trennung des Kosmos in zwei Bereiche der Realität entspricht, in denen unterschiedliche Gesetze gelten. Ist der translunare Himmel ein Bereich des Ewigen, Idealen und Unvergänglichen. Oder unterliegen Erde und Himmel den gleichen physikalischen Gesetzen? Programmatisch lässt Tycho dieses Konzept ins Portal der Forschungsstation Uraniborg eingravieren mit den sonst unverständlichen Worten:

*„Wenn ich nach oben schaue, sehe ich nach unten und wenn ich nach unten schaue, sehe ich nach oben.“<sup>64</sup>*

In den Jahrzehnten der Forschertätigkeit in Uraniborg wollte Tycho Brahe die heliozentrische Kosmologie durch Messungen bestätigen. Wenn die Erde um die Sonne kreist, so blicken wir im Halbjahresabstand aus zwei entfernten Positionen auf die Fixsternsphäre. Ihre Entfernung beträgt den doppelten Abstand der Erde von der Sonne. Selbst wenn die Fixsternsphäre sehr weit entfernt sein sollte, müsste dies einen veränderten Blick auf die Anordnung der Fixsterne ergeben. Man müsste zwischen zwei Fixsternen nach einem halben Jahr Winkelveränderungen messen können, wie die Abbildung 24 zur Parallaxe zeigt.

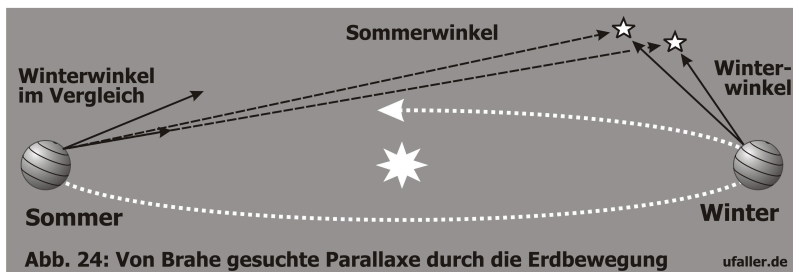


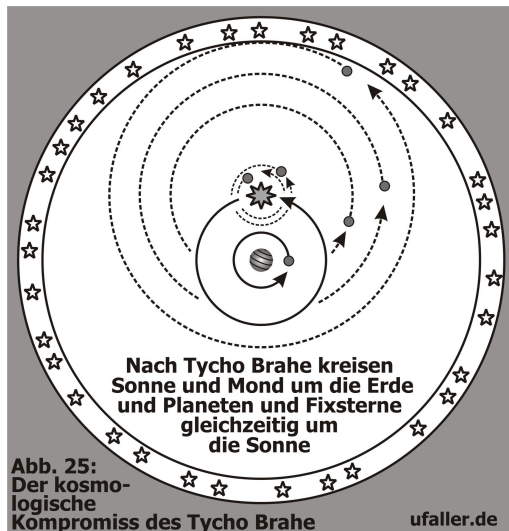
Abb. 24: Von Brahe gesuchte Parallaxe durch die Erdbewegung

ufaller.de



Bei aller Sorgfalt der Messungen – diese „Sternparallaxe“ konnte Brahe nicht finden. Obwohl sie existiert. Sie wurde mit verbesserten Messinstrumenten erstmals 1838 vom deutschen Astronomen Friedrich Wilhelm Bessel an einem der erdnächsten Sterne gemessen. Die zu Brahes Zeiten nicht vorstellbare Entfernung der Fixsterne macht die Winkelunterschiede aber so klein, dass sie mit Messinstrumenten ohne optische Unterstützung nicht nachweisbar waren.

Brahe dachte naturwissenschaftlich und damit als konsequenter Empiriker. Wenn eine Erdbewegung um die Sonne messtechnisch nicht nachweisbar ist, so müssen wir davon ausgehen, dass sie nicht existiert. So kommt es, dass Tycho Brahe ein eigenes, „tychonisches“ Weltmodell entwickelte. Nach ihm ruhte die Erde in der Weltmitte, umkreist von Sonne und Mond. Die anderen Planeten hingegen umkreisen die Sonne und mit ihr gemeinsam die Erde, wie die Abbildung 25 zeigt.



Sein System stellt einen Kompromiss zwischen dem geozentrischen und dem kopernikanischen Bewegungsbild dar und erklärt sowohl die Planetenschleifen als auch die Sonnenbindung von Merkur und Venus. Es überzeugte zu Tychos Zeiten schon deshalb, weil man keinen physi-

kalischen Grund angeben konnte, aus dem die Erde als Schwerezentrum um die Sonne kreisen sollte, der man schwerelose Äthernatur zusprach.

Nach dem Tod seines Gönners Friedrich II. verhärteten sich die religionspolitischen Positionen. Freies Forschen wurde in Dänemark unmöglich. So befand sich Tycho ab 1597 mit all seinen Messgeräten auf der Suche nach einer liberaleren Umgebung für seine Forschungen. Er fand sie 1599 in Prag, wo er Hofastronom unter Rudolf II. wurde und auf einen der bedeutendsten Mathematiker seiner Zeit traf, auf Johannes Kepler.

## **Johannes Kepler, der Mathematiker, der von einer neuen Mystik träumt**

Tycho Brahe war Empiriker, das mathematische Handwerk überließ er anderen. Das Schicksal wollte es, dass er mit einem der größten Mathematiker seiner Zeit zusammentraf, der kein beobachtender Astronom sein konnte, da eine Pockenerkrankung im frühen Kindesalter seine Augen in Mitleidenschaft gezogen hatten: Johannes Kepler (1571–1630).

Johannes Kepler wuchs im Herzogtum Württemberg auf und studierte in Tübingen, wie damals üblich, zunächst an der Artistenfakultät. Hier war der Astronom und protestantische Theologe Michael Mästlin sein Lehrer, einer der frühesten Anhänger des kopernikanischen Weltbildes. Mästlin war begeistert von seinem Schüler und stand ihm ein Leben lang fördernd und freundschaftlich zur Seite. Er erweckte Keplers Begeisterung für das heliozentrische Weltbild. Wie bei seinem Lehrer schlug Keplers Herz nicht nur für die Mathematik, sondern auch für den Glauben. So studierte er protestantische Theologie, hatte aber nie die Gelegenheit, einen geistlichen Beruf auszuüben. Im Vorfeld des Dreißigjährigen Krieges, im Hin und Her von Reformation und Gegenreformation, wurde für Kepler sein reformiertes Bekenntnis einmal zum Empfehlungsschreiben, ein anderes Mal zur Bürde. Sein Beitrag zur kopernikanischen Wende vollzog sich unbemerkt von der Öffentlichkeit in den einsamen Nächten des Forschers, der Seite um Seite mit Zahlenoperationen füllten. Selbst der etwas ältere Galileo Galilei, mit dem er in Briefkontakt stand, erkannte die Bedeutung seiner

Leistungen nicht. Nach seinem Studium führte Keplers Lebensweg nach Graz, wo er einen Lehrauftrag für Mathematik an der evangelischen Stiftsschule erhielt.

Mathematik war für Kepler nicht ein Handwerk nüchterner Berechnung, sondern, wie schon bei den Pythagoreern der Antike, Ausdruck von Harmonie, Gesetzmäßigkeit, ja Musik. Für den jungen Kepler war es zu wenig, Gestirnsbewegungen kreis- und gleichförmig zu beschreiben, es gab wesentlich kompliziertere ideale Formen. Und er hatte das Talent, diese auch zu berechnen. Als überzeugter Kopernikaner trieben ihn folgende Fragen um:

- Warum gibt es nur die sechs Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn?
- Warum sind sie in den vorgefundenen Entfernungen von der Sonne angeordnet?
- Warum haben sie die gemessenen Geschwindigkeiten?

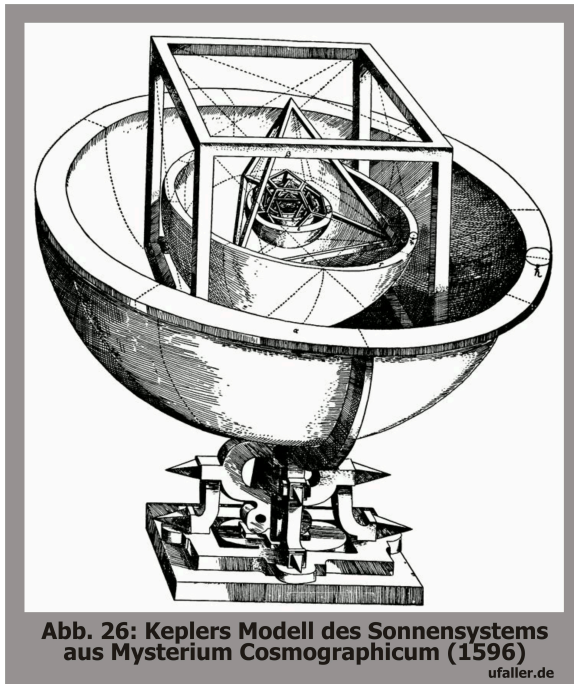
Zur Zeit Keplers waren alle drei Fragen gleichermaßen berechtigt, auch wenn aus heutiger Sicht nur die Letzte weiterführte. Denn die Abstände unserer Planeten erscheinen uns heute zufällig. Kepler dachte anders:

*„Wenn nun Gott bei den Bahnen [der Planeten] die Bewegungen den Entfernungen angepasst hat, so muss er sicher auch die Entfernungen irgendeinem anderen Dinge angepasst haben.“<sup>65</sup>*

Hier suchte er nach idealen, harmonischen Beziehungen. Während einer Vorlesung über Planetenkonjunktionen im Juli 1595 hatte er eine Intuition, die er 1596 zu seinem Erstlingswerk „Mysterium Cosmographicum“ ausarbeitete. Er schreibt:

*„Die Erde ist das Maß für alle anderen Bahnen. Sie umschreibe ein Dodekaeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Mars. Der Marsbahn umschreibe ein Tetraeder; die dieses umschreibende Sphäre ist der Jupiter. Der Jupiter Bahn umschreibe einen Würfel; die diesen um spannende Sphäre ist die des Saturn. Nun lege in die Erdbahn ein Ikosaeder; die diesem eingeschriebene Sphäre ist die Venus. In die Venusbahn lege ein Oktaeder, die diesem eingeschriebene Sphäre ist der Merkur. Da hast du den Grund für die Anzahl von Planeten.“<sup>66</sup>*

Kepler erklärte Anzahl und Abstand der Planeten dadurch, dass zwischen ihren Bahnen die platonischen Körper Platz finden (Abbildung 26<sup>67</sup>).



In den Zahlenverhältnissen dieser Körper entdeckt er Harmonien, eine kosmische Sphärenmusik. Aus heutiger Sicht ist das geometrische Fantasie. Schon deshalb, weil wir jenseits des mit bloßem Auge sichtbaren Sonnensystems weitere Planeten kennen und immer mehr Sonnen entdecken, um die Planeten in ganz anderen Abständen kreisen. Kepler war überzeugt, Gottes Weltenplan entdeckt zu haben. Rückblickend schrieb er 1619: *„Ich habe die Herrlichkeit Deiner Werke den Menschen [...] geoffenbart, so viel von ihrem unendlichen Reichtum mein enger Verstand hat erfassen können.“*<sup>68</sup>

Die Suche nach mathematisch-geometrischer Harmonie war Kepler Schaffensmotor. Fast nebenbei hat er die Gesetze entdeckt, für die er heute berühmt ist. Doch vorher musste er mit dem „Mars kämpfen“, wie er sich ausdrückte.

Die zunehmenden Glaubenskonflikte ließen Orte, an denen wissenschaftliche Forschung stattfinden konnte, rar werden. So kam es, dass Kepler wenige Jahre nach der Veröffentlichung seines „Mysterium

Cosmographicum“ aus Graz fliehen musste. Tycho Brahe war aber auf Kepler aufmerksam geworden, bestellte ihn nach Prag und machte ihn zu seinem Assistenten mit der Aufgabe, seinen kosmologischen Kompromiss mathematisch zu fundieren. Doch am 13. Oktober 1601 starb Brahe, vermutlich an einer schweren Blasenentzündung. So wurde Kepler kaiserlicher Hofmathematiker, der er bis 1612 blieb.

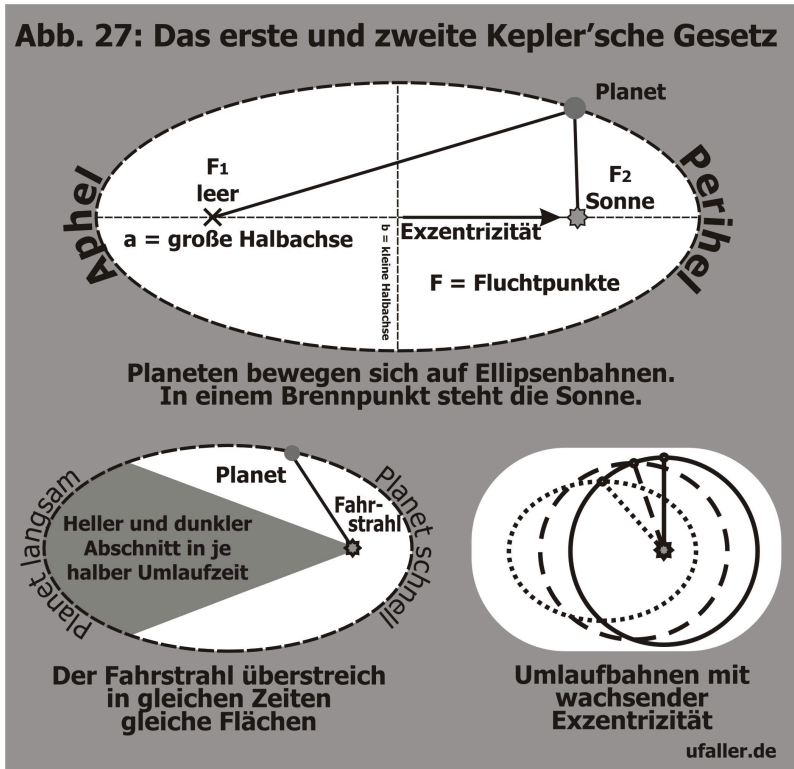
Eine seiner Aufgaben, die er erst kurz vor seinem Tod im Jahr 1627 abschließen sollte, war die Erstellung neuer Planetentabellen, der sogenannten „Rudolfinischen Tafeln“. Als Grundlage für diese Arbeit benutzte er die Beobachtungen Tycho Brahes. Diese Beobachtungen waren ein Schatz, wenn man bedenkt, dass bisherige Positionsbeobachtungen der Planeten auf wenigen Seiten hätten Platz finden können. Tycho Brahes Beobachtungen füllten Bücher. Die Genauigkeit dieser Beobachtungen, welche die einzigen und letzten sind, die in diesem Umfang vor Erfindung des Fernrohrs gemacht wurden, betrug zwei Bogenminuten, das ist der 15. Teil des Vollmonddurchmessers. Kepler vertraute auf die Genauigkeit der Messungen, fühlte sich nach dem Tod Tychos aber nicht mehr dem tychonischen Weltbild verpflichtet und konnte sie so benutzen, um das heliozentrische Weltbild mit der mathematischen Berechnung in Einklang zu bringen.

Weil Kopernikus nur wenig Beobachtungsmaterial vorlag, konnte ihm nicht auffallen, dass die ptolemäische Mathematik mit Epizykel und Deferent vor allem bei der Marsbahn in bestimmten Bahnabschnitten zu einer Ungenauigkeit von 8 Bogenminuten, also einem viertel Vollmondkreis, führte. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Marsbahn von den sichtbaren Planeten die größte Abweichung von der Kreisbahn aufweist, die größte Exzentrizität. 1609 schreibt Kepler in seinem Werk „Astronomia Nova“:

*„Diese 8 Minuten allein haben also den Weg gewiesen zu Erneuerung der ganzen Astronomie; sie sind der Baustoff für einen großen Teil dieses Werkes geworden.“*

Was musste Kepler leisten, um diese winzige Abweichung der beobachteten Positionen des Mars von den nach alter Manier berechneten Positionen unter die Messgenauigkeit von zwei Bogenminuten zu bekommen? Er musste mit der zweitausendjährigen Denktradition brechen, nach der sich die Planeten in Kreisen und gleichförmig bewegen!

So lauten die ersten zwei Gesetze, die er in seiner „Astronomia Nova“ 1609 veröffentlichte: (Abbildung 27)



„1. Gesetz: Die Umlaufbahn jedes Planeten ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.“

„2. Gesetz: Während ein Planet sich auf seiner Umlaufbahn bewegt, überstreicht die Verbindungslinie zwischen Sonne und Planet in gleichen Zeiten stets die gleiche Fläche.“

Das bedeutet, dass sich die Planeten in Sonnennähe (Perihel) schneller, in Sonnenferne (Ahel) langsamer bewegen.

Welch ein Paradigmenwechsel der Astronomie! Und das nur, weil die beobachtbaren Positionen der Planeten um Bruchteile eines Grades von der berechneten Position abwichen.

Dass aus Kreisen Ellipsen werden, mag als kleiner Schritt erscheinen, schwerer wiegt der methodische Wechsel: Vormalig gaben große Gedanken, von ehrenwerten Denkern vorgetragen, das entscheidende Gewicht im Urteil über Wahrheit oder Unwahrheit einer Erkenntnis. Für Kepler ist die Beobachtung der letztgültige Richter und die mathematische Berechnung die zu prüfende Theorie.

Das muss man bedenken, will man Keplers Leistung würdigen. Es ist verständlich, dass Kepler die Nächte, die er für die Suche nach einer mathematischen Lösung für die Marsbahn verbrachte, als Kampf bezeichnet. Kepler selbst ahnte den Konflikt, der sich durch diesen Methodenwechsel auftut. So schreibt er:

*„In der Theologie gilt das Gewicht der Autoritäten, in der Philosophie aber das der Vernunftgründe. Heilig ist nun zwar Laktanz, der die Kugelgestalt der Erde leugnete, heilig Augustinus, der die Kugelgestalt zugab, aber Antipoden leugnete, heilig das Offizium unserer Tage, dass die Kleinheit der Erde zugibt, aber ihre Bewegung leugnet. Aber heiliger ist mir die Wahrheit, wenn ich, bei aller Ehrfurcht vor den Kirchenlehrern, aus der Philosophie beweise, dass die Erde rund, rings um von Antipoden bewohnt, ganz unbedeutend und klein ist und auch durch die Gestirne hin eilt.“<sup>69</sup>*

Mit dem Primat der Vernunft über den Glauben ist die entscheidende Weichenstellung bezeichnet, die die kopernikanische Wende methodisch ausmacht. Hier trennt sich die Theologie mit ihrem Glaubensprimat von der Philosophie und Naturwissenschaft. Der unvermeidliche Konflikt wird schon wenige Jahre später deutlich.

Doch muss zuerst Keplers dritte Leistung gewürdigt werden, auf die Newton später aufbauen sollte: die Antwort Keplers auf die Frage, warum die Planeten die gemessenen Geschwindigkeiten haben. Nebenstehende Tabelle zeigt den Abstand der Planeten zur Sonne und ihre Geschwindigkeiten. Da der genaue Wert der Astronomischen Einheit nicht bekannt war, konnte Kepler nur die Relativabstände in Astronomischen Einheiten angeben (1 AE = Abstand Erde–Sonne) und die Umlaufperiode des Planeten bestimmen. Es stellte sich heraus, dass Planeten, die weiter von der Sonne entfernt sind, das Zentralgestirn in geringerer Geschwindigkeit umkreisen als nähere. Und das in einer präzisen mathematischen Beziehung: Das Quadrat der Umlaufperiode  $T$  in Jahren ist der dritten Potenz der Entfernung  $d$  in Astronomischen Einheiten gleich (Entfernung = große Halbachse der Ellipse) (Abbildung 28):

Abb. 28: Das dritte Keplersche Gesetz und seine Konsequenzen

	Siderische Umlaufzeit T in Jahren	Große Halbachse der Planetenbahn d in astronomischen Einheiten (AE)	T <sup>2</sup>		d <sup>3</sup>	Umfang der Planetenbahn (Näherung: Kreisbahn)	Umlauf- geschwindigkeit (Näherung: Kreisbahn) in AE pro Jahr
Merkur	0,241	0,387		0,058	0,058	2,4	10,1
Venus	0,615	0,723		0,378	0,378	4,5	7,4
Erde	1	1,000		1,000	1,000	6,3	6,3
Mars	1,881	1,524		3,538	3,539	9,6	5,1
Jupiter	11,863	5,203		140,731	140,851	32,7	2,7
Saturn	29,458	9,555		867,774	872,353	60,0	2,0
Da $T^2 = d^3$ kann man die große Halbachse errechnen wenn man die Umlaufzeit gemessen hat und umgekehrt			"Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer großen Halbachsen"		Die Umlaufgeschwindigkeit eines Planeten hängt nur von der großen Halbachse ab: Sie nimmt mit der Entfernung von der Sonne ab ohne je Null zu werden.		

ufaller.de

$$T^2 = d^3$$
  
(Umlaufperiode in Jahren)<sup>2</sup> = (Abstand des Planeten in Astronomischen Einheiten)<sup>3</sup>

Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachse ihrer elliptischen Umlaufbah-



nen um die Sonne. Jeder Planet bewegt sich bei einem bestimmten Abstand zur Sonne nur in einer naturgesetzlich vorgegebenen und damit berechenbaren Geschwindigkeit, unabhängig von weiteren physikalischen Eigenschaften wie bspw. der Masse der Planeten. Für die astronomische Praxis heißt dies: Kenne ich die Umlaufzeiten, kann ich den Abstand des Planeten von der Sonne berechnen und umgekehrt.

Diese Beziehung geht als drittes Kepler'sches Gesetz in die Wissenschaftsgeschichte ein. 1619 veröffentlicht Kepler sein drittes Gesetz in dem Werk „Weltharmonik“, das seine kosmische Zahlenmystik als planetarische Symphonie darstellt. Erst kurz vor der Drucklegung erkennt er diesen Zusammenhang und erlebt ihn als Krönung seiner Harmonik des Planetensystems, entspricht doch das Zahlenverhältnis zwei zu drei auf der pythagoreischen Tonskala der Quinte. Seine tiefe Befriedigung über seine Entdeckung fasst Kepler in folgende Worte:

*„Das habe ich endlich ans Licht gebracht und über alle Erwartung für wahr befunden, dass all die Harmonie [...] unter den himmlischen Bewegungen vorhanden ist, obschon nicht ganz so, wie ich anfänglich dachte, sondern (und das ist nicht meine geringste Freude) etwas anders, aber zugleich schöner und vortrefflicher.“*

Kepler blieb nicht bei der Formulierung mathematischer Beschreibungen der Planetenbahnen, sondern spekulierte über die Ursachen der abnehmenden Planetengeschwindigkeiten:

*„Wenn also durch eine Vergrößerung des Abstandes des Weltmittelpunktes vom Planetenkörper die Bewegung des Planeten langsamer und durch eine Verminderung schneller gemacht wird, so muss notwendig die Quelle der bewegenden Kraft in jenem Punkt liegen, den wir als Weltmittelpunkt angenommen haben.“<sup>70</sup>*

Er brachte die Kraftquelle also mit der Sonne in Verbindung, stellte sich die gesuchte Kraft als magnetische Wirkung vor, die den Planeten anschiebt und mit der Entfernung zur Sonne abnimmt, da der Hebel bei größerer Entfernung immer länger wird.

So sehr sich Johannes Kepler für die von ihm entdeckten Weltgeheimnisse entflammen konnte, so schwer gestaltete sich sein Lebensweg. Keplers erste Frau Barbara starb an Fleckenfieber. Wenige Jahre später heiratet er Susanna Reittinger, mit der er sechs Kinder bekommt, von denen allerdings nur eines überlebt. 1615 erfährt er, dass seine Mutter wegen Hexerei angeklagt wurde und ihr damit der Scheiterhau-

fen droht, was ihm selber die Reputation kosten könnte. Er tut alles, um sie aus den Hexenmühlen zu befreien. 1621 mit Erfolg. Seine Mutter starb aber wenig später an den Folgen der Folter. Immer wieder verfolgen ihn die politischen und religiösen Wirren seiner Zeit, die im Ausbruch des Dreißigjährigen Krieges gipfelten. Bis 1627 lebte er in Linz, wo er seine Weltharmonik veröffentlichte. Zwischen 1618 und 1621 erscheint ein „Abriss der kopernikanischen Astronomie“ (*Epitome astronomiae copernicanae*), eine systematische Zusammenfassung des kopernikanischen Weltbildes, erweitert durch seine eigenen Erkenntnisse. Es stellt das erste Lehrbuch des neuen heliozentrischen Weltbildes dar, in dem er seine Aussagen mit physikalischen und philosophischen Argumenten, aber auch mit theologischen und musikalischen Argumenten stützt. Mit den 1627 gedruckten Rudolfinischen Tafeln rundet er sein Werk ab. Sie wurden schnell das Standardwerk für Astronomen und Astrologen, für Seefahrer und Entdecker, da sie in bisher unbekannter Genauigkeit die Planetenörter und damit beispielsweise die Position eines Beobachters bestimmen ließen.

Man mag in der Tatsache eine gewisse geistige Tragik erkennen, dass die nach Kepler benannten Gesetze aus seiner eigenen Sicht nur einen kleinen Teil seiner Zahlenmystik darstellten, die Kepler selbst zeit seines Lebens beseelte. Aus heutiger Sicht erscheint diese Mystik absurd. Man darf aber nicht verkennen, dass durch Keplers Mathematik der Kosmos mit mathematischen Mitteln in einer Genauigkeit und – relativen – Einfachheit beschreibbar wird. Und das mit bisher nicht erreichter Präzision, die Kepler selbst in seinen Rudolfinischen Tafeln vorführte. Offensichtlich kann man mit mathematischen Mitteln Gesetzmäßigkeiten erfassen, die die Naturvorgänge bestimmen. Damit wird Mathematik zum wesentlichen Teil der Naturerkenntnis. Auch ohne darin Sphärenmusik zu hören, hat die mathematische Dimension der Natur bis heute für den Naturforscher nichts an Faszination verloren.

In seinen physikalischen Forschungen setzt Galileo Galilei dieses neue Programm konsequent um. In seiner Schrift „Saggiatore“ beschreibt er es 1623 mit folgenden berühmt gewordenen Worten:

*„Die Philosophie ist geschrieben in jenem großen Buche, das immer vor unseren Augen liegt; aber wir können es nicht verstehen, wenn wir nicht zuerst die Sprache und die Zeichen lernen, in denen es geschrieben ist. Diese Spra-*

*che ist Mathematik, und die Zeichen sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren.*<sup>71</sup>

Somit lebte das Gespann Brahe-Kepler vor, was kurze Zeit später Programm der Naturwissenschaften wird: Naturerkenntnisse gewinnt man einerseits durch Empirie, durch Beobachtung, die später zunehmend durch Instrumente gestützt und erweitert wird; andererseits durch die mathematische Beschreibung des Wäg- und Messbaren. Die mathematische Beschreibung aber muss sich am Prüfstein der Beobachtung bewähren. Tut sie das, ist sie in dem Sinne wahr, dass sie mindestens einen Teilbereich der Wirklichkeit beschreibt, tut sie es nicht, muss sie überarbeitet oder verworfen werden. Die Vereinbarkeit oder Unvereinbarkeit mit heiligen Schriften oder charismatischen Vordenkern mag einzelne Forscher weiterhin beflügeln, ein abschließendes Wahrheits-Kriterium ist sie nicht mehr. Dieses „Primat der Vernunft vor dem Glauben“, das in der kopernikanischen Wende eingeleitet wurde, wird ein zentrales Motiv der Aufklärung, inspiriert durch die Erkenntnisse der sich nun entwickelnden Naturwissenschaft.

## Galileo Galilei

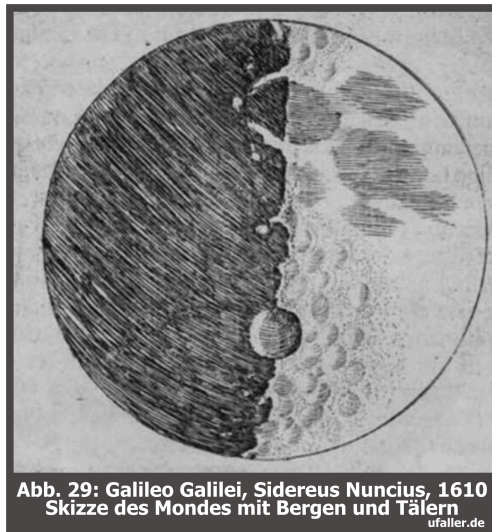
*„Vor ungefähr zehn Monaten kam uns das Gerücht zu Ohren, von einem Mann aus Flandern sei ein Sehglas konstruiert worden, mit dessen Hilfe man sichtbare Gegenstände, auch wenn sie ziemlich weit vom Auge des Betrachters entfernt sind, so klar sehe, als seien sie in der Nähe; [...] das war schließlich der Anlass, dass ich mich ganz dem Erforschen der Grundlagen zuwandte, durch die ich zur Erfindung eines ähnlichen Instrumentes gelangen konnte, welche mir wenig später [...] gelang.“*<sup>72</sup>

Diese Zeilen schrieb Galileo Galilei in seinem „Sternenboten“, dem 1610 erschienenen Sidereus Nuncius. Der zu dieser Zeit 46-jährige Galileo war Professor für Mathematik und Physik in Padua und hatte sich bis dahin, obgleich Kopernikaner, nur am Rande mit Astronomie beschäftigt. Er hatte das Teleskop nicht erfunden. Diese Leistung wird dem niederländischen Brillenmacher Hans Lipperhey zugeschrieben. Galileis Beitrag bestand darin, die Bedeutung des Teleskops für die Astronomie zu erkennen, es für die astronomische Beobachtung zu optimieren und eine erste Sichtung des Himmels vorzunehmen.

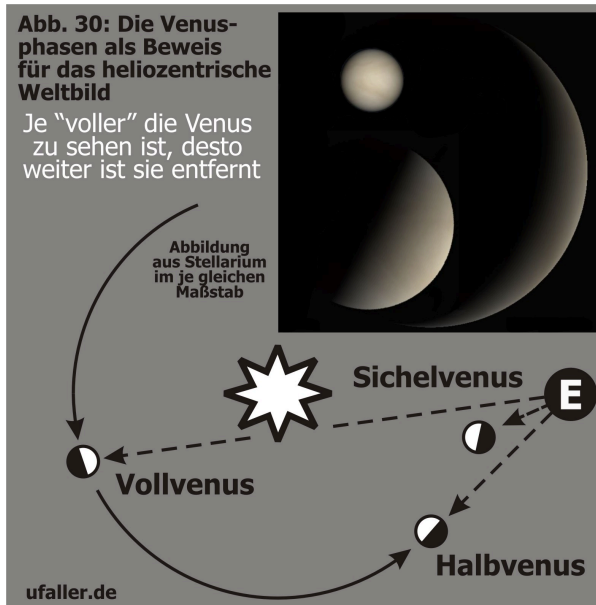
Fragen, über die bis dahin nur spekuliert werden konnte, waren von jetzt an der Erfahrung zugänglich. Das Vergrößerungsrohr Galileis entsprach in etwa der Leistungsfähigkeit eines stärkeren Fernglases. Trotzdem ermöglichte es Erkenntnisse, die Jahrhunderte währende Streitgespräche um die Gültigkeit der aristotelischen Physik und Kosmologie auf einen Streich entschieden. Bis dato war es um die Auseinandersetzung mit Kopernikus' Weltbild ruhig geblieben. Man konnte es, dem Vorwort des Osiander gemäß, als Spekulation einstufen. Mit dem Teleskop gab es neue „Fenster in den Kosmos“, um Kopernikus' Gedanken zu überprüfen und empirische Belege für den Heliozentrismus zu finden. Der Sidereus Nuncius stieß die weltanschauliche Auseinandersetzung um die kopernikanische Kosmologie an. Es dauerte nur wenige Jahre, bis „de revolutionibus“ auf den Index der verbotenen Bücher der katholischen Glaubenskongregation gelangte, aus der es erst 1822 gestrichen wurde. Es durfte nur in einer Bearbeitung gelesen werden, die den hypothetischen Charakter des heliozentrischen Weltbildes betont.

Folgende Details ließen sich nicht mit dem aristotelischen Geozentrismus vereinbaren:

- *„Am vierten oder fünften Tag nach der Konjunktion, wenn der Mond sich uns mit strahlenden Hörnern zeigt, verläuft die Grenze [zwischen beleuchteter und unbeleuchteter Seite des Mondes], die den dunklen Rand vom hellen trennt, nicht als gleichmäßige, ovale Linie, wie es bei einem vollkommenen kugelförmigen Körper wäre, sondern sie wird von einer ungleichmäßigen, unebenen und ziemlich ausgebuchteten Linie bezeichnet. [...] Einen ganz ähnlichen Anblick haben wir gegen Sonnenaufgang auf der Erde, wenn wir die noch nicht mit Licht erfüllten Täler sehen, die Berge aber, die sie auf der von der Sonne abgewandten Seite umgeben, bereits voll ergänzen.“* (Siehe Abbildung 29<sup>73</sup>)

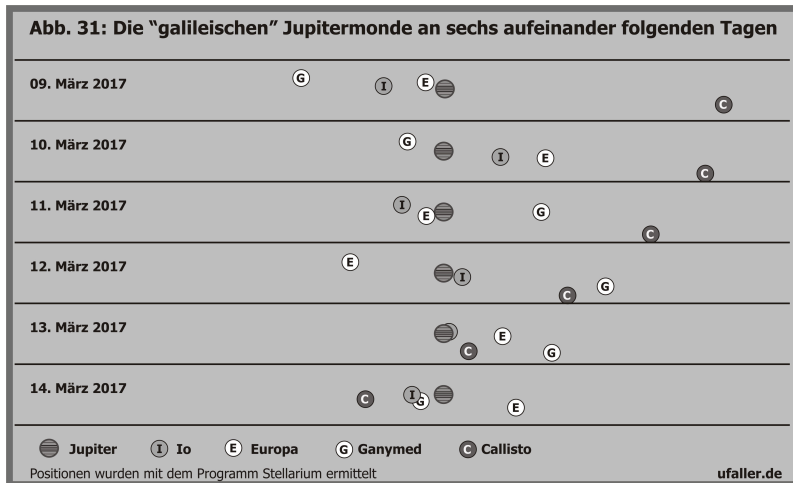


- Durch diese Beobachtung gelangt Galilei zu der Auffassung, dass die Mondoberfläche keineswegs von vollkommener Kugelgestalt ist, wie sie von alters her nach aristotelischer Auffassung sein müsste. Vielmehr ist sie gleich der irdischen Oberfläche „durch Bergketten und tiefe Täler allerorts unterschiedlich gestaltet“<sup>4</sup>.
- Selbst die Sonne zeigt sich nicht in jener Erhabenheit, die sie als ätherisches Gebilde gemäß der aristotelischen Kosmologie haben müsste. In den Jahren 1610 und 1611 beobachtete Galilei mit dem Teleskop dunkle Flecken auf der Sonne, die sogar um die Sonne zu rotieren schienen. Er veröffentlichte diese Beobachtung 1613 in seinen „Lettere solari“. Die Vollkommenheit der Sphären jenseits des Mondes, wie sie die aristotelische Sicht fordert, bekamen weitere Kratzer.
- Einen sichtbaren Beweis für das heliozentrische Weltbild ergab Galileis Teleskop-Beobachtung der Venus (Abbildung 30).



- Im geozentrischen Weltbild wurde sie zwischen Erde und Sonne angesiedelt. Bis auf den Radius ihres Epizykels befand sie sich jederzeit im gleichen Abstand zur Erde. Mit bloßem Auge erscheint sie jederzeit nahezu gleich hell, sofern sie der Sonne nicht zu nahe steht und von der Dämmerung überstrahlt wird. Ein Widerspruch zur geozentrischen Kosmologie ergab sich damit nicht. Im Teleskop hingegen und mit heutigen, etwas besseren Ferngläsern erkennt man, dass die Venus den Mondphasen ähnliche Beleuchtungsbilder zeigt. Nebstehende Abbildung macht deutlich, wie diese entstehen. Dass die „Vollvenus“ nicht erheblich heller erscheint, als die „Halbvenus“, liegt daran, dass sie in dieser Phase mehr als doppelt so weit von der Erde entfernt hinter der Sonne steht. Dadurch erscheinen die Halbvenus ca. 2,5-mal und die Sichelvenus ca. 4,5-mal größer als die Vollvenus. Geozentrisch wäre dies nicht zu erklären. Die Venusphasen haben eine überzeugende Beweiskraft für die heliozentrische Bewegung der Venus.

- Besonders überwältigt war Galileo von der Beobachtung der Fixsterne. Wohin er auch sein Vergrößerungsrohr richtete, vervielfachte sich die Zahl der Sterne. Während Planeten als kleine Scheibchen zu erkennen waren, die durch das Teleskop vergrößert wurden, wurden Fixsterne zwar heller, blieben aber letztlich punktförmig. Aus dem Dunkel tauchten in allen Richtungen neue Sterne auf; vor allem im Bereich der Milchstraße. Schon in der Antike vermutete man, dass die Milchstraße aus ungeheuer vielen Sternen besteht, die aufgrund ihrer Entfernung für das bloße Auge zu einem milchigen Band verschwimmen. Genau dies bestätigt die Fernrohrbeobachtung: „Die Galaxis ist nämlich nichts anderes als eine Ansammlung zahlloser, haufenförmig angeordneter Sterne.“<sup>75</sup>
- Besonders wichtig war Galileo die Mitteilung einer weiteren Beobachtung, die jenen den Wind aus den Segeln nahm, die am Weltbild Tycho Brahes festhielten: die Entdeckung der Jupitermonde. (Abbildung 31)



- Wie sollte der Mond, so die Argumentation seiner Kontrahenten, der Erde folgen, wenn sie in unheimlicher Geschwindigkeit um die Sonne kreist? Die ätherischen Planeten mögen um die Sonne wan-

dern, allein die Erde müsse schon deshalb ruhen, weil sich um diese zweifelsohne der Mond bewegt. Im Januar 1610 entdeckte Galileo erst drei, später vier Monde, die sich in schneller Bewegung um den Jupiter bewegen. Er schreibt hierzu: *„Außerdem haben wir damit einen ausgezeichneten und glänzenden Beweis, um denen jeden Vorbehalt zu nehmen, die [...] von der Annahme, der Mond allein umkreise die Erde, während beide ihre jährliche Bahn um die Sonne vollführen, so sehr aus der Fassung gebracht werden, dass sie meinen, man müsse solchen Aufbau des Universums als unmöglich verwerfen. Jetzt haben wir nämlich nicht nur einen Planeten, der um einen anderen kreist, während beide eine große Kreisbahn um die Sonne durchlaufen, sondern unseren Sinnen zeigen sich vier Sterne, die den Jupiter umkreisen, wie der Mond die Erde.“*

Damit bezeugen die Jupitermonde für jedermann sinnlich überprüfbar, dass es sehr wohl andere Zentren im Kosmos gibt, um die Planeten kreisen können. Nicht umsonst ist diese Beobachtung Galileis als wesentliches Argument für den kopernikanischen Weltentwurf in die Geschichte eingegangen. Offensichtlich gibt es neben der Erde weitere Zentren, um die Himmelskörper kreisen.

Mit der Anwendung des Fernrohrs für die astronomische Forschung weitete sich der Erfahrungshorizont des Astronomen über die unmittelbare Sinnesleistung des Menschen hinaus aus. Astronomische Erkenntnisse sind seit dem 16. Jahrhundert nicht nur vom fortschreitenden Verständnis der Physik bedingt, sondern ganz wesentlich vom technischen Fortschritt der Teleskope. Bis auf den heutigen Tag sind neue Erkenntnisse der Astronomie mit dem Bau immer besserer Beobachtungs- und Messinstrumente verbunden.<sup>6</sup>

## Galileo und die Kirche

Galileo Galilei steht nicht nur für einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur modernen Kosmologie und Physik. Sein Name ist verbunden mit dem Spannungsverhältnis zwischen christlichem Glauben und Wissenschaft. Sein *„Und sie bewegt sich doch“*, das er nach der Widerrufung am Ende des Inquisitionsprozesses 1633 gemurmelt haben soll,



ist Legende. So musste er das Verhältnis zwischen Glaubenszeugnissen und wissenschaftlichem Forschen klären.

In einem berühmt gewordenen Brief an den Benediktinermönch Benedetto Castelli legt er 1613 sein Verständnis der Schriftauslegung dar: Die Schrift enthält *„viele Sätze, die nach ihrem Wortsinn [...] von der Wahrheit abweichen, aber so formuliert wurden, um dem Fassungsvermögen des gemeinen Volkes entgegenzukommen. [...] [Weil klar ist,] dass zwei Wahrheiten sich niemals widersprechen können, ist es das Amt weiser Ausleger, sich zu bemühen, die wahren Bedeutungen der Bibelstellen herauszufinden und in Übereinstimmung zu bringen mit denjenigen physikalischen Folgerungen, die uns vermöge der Sinne oder durch notwendige Schlussfolgerungen als sicher und gewiss gelten. [...] Falls die ursprünglichen heiligen Autoren die Absicht gehabt hätten, die Leute über die Konstellationen und Bewegungen der Himmelskörper zu belehren, hätten sie diese nicht so spärlich behandelt.“*<sup>77</sup>

Die Aufgabe der Bibelexegeten besteht nach Galilei darin, die Weltinterpretation aus biblischer Sicht den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen anzupassen. Nicht umgekehrt. In Fragen der Naturerkenntnis hat die Naturwissenschaft Vorrang vor der Schriftauslegung.

Damit stehen dem Menschen zwei Erkenntnisquellen offen. Galilei bezeichnet sie mit der berühmt gewordenen Metapher von den zwei göttlichen Büchern: dem Buch der Natur und dem Buch der Offenbarung. *„Die Heilige Schrift und die Natur [entspringen] gleichermaßen dem göttlichen Wort, jene als diktiert vom Heiligen Geist, diese als getreue Vollstreckerin der Anordnungen Gottes.“* Diese Metapher findet sich schon beim katalanischen Philosophen und Professor in Toulouse, Raimundus Sabundus (1385–1436): *„Zwei Bücher sind uns von Gott gegeben, das Buch der [...] der Natur und das Buch der Heiligen Schrift. Das erstere ward dem Menschen von Anbeginn gegeben, [...] denn jegliche Kreatur ist nur ein von Gottes Finger geschriebener Buchstabe [...] Der Mensch aber ist der Hauptbuchstabe desselben Buches. [...] Auch ist [...] dieses allen gemeinsam und verständlich.“*<sup>78</sup> Auch Sabundus gab der Naturerkenntnis gegenüber der Schriftauslegung den Vorrang, weil, wie er sich ausdrückte, *„diese nicht wie jene [die Bibel] verderbt und verfälscht, sondern allen gemeinsam und verständlich“*<sup>79</sup> sei.

Als frommer Katholik akzeptiert Galilei die Bibel als göttliche Offenbarung der Heilsgeschichte des Menschen. Er formuliert: *„Ich*

*möchte annehmen, dass die Autorität der Heiligen Schrift einzig das Ziel hat, die Menschen von denjenigen Artikeln und Aussagen zu überzeugen, die, notwendig für das Seelenheil und alle menschliche Vernunft übersteigend, durch keine andere Wissenschaft einsichtig gemacht werden könnten, es sei denn durch den Mund des Heiligen Geistes selbst. "*

Naturerkenntnis ist das eine, der göttlich vorgegebene und geöffnete Weg der Erlösung etwas anderes. In einem Brief an die Großherzogin der Toskana, Christina von Lothringen, zitiert Galilei 1615 den Kardinal Baronius (1538–1607): *„Die Absicht des Heiligen Geistes ist es, uns zu belehren, wie man in den Himmel geht, nicht wie der Himmel geht.“*<sup>80</sup>

Mit seiner Haltung zur Bibalexegese maß sich Galilei aus damaliger Sicht an, der Kirche vorzuschreiben, wie sie die Bibel auszulegen hätte. Das konnte sie sich im Klima von Reformation und Gegenreformation, von Glaubensspaltung und Glaubenskrieg nicht gefallen lassen. Eindeutig hat sich das katholische Lehramt im Konzil zu Trient (1546) zur Auslegungskompetenz der Heiligen Schrift positioniert: *„Niemand soll es wagen, [...] die Heilige Schrift im Vertrauen auf eigene Klugheit nach seinem eigenen Sinn zu drehen, gegen den Sinn, den die Heilige Mutter der Kirche hielt und hält – ihr steht das Urteil über den wahren Sinn und die Erklärung der heiligen Schriften zu.“*<sup>81</sup> So musste es zu den Inquisitionsprozessen kommen.<sup>82</sup>

In den 1980er-Jahren wurde das Inquisitionsverfahren gegen Galileo vonseiten der katholischen Kirche aufgearbeitet. In einer Ansprache<sup>83</sup> nahm Papst Johannes Paul II. am 31. Oktober 1992 hierzu Stellung. Auch er zitiert Kardinal Baronius und bekräftigt, dass aus Sicht der Kirche sich *„die Bibel nicht mit den Einzelheiten der physischen Welt“* beschäftigt. Diese seien *„der Erfahrung und dem Nachdenken des Menschen anvertraut“*. Damit versucht sich die katholische Kirche wissenschaftskompatibler zu positionieren als z. B. evangelikale Kreatio-nisten, die aus der Bibel naturwissenschaftliches Verständnis ableiten. Ein anderes ist der *„Weg [des Menschen] nach oben [zum] Schöpfer von allem, [...] [der] ihn mit seinem Ursprung und Ziel in Verbindung bringt“*. Hier liegt das Aufgabengebiet der Theologie, hier benötigen wir die göttliche Selbstoffenbarung der Bibel. Dies zu erkennen, machte Galilei, so Papst Johannes Paul II., *„weitsichtiger als seine theologischen Geg-*

ner“, denn, so zitiert er Galilei, *„wenn schon die Schrift nicht irren kann, so können doch einige ihrer Erklärer [...] irren“*.

Unter diesem Vorzeichen meint die katholische Kirche, sich wissenschaftlich salonfähig zu machen, und sucht den Dialog mit den Naturwissenschaften. Es ist ihr wichtig, den *„Fall Galilei“* aufzuarbeiten, da er *„zum Symbol für die angebliche Ablehnung des wissenschaftlichen Fortschritts durch die Kirche oder des dogmatischen Obskurantentums gegen die freie Erforschung der Wahrheit geworden ist“*. Das ist innerkirchlich sicherlich wünschenswert, da es helfen kann, enge dogmatische Fesseln abzustreifen, die uns die Geschichte nicht zuletzt mit den Fällen Galilei oder Giordano Bruno vorgeführt hat.

Die Frage ist, ob vonseiten der Naturwissenschaften ein gleichermaßen großes Interesse am theologischen Dialog gerechtfertigt ist. Denn ein solcher Dialog würde umgekehrt die Akzeptanz voraussetzen, dass nicht nur das „Buch der Natur“ von Erkenntnisinteresse ist, sondern auch die Bibel; dass diese mehr darstellt als ein historisches Schriftstück unter sehr vielen anderen; dass in der biblischen und der auf ihr aufbauenden christlichen Tradition in irgendeiner Weise „göttliche Erkenntnisse“ aufscheinen, die über das hinausgehen, was in unzähligen anderen philosophischen Traditionen seinen Niederschlag gefunden hat. Zudem setzt die christliche Theologie ein spezifisches Gottesbild und Geschichtsverständnis voraus. Beides ist zwar unterschiedlich auslegbar, aber kaum wegdiskutierbar. Natürlich werfen naturwissenschaftliche Erkenntnisse Fragen auf, die weit über die Erkenntnismöglichkeiten naturwissenschaftlicher Methodik hinausweisen. Ob allerdings gerade die Theologie die Disziplin ist, die an diesen Grenzen der Naturwissenschaft weiterhilft, ist aus außerchristlicher Perspektive schon aus den genannten Gründen mehr als fragwürdig.

## Von Galileo zu Newton. Die träge Masse

Nun ist es das eine, durch astronomische Erwägungen von der Tatsache überzeugt zu sein, dass die Erde mit allen Gebirgen, Meeren und Landmassen sich in großer Geschwindigkeit täglich um sich selbst dreht – ein Gedanke, den noch Tycho Brahe als vollkommen abwegig von sich gewiesen hat. Ein anderes ist es, den schwerwiegenden physi-

kalischen Einwänden zu begegnen, die aus Sicht der damaligen aristotelischen Physik heraus gemacht wurden.

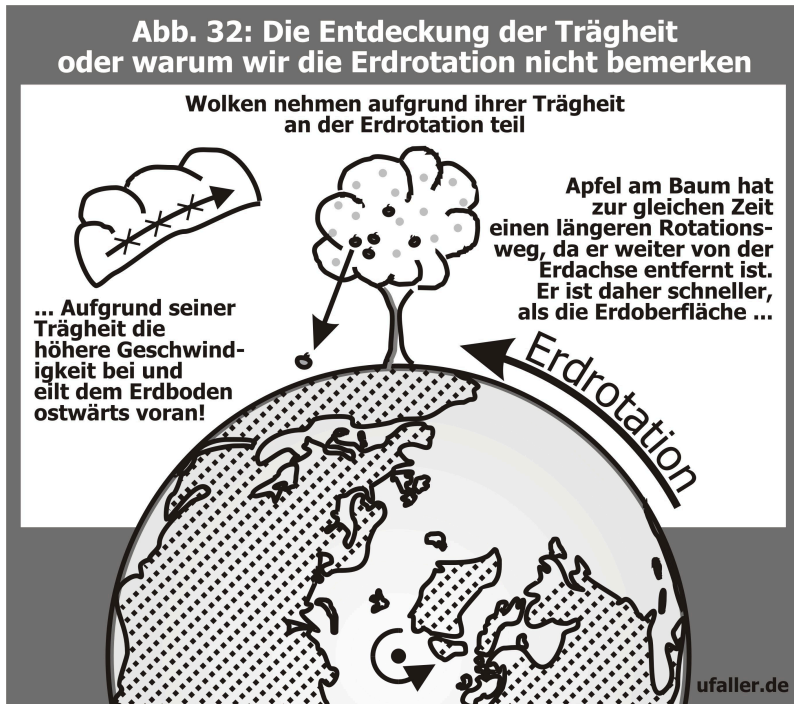
Für Aristoteles war der „natürliche Zustand“ die Ruhe an dem Ort, den alle Körper einnehmen, wenn keine Kräfte auf sie einwirkten. Jede Bewegung zeugte von einer Kraft, die diese Bewegung verursacht, auch eine gleichförmige Bewegung. Daraus folgt, dass die Rotation der Erde von West nach Ost die Luft mitreißen müsste, da sie von Natur aus verharren würde und ein permanenter stürmischer Ostwind entstünde. Da dies nicht der Fall ist, ruht die Erde. So die Aristoteliker.

Eine Kugel hingegen, die man z. B. vom schiefen Turm von Pisa fallen lassen würde, müsste nach Westen abgelenkt werden. Denn während des Falles kann sie nicht in der Erddrotationsgeschwindigkeit gehalten werden, dafür ist die Luft viel zu dünn. Denn die Erde dreht sich während des Fluges ostwärts unter der Abwurfstelle weg.

Galilei ist nicht nur für seine Teleskopbeobachtungen, sondern auch für viele grundlegende physikalische Experimente berühmt geworden. Diese brachten ihn zur Einsicht, dass sich bewegend Gegenstände so lange in Bewegung bleiben, bis andere Kräfte sie abbremsen. Dies können die Reibung am Boden oder der Luftwiderstand sein. Damit braucht es keine Kräfte, um einen Gegenstand in Bewegung zu halten, sondern nur, um seine Geschwindigkeit oder Richtung zu verändern. Isaak Newton formulierte dies in seinem ersten und zweiten Bewegungsgesetz: Ohne Einwirkung zusätzlicher Kräfte bleibt Materie entweder in Ruhe oder in einer gradlinigen und gleichförmigen Bewegung (erstes Bewegungsgesetz). Physikalisch heißt diese Materialeigenschaft „Trägheit“. Jede Art von Beschleunigung ist auf eine Krafteinwirkung zurückzuführen (zweites Bewegungsgesetz).

Damit fielen beide Argumente, die gegen die Eigenbewegung der Erde sprachen: Aufgrund ihrer Trägheit verharren Luft und Apfel mit der Erde in ihrer Rotationsbewegung. Genau betrachtet muss der Apfel sogar nach Osten statt nach Westen abgelenkt werden, wie Abbildung 32 zeigt: Newton schlug vor, dies experimentell zu überprüfen, was mehrfach mit Erfolg gelang.

Neben dem Foucault'schen Pendel war dies ein direkter Beweis für die Erddrotation.<sup>84</sup>



Im Zeitalter schneller Fahrzeuge sind diese Verhältnisse für uns Alltagserfahrung. Kein Mensch könnte sich sonst in einem gleichmäßig fahrenden Zug ungehindert bewegen, müsste er doch ständig durch Kräfte in Fahrtgeschwindigkeit gehalten werden. Vor vierhundert Jahren war diese Erkenntnis revolutionär. Wenn Isaak Newton Jahrzehnte später aussagen wird, er habe weiter gesehen, weil er auf den Schultern von Giganten gestanden habe, so ist damit ganz wesentlich auch Galileos Physik gemeint.

## Newtons Physik – Der Sargnagel des geozentrischen Weltbildes

Tycho Brahe stellte fest, dass es Kristallsphären nicht geben konnte, da Kometen durch alle Planetenbahnsphären ziehen. Johannes Kepler zeigte, dass diese Bewegungen nicht dem platonischen Ideal der Kreis-

form entsprechen. Die Beobachtungen Galileis belegten heliozentrische Bewegungsverhältnisse. Die Grundannahmen der aristotelischen Physik bröckelten. Gibt es tatsächlich unterschiedliche physikalische Gesetzmäßigkeiten diesseits und jenseits der Mondbahn? Eine irdische und eine himmlische Physik? Wenn die Planeten nicht auf idealen Kreisbahnen umlaufen, die ihre masselosen, ätherischen Körper ohne Kraftwirkung im Schwung halten – was sorgt dann für die nicht nachlassende Bewegung der Gestirne?

Kepler spekulierte über magnetische Kräfte, die, von der Sonne ausgehend, die Planeten auf ihren Bahnen halten. Für den französischen Philosophen René Descartes (1596–1650) bewegen sich Planeten in einem Partikelschwarm wie Blätter im Wasserstrudel. Descartes ist einer der Begründer der modernen Philosophie. Er unterschied dualistisch zwei substanzielle Bereiche, die *res cogitans*, die Welt des Geistes, und die *res extensa*, die ausgedehnte materielle Welt. In Letzterer können Kräfte nur durch Nahwirkung übertragen werden, eine von der Sonne ausgehende Fernwirkung schien ihm im Bereich der *res extensa* nicht vorstellbar.

Es war Isaac Newton, dem der physikalische Brückenschlag von der Erde in den Kosmos gelang. Er wurde damit nicht nur der Begründer der klassischen Physik, sondern auch der Astrophysik. Die entscheidende Intuition kam ihm beim gleichzeitigen Anblick des Mondes und eines fallenden Apfels, so sagt eine Legende, die Newton seinem Freund und späteren Biografen William Stuckeley mitgeteilt haben soll. Das war der Schlüssel: Der Grund für das Fallen des Apfels war der gleiche wie der, der den Mond auf seiner Umlaufbahn um die Erde hielt. Es gab keinen Unterschied zwischen irdischer und kosmischer Physik.

1665 war das Wunderjahr seiner Intuition, Isaac Newton (1643–1727) war den Kinderschuhen einer problematischen Jugend entwachsen. Sein Vater, ein begüterter Landwirt, starb noch vor seiner Geburt. Von seiner geliebten Mutter wurde er viele Jahre getrennt, da er dem Stiefvater nicht genehm war. So wuchs er bei seiner Großmutter auf, wobei deutlich wurde, dass er zum Landwirt wenig taugen würde. Zeitlebens war er geprägt vom puritanischen Umfeld der Grafschaft Lincolnshire, dem gottesfürchtigen Leben seiner Landsleute, was nicht spurlos an ihm vorüberging. So widmete er nach eigenen Aussagen im

Laufe seines Lebens mehr Zeit dem Bibelstudium als den Wissenschaften. Allerdings kam er hierbei zu ketzerischen Schlüssen: So hielt er die göttliche Dreifaltigkeit und damit die Göttlichkeit Jesu für einen Schwindel, entstanden durch gefälschte Dokumente des Heiligen Athanasius im 4. Jahrhundert.

Nach außen hin verschlossen, grübelte Newton schon früh über alles nach, von dem sein wissensdurstiger Geist erfuhr. So ist ein Notizbuch des 17-jährigen Newton erhalten mit Diagrammen des kopernikanischen Systems und Sonnenuhrkonstruktionen sowie astrologische Voraussagen von Sonnen- und Mondfinsternissen. Zum Glück fiel seinem Onkel mütterlicherseits das ungewöhnliche Talent Newtons auf, was ihn im Juni 1661 nach Cambridge an das Trinity College führte. Hier wurde er mit einer universitären Lehre im alten Stil konfrontiert, die noch immer in der scholastischen Kosmologie des Mittelalters verwurzelt war – mit der Erde im Zentrum des Universums.

Ab 1664 wütete in England die Beulenpest, sodass im August 1665 die Universität Cambridge ihre Tore schloss. Newton kehrte für ein Jahr in die Gefilde seiner Jugend zurück und begann, seine Notizbücher mit allem zu füllen, womit er später berühmt werden sollte: Er entwickelte die Differenzial- und Integralrechnung, untersuchte die Brechung des Lichtes und die Entstehung der Spektralfarben aus dem weißen Sonnenlicht und klärte die grundlegenden Begriffe der Mechanik. Später wird er sagen: „Ich konnte nur weiter schauen, weil ich auf dem Rücken von Riesen stand.“ Dies ist insofern wahr, als viele Elemente, die er in seiner Physik zusammenführte, von Geistern wie Galileo vorgedacht waren. Keinem gelang es aber wie Newton, diese in einem gemeinsamen Wurf zu vereinen. Newton brauchte einen Anstoß, um seine Physik zu veröffentlichen.

Dieser kam zwanzig Jahre später in Gestalt von Edmond Halley (1656–1742). Halley hatte sich als Astronom durch die Beobachtung des Merkurtransits vom 7. November 1677 einen Namen gemacht. Hierdurch angeregt, wies er darauf hin, dass eine weltweite Beobachtung des nächsten Venustransits eine Bestimmung der Astronomischen Einheit ermöglichen würde. Dadurch würden die Größenverhältnisse im Sonnensystem nicht nur relativ geklärt werden. Dazu im Folgenden mehr. Zudem ist Halley durch den nach ihm benannten Kometen bekannt. Er berechnete 1705 – mithilfe der Newton'schen

Gesetze – die Bahnelemente der Kometen aus dem Jahr 1531, 1607 und 1682. Dabei erkannte er, dass es sich hierbei um denselben Kometen handelte, und errechnete, dass dieser 1759 zurückkehren würde. Nachdem dies geschehen war, trägt der Komet seinen Namen.

1684 überlegten Halley und Robert Hooke (von diesem stammt der Begriff „Zelle“ in der Biologie), wie sie die Kepler'schen Gesetze physikalisch verstehen könnten. Hierbei erinnerte Halley sich an wertvolle Andeutungen Isaacs Newtons, den er drängte, die von ihm gefundenen Gesetze zu veröffentlichen. So kam es, dass 1687 eines der einflussreichsten Bücher der Wissenschaftsgeschichte gedruckt wurde: die „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“, die „Mathematischen Prinzipien der Naturlehre, kurz die „*Principia*“. Schon der Titel ist Programm. Die Mathematik, bei Ptolemäus Hilfswissenschaft, um die Phänomene zu „retten“, dient jetzt dazu, Naturgesetze und damit Erkenntnisse in den Naturwissenschaften zu formulieren. Damit dies möglich ist, muss man sich an quantifizierbare, messbare Phänomene halten unter Ausblendung der qualitativen Seite der Phänomene.

Die „*Principia*“ begründen die klassische Physik. Sie ermöglichen ein vertieftes Verständnis der Bewegungsverhältnisse im Universum. Umgekehrt lässt sich aus den beobachtbaren Bewegungen auf die Massen schließen, wodurch z. B. Planetenmassen berechnet werden können. Damit bilden die von Newton formulierten Gesetze eine zentrale Grundlage für unser Verständnis des Universums – bis heute. Man kann daher mit Fug und Recht sagen, die *Principia* waren der Sargnagel der aristotelischen Physik.

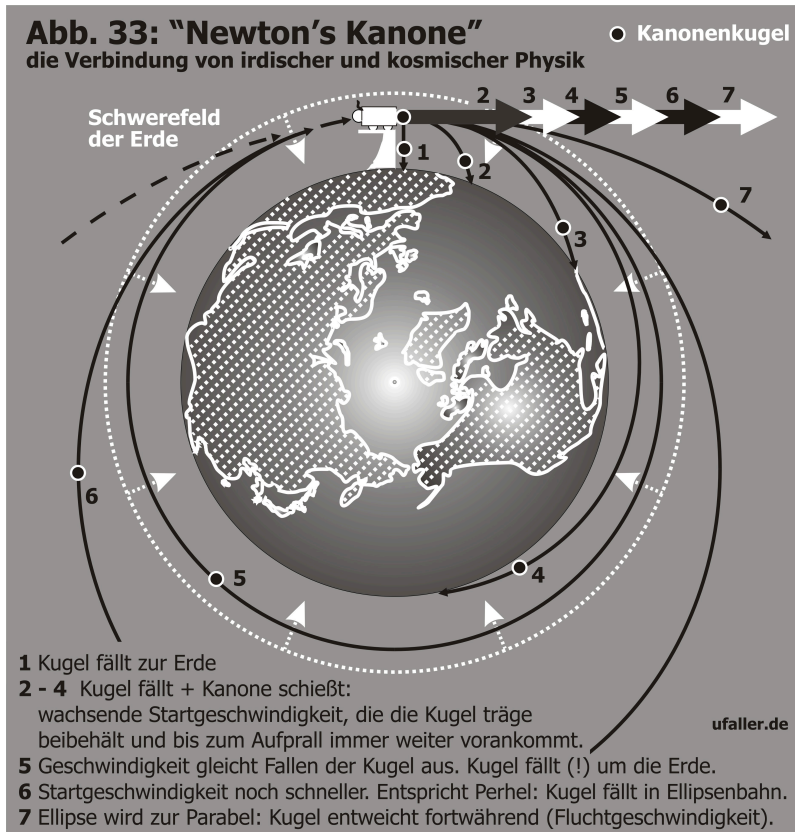
## Die Verbindung von irdischer und kosmischer Physik

Wir betrachten Abbildung 33, die einem Bild aus Newtons *Principia* nachempfunden ist. Wir sehen eine hohe Rampe, von der aus eine Kanonenkugel abgefeuert wird.

Diese Kugel ersetzt den Apfel aus der Newton-Legende. Klar ist, dass die Kugel beschleunigt nach unten fallen würde, wenn man sie über die Rampe rollen ließe (1). Nun lege man die Kugel in das Kanonenrohr, das exakt horizontal ausgerichtet ist. Feuert man ab, erhält die Kugel, bevor sie zur Erde hin beschleunigt wird, noch einen zusätzli-



chen Vorwärtsdrall: Die Kombination aus Vorwärtsbewegung und der Fallbewegung führt zu einer Wurfparabel, die die Kugel in einiger Entfernung auf die Erdoberfläche aufschlagen lässt (2).



Gesetzt den Fall, wir wären in der Lage, die Geschwindigkeit der Kugel mit mehr Pulver beliebig zu erhöhen, so würde diese Kugel aufgrund ihrer Trägheit immer weiter fliegen, bevor sie den Erdboden erreicht (2-4). Denn in der Zeit, die sie benötigt, um zu Boden zu fallen, legt sie eine immer größere Strecke zurück. Konsequenterweise zu Ende gedacht, heißt dies, dass es eine Geschwindigkeit geben muss, bei der die Kanonenkugel einmal um die gesamte Erde herum „fällt“ und wieder am

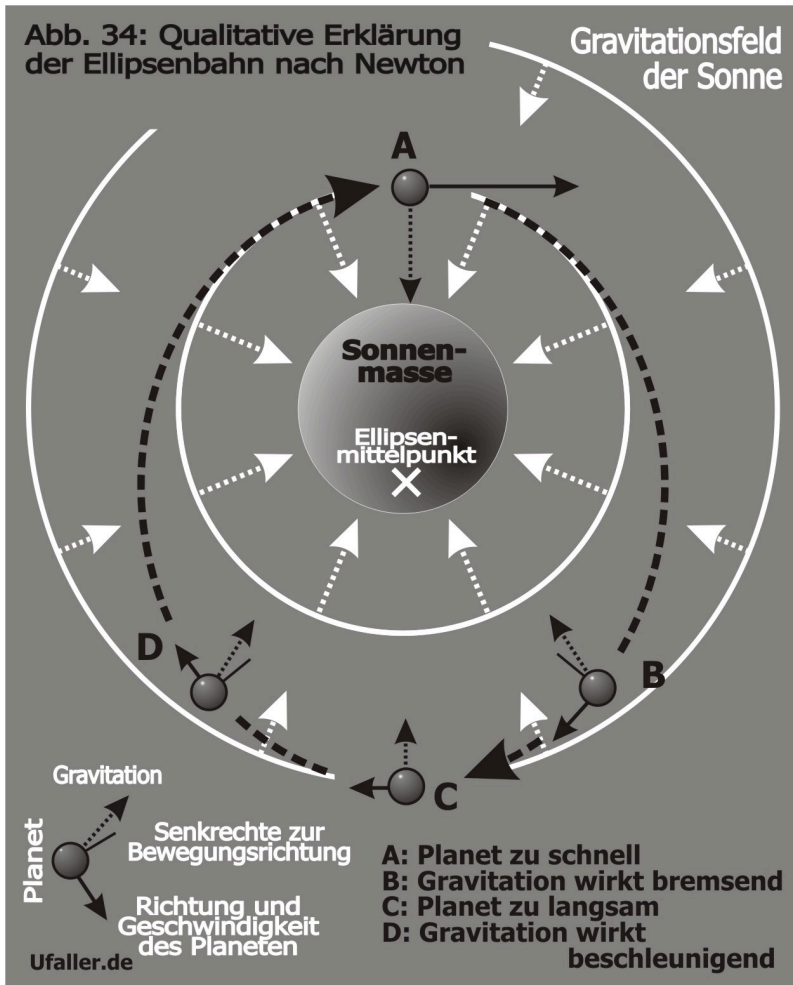
Abschusspunkt ankommt (5). Für einen Berg auf der Erde, der als Abschusspunkt dient, beträgt diese Geschwindigkeit etwa 7,91 km/s (28.476 km/h). Sie wäre, wenn wir einmal von reibenden Bremskräften absehen, aufgrund ihrer Trägheit noch genauso schnell wie zu dem Zeitpunkt, an dem sie abgefeuert wurde. Das hieße, sie würde sich erneut auf dieser Kreisbahn um die Erde bewegen, dann ein weiteres Mal und sofort. Letztlich so lange, bis andere Kräfte sie aus dieser Bahn werfen.

Erhöhen wir die Geschwindigkeit der Kanonenkugel beim Abfeuern erneut, so wird aus der Kreisbahn eine Ellipsenbahn (6). Denn sie fällt zunächst nicht schnell genug, um auf eine kreisförmige Bahn gezwungen zu werden. Damit wird sie sich, obwohl sie nach wie vor zur Erde fällt, weiter von der Erde entfernen. Dies zeigt die Abbildung 34 im Punkt A.

Während sie sich von Erde entfernt, „fällt“ sie mit einer Rückwärtskomponente (Punkt B), was die Geschwindigkeit der Kugel abbremsst – und dies so lange, bis sie der Startposition gegenübersteht (C). Hier ist sie so langsam, dass die Fallbeschleunigung nicht ausgeglichen werden kann, und sie sich wieder der Erde nähert (D). Dann beschleunigt sie erneut, da sie mit einer Komponente in Bewegungsrichtung „fällt“. Dies setzt sich fort, bis sie in die Ausgangsposition bei A kommt.

Man kann sagen: Die Ellipsenbahn entsteht dadurch, dass die Geschwindigkeit der Kugel (eines Planeten, eines Satelliten, eines Mondes) um den Wert herum pendelt, den sie an einer ihrer Durchschnittsgeschwindigkeit entsprechenden Umlaufbahn hätte: Ist sie zu nah, wird sie zu schnell, ist sie zu weit entfernt, wird sie zu langsam.

Und noch etwas: Wir steigern erneut die Abschussgeschwindigkeit unserer Kanonenkugel. Leicht ist einzusehen, dass der gegenüberliegende Punkt der größten Entfernung sich immer weiter von der Erde entfernt, je mehr wir die Abschussgeschwindigkeit steigern. Es wird eine Geschwindigkeit geben, bei der dieser gestirnerne Punkt im Unendlichen liegt, wodurch aus der Ellipse eine Parabel wird (7). Man nennt die Geschwindigkeit, bei der eine Parabelbahn entsteht, die Fluchtgeschwindigkeit, da sie dazu führt, dass eine Kugel, ein Geschoss, eine Rakete usw. nicht mehr zur Erde zurückkommt. Sie beträgt für die Erde 11,2 km/s oder 40.320 km/h.



„Newtons“ Kanonenkugel verhält sich so wie Planeten auf ihrer Bahn um die Sonne, wie Monde auf ihrer Bahn um den Planeten und wie jeder Himmelskörper, der sich durch das Weltall bewegt. Mit der „Physik der Kanonenkugel“ lässt sich damit die Physik der Himmelskörper beschreiben – und dies so genau, dass wir heute mit höchster Präzision Sonden in den Weltraum schießen können. Die Verbindung zwischen irdischer und kosmischer Physik ist damit gelungen, der

qualitative Gegensatz zwischen Himmel und Erde aufgehoben. Aristoteles' Physik ist Geschichte.

## Das Gravitationsgesetz

Bewegt sich die Masse eines Körpers geradlinig und gleichförmig, dann wirken nach Newton keine Kräfte auf diesen Körper ein. Verändert sich diese Bewegung, beschleunigt er also, so sind Kräfte am Werk. Genau das passiert, wenn unsere Kanonenkugel oder der Mond Richtung Erde fällt. Es muss also eine „Schwerkraft“ oder „Gravitationskraft“ geben. Doch wo liegt ihre Ursache? Der geniale Ansatz Newtons ist nun der, zu erkennen, dass die Masse eines Körpers selbst die Ursache der Gravitation ist. Damit ist die Masse nicht nur für die Trägheit (träge Masse), sondern auch für die Schwere (schwere Masse) verantwortlich. Ja, Masse ist das, was einen Körper träge und schwer macht.

Wie stark ist die Gravitationskraft ( $F_g$ ) im Umfeld eines Körpers wie beispielsweise der Erde? Um dies zu beschreiben, formulierte Newton eines der zentralsten Gesetze der Astronomie, das Gravitationsgesetz. Es lautet:

$$F_g = G \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Was sagt diese Formel? Es geht um die Stärke der Gravitation ( $F_g$ ,  $F$  von *force*, Kraft und  $g$  von Gravitation). Sie ist abhängig von den beteiligten Massen  $m_1$  und  $m_2$ . Die Masse der Erde sei zum Beispiel  $m_1$ . Würden wir die Newton'sche Kanone auf dem Mond aufstellen, würde die Kugel schon bei einer geringeren Startgeschwindigkeit in eine kreisförmige Umlaufbahn gelangen. Warum? Da die Masse des Mondes geringer ist, ist auch die Gravitation kleiner und damit die Fallbeschleunigung. Sie beträgt auf dem Mond nur  $1,6 \text{ m/s}^2$  statt  $9,8 \text{ m/s}^2$  auf der Erde. Da die Kanonenkugel auf dem Mond nur langsamer Richtung Mondoberfläche beschleunigt, kommt sie bei gegebener Geschwindigkeit weiter als auf der Erde.

Im Beispiel sei  $m_2$  die Masse der Kanonenkugel. Hätten wir nur eine Revolverkugel, wäre  $F_g$  ebenfalls kleiner: Die Revolverkugel ist

leichter als die Kanonenkugel. Fg wird demnach von dem Wert beider Massen bestimmt. Da mit der schweren Masse in gleicher Größe die träge Masse abnimmt, ist die Fallbeschleunigung der Kanonen- und der Revolverkugel die gleiche. Denn die schwächere Kraft muss eine entsprechend schwächere Trägheit überwinden. Alle Körper fallen also mit gleicher Beschleunigung auf die Erde! Egal, wie schwer unsere Kanonenkugel ist, die Geschwindigkeit, mit der wir sie in eine von uns gewollte Bahn bringen können, ist immer die gleiche.

Die Stärke der Gravitation ist zudem von der Entfernung der beiden Massen abhängig. In der Formel wird diese mit  $r$  angegeben. Das Gravitationsgesetz besagt nun, dass mit der Zunahme des Abstandes die Gravitationskraft sehr schnell abnimmt, genau mit dem Kehrwert des Quadrates der Entfernung. Man setze in Gedanken die Zahlen 2, 4, 6 und 8 für  $r$  in das Gravitationsgesetz ein. Als Kehrwerte der Quadrate ergeben sich  $1/4$ ,  $1/16$ ,  $1/36$  und  $1/64$ . Wir sehen: Die Gravitationskraft wird mit der Entfernung zum Schwerpunkt sehr schnell kleiner, aber niemals „null“. Das Gravitationsfeld aller Himmelskörper hat keinen Rand, kein Ende. Obwohl die Gravitationskraft der Erde verschwindend gering wird, wenn  $r$ , der Abstand, stark zunimmt, er wird nie null. So kommt es, dass die Gravitation aller Massen im Universum letztlich das gesamte Universum durchdringt. Man kann auch sagen, über die Gravitation ist das ganze Universum miteinander verbunden, wenn auch mit einem sehr schwachen Band.

$G$  bezeichnet die Gravitationskonstante. Sie gehört zu den universellen Naturkonstanten. Soweit wir heute wissen, hat sie überall im Universum den gleichen Wert. Er wurde 1798 von Henry Cavendish in einem Laborexperiment mit einer „Gravitationswaage“ gemessen, indem er auf raffinierte Weise die Anziehung zweier schwerer Kugeln bestimmte. Ihr Wert ist:  $6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$ .

Wie bei anderen Naturkonstanten kann man bis heute keinen naturgesetzlichen Grund angeben, warum die Gravitationskonstante genau den vorgefundenen Wert hat. Er scheint kontingent zu sein, d. h., dass er auch größer oder kleiner sein könnte. Aus heutigem Verständnis ist er in dem Sinne zufällig, dass wir keinen naturgesetzlichen Grund dafür angeben können, aus dem er genau den vorgefundenen Wert hat. Diese Tatsache, wenn sie denn zutrifft, wirft für die Kosmo-

logie und Philosophie erhebliche Fragen auf. Sie sind unter dem Stichwort „kosmologische Feinabstimmung der Naturkonstanten“ bekannt.

Denn man muss bedenken, was es bedeutet, wenn die Gravitationskonstante einen erheblich anderen Wert annimmt: Zeichnen wir das ziemlich unwahrscheinliche Szenario, das im Laufe der nächsten Jahrhunderte die Gravitationskonstante kontinuierlich abnehmen würde. Dies hätte zur Folge, dass die Erde sich von der Sonne entfernte, da ihre Geschwindigkeit für den jetzigen Orbit zu groß wäre. Gleichzeitig würde der Druck im Inneren der Sonne nachlassen und mit diesem die Energieproduktion der Sonne. Beides hätte eine Abkühlung der Erdatmosphäre zur Folge. Gleichzeitig wäre es bei der Masse unserer Erde immer weniger möglich, dass sie eine Atmosphäre an sich bindet; die Lufthülle würde dünner und später gänzlich entweichen. Die Erde würde kein Leben mehr beherbergen können.

Umgekehrtes geschähe, wenn die Gravitationskonstante im Laufe der nächsten Jahrhunderte zunehmen würde. Die Erde würde näher an die Sonne rücken; die Sonne würde aufgrund des höheren Innendruckes heißer und die Temperaturen würden entsprechend steigen. Auch dann wäre Leben auf der Erde schon bald nicht mehr möglich.

Damit ist deutlich: Das Leben, wie wir es auf unserer Erde vorfinden, hängt empfindlich von dem Wert der Gravitationskonstante ab. Man spricht von der „Feinabstimmung der Naturkonstanten“. Verständlich, dass man gerne wüsste, warum er genau den vorgefundenen Wert hat. Wir wissen es nicht. Vielleicht noch nicht. Sicher ist nur, dass es uns hier auf dieser Erde, so wie wir uns heute vorfinden, nur deshalb gibt, weil dieser Wert genau die von Cavendish gemessene Größe hat. Hätte diese und hätten andere Naturkonstanten andere Werte, gäbe es Beobachter, die über das Universum nachdenken würden, entweder auf andere Weise oder eben nicht. Er hat ihn aber, ob zufällig oder aus Gründen, die wir nicht kennen. Daher gibt es uns.<sup>85</sup>

## Newton: Magier oder Aufklärer?

Mit dem Gravitationsgesetz ist nur ein Ausschnitt der physikalischen Leistungen Newtons beschrieben. Seine Beiträge in der Optik waren ebenfalls gewichtig. Für die Astronomie bedeutsam war in diesem Zu-

sammenhang die Erfindung eines neuen Fernrohrtyps, der nach ihm benannt wurde. Hier verwendete er statt Linsen einen Hohlspiegel, um die bei der Brechung durch Linsen sich bildenden Farbränder zu vermeiden.

Die Faszination, die von den „mathematischen Prinzipien der Naturlehre“ ausging, war enorm: Naturvorgänge ließen sich mit mathematischen Naturgesetzen verstehen und präzise berechnen. Kam es zu Ungenauigkeiten, so hatte man so großes Vertrauen in die Mathematik, dass man auf bisher unbekannte Planeten schloss! So geschehen nach der Entdeckung des Uranus 1781 durch Sir Wilhelm Herschel. Unregelmäßigkeiten in seiner Bahn ließen sich mathematisch auf einen weiteren Planeten zurückführen, dessen mutmaßliche Position man ebenfalls berechnete. Die Suche des unbekannten Planeten übernahm 1846 der deutsche Astronom Johann Gottfried Galle an der Berliner Sternwarte und wurde schon bald unweit der vorberechneten Stelle fündig: So wurde der Neptun entdeckt und unser Sonnensystem um einen zweiten Planeten erweitert.

Statt dass Engel Planeten schoben, rollte das Naturgeschehen gleichsam vor dem Auge des vernunftbegabten Beobachters ab; nach verständlichen Naturgesetzen, die sich mathematisch formulieren und beliebig exakt berechnen ließen. Das war Bestätigung für diejenigen, die der menschlichen Vernunft und der Orientierung an der Erfahrung Vorrang vor dem religiösen Glauben gaben, für diejenigen, die Europa im Zeitalter der Aufklärung in die Moderne führen wollten. So gehörten die „Principia“ schon bald zu den wegweisendsten Schriften der Aufklärung; sie begründeten das Vertrauen in die rationalen Fähigkeiten des Menschen. Sie haben wie kein anderes Werk bisher gezeigt, dass die Welt nach grundsätzlichen, mit dem Verstand erfassbaren Prinzipien aufgebaut ist. Damit nährten sie das Vertrauen, dass der menschlichen Erkenntnis der Natur keine prinzipiellen Grenzen gesetzt sind.

Und Newton? Bewegte sich Newtons Denken an der Front der Aufklärung? Immerhin führte er einen Briefwechsel mit John Locke, einem führenden Vertreter der frühen Aufklärung.

Dies war weniger der Fall, als man vermuten möchte. Wir haben schon gesehen, dass das Studium der Bibel Newton genauso am Herzen lag wie das Studium der Natur. Auch wenn er sich von zentralen

Dogmen des Christentums entfernte. Newton hat weder an der Existenz des Monotheos gezweifelt noch an der Tatsache, dass dieser sich durch die Bibel offenbarte. Auch am christlichen Zeithorizont der Geschichte des Kosmos zweifelte Newton nicht. So erschien 1728 eine Schrift posthum, in der sich Newton mit der Chronologie des irischen Theologen James Ussher auseinandersetzte, der 1650 aus Angaben der Bibel ermittelte, dass die Schöpfung der Welt am Sonntag, den 20. Oktober 4004 vor Christus stattfand. Newton korrigierte diesen Wert aufgrund seines Versuches, die biblische Chronologie mit astronomischen Daten in Übereinstimmung zu bringen, um 534 Jahre. Wenn Newton damit die Autorität der Bibel zwar nicht infrage stellt, so wird doch das Bedürfnis deutlich, biblische Offenbarung mit naturwissenschaftlicher Erkenntnis in Einklang zu bringen.

Ein weiteres Betätigungsfeld, dem sich Isaac Newton mit aller Kraft widmete, war die Alchemie. Der Wirtschaftswissenschaftler John M. Keynes ersteigerte im Jahr 1936 einen Großteil der alchemistischen Handschriften Newtons, darunter viele Werke der Rosenkreuzer und der Kabbala. Überliefert ist ein umfangreicher alchemistischer Index, den Newton angelegt hatte.

Der Vater des Gravitationsgesetzes, das Genie, das die Schwerkraft mathematisch erschloss, hatte eine Neigung zu alchemistischem, okkultem und religiösem Denken. Wie ist das möglich? Aus dem Jahr 1693, also wenige Jahre nach Erscheinen der Principia, ist von Newton folgendes Zitat aus einem Brief überliefert:

*„Dass der eine Körper eine Fernwirkung auf den anderen ausüben kann, und zwar durch ein Vakuum, ohne die Vermittlung von irgendetwas, durch welches ihre Wirkung und Kraft vom einen zum anderen fortgepflanzt werden könnte, ist für mich eine derartige Absurdität, dass sie meines Erachtens einem fähigen Philosophen niemals in den Sinn kommen kann.“*

Der Umgang mit dem Gravitationsgesetz in der Astronomie lässt gerne vergessen, dass die Schwerkraft mit dieser Mathematik zwar beschrieben, aber nicht erklärt wird: Was ist es, das die Massen „durch den Raum anzieht“? Wie kommt es zu der Fernwirkung der Gravitation, haben doch Mond und Erde keinen physischen Kontakt, wie dies zum Beispiel beim Zusammenprall zweier Billardkugeln der Fall ist? Mit anderen Worten: Das Wesen dieser Kräftewirkung – wenn es denn eine Kräftewirkung ist – bleibt dunkel. Trotzdem hat die Newton'sche



Beschreibung der Gravitation auch erklärenden Charakter, indem sie sehr verschiedene Naturphänomene, wie den Lauf der Planeten, das Fallen des Apfels oder auch das Gewicht eines Gegenstandes auf der Erdoberfläche, auf ein und dasselbe Naturgesetz zurückführt.

Die Fernwirkung der Schwerkraft blieb rätselhaft, bis durch Albert Einstein Anfang des 20. Jahrhunderts ein grundlegend neues und dem Alltagsbewusstsein schwer vermittelbares Verständnis der räumlichen und zeitlichen Verhältnisse im Universum entwickelt wurde. Einstein gibt den Gedanken eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit auf und fasst beide Größen zur Raumzeit zusammen, die um Massen eine gekrümmte Geometrie aufweist. In diesem Kontext ist die Schwerkraft keine Kraft – die gravitative Beschleunigung ist Folge der kräftefreien Bewegung von Massen im Sinne des freien Falls. Doch das ist eine eigene Geschichte.<sup>86</sup>

Für Newton blieb die Schwerkraft ein okkultes Phänomen, was ihn an seinen mystischen Gedankenausflügen nicht hinderte. Im Gegenteil: Lord Keynes kam nach dem Studium von Newtons alchemistischen Schriften zu dem Schluss, dass Newton kaum als erster Repräsentant der Aufklärung, als erster moderner Mensch des neuen wissenschaftlichen Zeitalters, aufgefasst werden kann. Vielmehr sei er der letzte große Renaissancemagier gewesen, dass *„letzte Wunderkind, das die alten Magier aufrichtig und ehrlichen Herzens hätten verehren können“*<sup>87</sup>. Auf jeden Fall zeugt ein bekanntes Zitat Newtons von einer Erkenntnisbescheidenheit:

*„Ich weiß nicht, wie die Welt mich sieht; ich kam mir selbst immer nur wie ein kleiner Junge vor, der am Strand spielt und sich von Zeit zu Zeit damit vergnügt, einen noch glatteren Kiesel oder eine noch hübschere Muschelschale zu finden, während der große Ozean der Wahrheit völlig unentdeckt vor mir lag.“*<sup>88</sup>

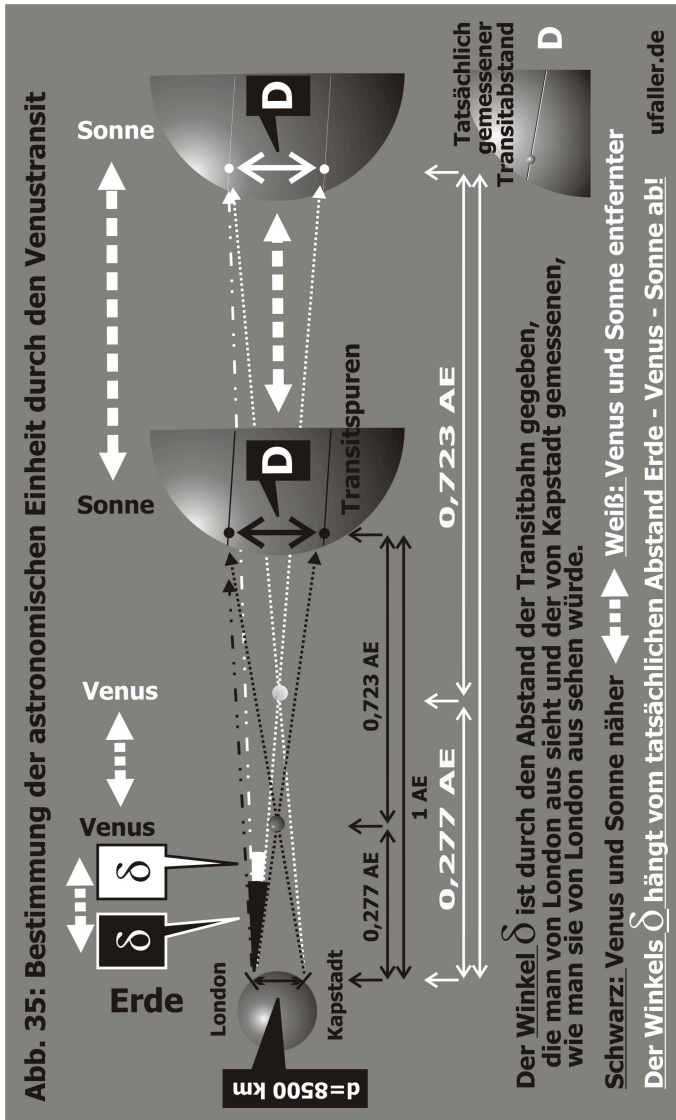
## **Der letzte Baustein des heliozentrischen Weltbildes: Bestimmung der Astronomischen Einheit**

Die relativen Größenverhältnisse in unserem Sonnensystem waren seit den Überlegungen Kopernikus' und der Anwendung des dritten Kepler'schen Gesetzes bekannt. Wie müssen wir uns diese Entfernungen

im Verhältnis zu irdischen Dimensionen vorstellen? Wie weit genau ist die Sonne von der Erde entfernt? Welche Strecke legen wir jährlich mit unserer Erde auf dem Weg um die Sonne zurück? Wie schnell bewegen wir uns hierbei?

Um diese Fragen zu klären, musste die astronomische Einheit (AE), die Entfernung von der Erde zur Sonne, mit einiger Sicherheit bestimmt werden. Wie schon erwähnt, schlug Edmund Halley vor, hierfür einen Venustransit zu nutzen. Innerhalb eines Vierteljahrtausends kommt es nur vier Mal vor, dass der Planet Venus die Erde so überrundet, dass er als dunkle Scheibe vor der Sonne sichtbar wird. Je zwei dieser Ereignisse paaren sich mit einem Abstand von etwa acht Jahren. Im 18. Jahrhundert fanden Venustransite am 6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769 statt. Diese Gelegenheiten galt es zu nutzen. So machten sich viele Expeditionen auf, um von unterschiedlichen, möglichst entfernten Orten aus die Messungen durchzuführen. Berühmt wurde die erste Südseereise des Seefahrers und Entdeckers James Cook auf seiner Endeavour, der den zweiten Venusdurchgang auf Tahiti erfolgreich beobachtete. Das Tagebuch dieser Reise ist noch heute lesenswert. Zu tragischer Berühmtheit gelangte der französische Astronom Guillaume Le Gentil, der den ersten Transit in einer südindischen Stadt beobachten wollte, die er aber nicht betreten durfte, da sie im Zuge des Siebenjährigen Krieges an die Engländer gefallen war. Darauf wartete er den zweiten Transit ab, den er aufgrund eines wolkenverhangenen Himmels nicht beobachten konnte. Nach Frankreich zurückgekehrt, musste er zudem ertragen, dass er zwischenzeitlich für Tod erklärt und sein Besitz aufgeteilt worden war. Trotz vieler Fehlschläge lagen nach den Venusdurchgängen im 18. Jahrhundert fast 150 brauchbare Messergebnisse vor.<sup>89</sup>

Anhand Abbildung 35 sei Halleys Grundgedanke vereinfacht dargestellt.



Von verschiedenen, weit entfernten Beobachtungspunkten aus, wie im Beispiel London und Kapstadt, wird der Venustransit exakt vermessen. Rechnerisch ermittelt man die direkte Entfernung zwischen den Beob-

achtungstandorten als gedachte Basislinie durch die Erde, im Beispiel 8500 km. Aus den geometrischen Strahlensätzen folgt, dass der Transitabstand  $D$  als gedachte Spur auf der Sonne 22.000 km betragen muss, denn das Verhältnis  $D/\text{Venusabstand}$  (in AE) zu  $d/0,277$  (1 AE – Sonnenabstand der Venus in AE) ist gleich. Wenn man bedenkt, dass der gemessene Abstand der Transitspuren extrem gering ist (siehe Abbildung), kann man ermessen, welche präzisen Daten erhoben wurden, um überhaupt einen Unterschied festzustellen! Zumal aufgrund der Eigendrehung der Erde keine geradlinige Transitspur zu beobachten ist.<sup>90</sup> Man half sich, indem man den Beginn und das Ende des Transits zeitlich festhielt und so auf die Transitspur schloss.

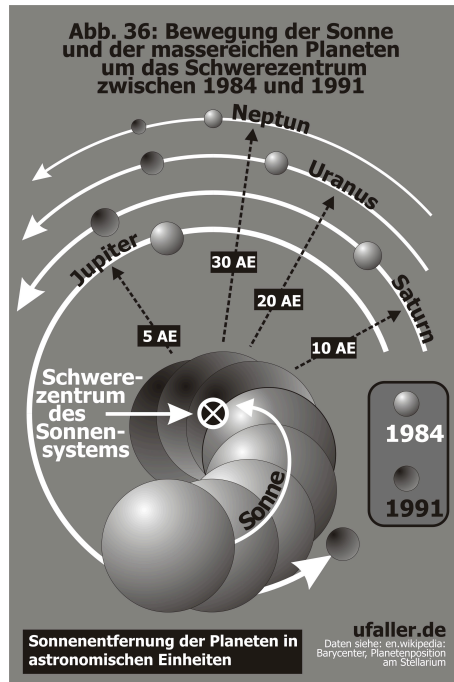
Nun die Idee dieser Messung: Von jedem Beobachtungsort (hier London) aus kann man den Winkel messen, der die beobachtete Sonnenscheibe umfasst (etwa  $0,5^\circ$ ). So lässt sich auch der Winkel  $\delta$  angeben, unter dem man den Abstand der an verschiedenen Orten gemessenen Transitspuren von diesem Ort aus sehen könnte, was natürlich nicht möglich ist. Dieser Winkel hängt von der tatsächlichen Entfernung der Sonne von der Erde ab, wie man in dem weiß hinterlegten Beispiel sehen kann, in dem die Sonne weiter entfernt und  $\delta$  entsprechend kleiner ist. Da  $D$  bekannt ist, haben wir nur noch eine trigonometrische Rechnung durchzuführen und können den Abstand der Sonne ausrechnen:<sup>91</sup> Eine AE beträgt rund 150.000.000 km!

Mit einem Schlag werden die Ausmaße astronomischer Entfernungen in unserem Sonnensystem deutlich. 150.000.000 km sind schwer vorstellbar. Im Vergleich: Der Äquatorumfang der Erde beträgt rund 40.000 km. Zur Sonne ist es 3750-mal weiter! Ein schnelles Verkehrsflugzeug kann 1000 km pro Stunde zurücklegen. Es würde zur Sonne 150.000 Stunden fliegen, das sind rund 17 Jahre! Den Saturn würde es günstigenfalls nach 145 Jahre erreichen, wie sich jeder ausrechnen kann.

Mit unserem „Raumschiff Erde“ legen wir bei einer jährlichen Umrundung der Sonne rund 950.000.000 km zurück. Im Vergleich zu unserem Verkehrsflugzeug fliegen wir über 100-mal schneller, mit rund 107.000 km/Stunde oder rund 30 km/s! Astronomische Dimensionen eben.

## Zusammenfassung: Das heliozentrische Weltbild, in dem die Sonne nicht mehr im Zentrum steht

Anfang des 16. Jahrhunderts kreisten alle Gestirne in ätherischer Masselosigkeit täglich um die ruhende Erde. Allen voran die Fixsternsphäre, gefolgt von den Planetensphären. Ende des 17. Jahrhunderts ruhte die Sonne, die Kopernikus mutig in den Mittelpunkt rückte, nicht mehr im Zentrum. Denn es ist nur annähernd korrekt, davon zu sprechen, dass 'die Planeten um die Sonne kreisen'. Sonne und Planeten bewegen sich um den gemeinsamen Schwerpunkt ihrer Massen. Und das nicht in Kreis-, sondern auf Ellipsenbahnen. Der gemeinsame Schwerpunkt von Sonne und Jupiter liegt außerhalb der Sonnenoberfläche. Die Abbildung 36 zeigt die Bahn der Sonne zwischen 1984 und 1991.



Man sieht, dass sie vor allem mit der Bewegung des Jupiter korrespondiert, der 2,5-mal mehr Masse auf sich vereint als alle anderen Planeten zusammen. Die massereichen Planeten Saturn, Uranus und Neptun beeinflussen die Bahn der Sonne zudem. Sie standen im dargestellten Zeitraum etwa in der gleichen Richtung und verstärkten damit die Bewegung der Sonne. Auch die masseärmeren Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars spiegeln sich in der Sonnenbewegung, allerdings in einem Maßstab, der sich hier nicht darstellen lässt. Wir müssen uns die Bewegungen des Sonnensystems also nicht als ein ‚Kreisen der Planeten um die Sonne‘, sondern eher als ein dynamisches ‚Tanzen der Gestirne‘ vorstellen. Diese Metapher trifft die Bewegungsverhältnisse in unserem Sonnensystem besser.

Vor der kopernikanischen Wende gab es sechs mit bloßem Auge sichtbare Planeten. Nachher sind es fünf: Die Sonne gab ihren Planetenstatus an die Erde ab, und der Mond, der nach wie vor die Erde umkreist, erhielt damit seinen neuen Status als ein Planeten umkreisendes Gestirn gleich den Jupitermonden.

Schwerer als diese astronomischen Einsichten wiegt der wissenschaftliche Paradigmenwechsel, der mit der kopernikanischen Wende verbunden ist. Das Weltall jenseits der Mondbahn erschließt sich dem Verständnis, das die naturwissenschaftliche Vernunft auf unserem Heimatplaneten erwirbt. Die Sonderstellung der ‚himmlischen Sphäre‘ ist gefallen. Ihr Status als ewige und ideale Welt, als Bereich des Göttlichen ist aufgehoben. Die Gesetze der vergänglichen irdischen Welt haben auch im Kosmos Gültigkeit. Dieselbe Gravitation, die irdische Äpfel vom Baum fallen lässt, hält Planeten auf ihrer Bahn. Diese Gesetze beschreiben keine göttlich-idealen, gleichförmig durchlaufenen Kreisbahnen, sondern Ellipsen, die von ihrem Gestirn einmal schneller, ein anderes Mal langsamer durchlaufen werden; Bahnen, die sich gegenseitig stören können. Diese Störungen ließen neue Planeten entdecken, die erst durch optische Hilfsmittel sichtbar wurden.

All dies wurde nur möglich, indem die Mathematik einen neuen Status bekam. Im geozentrischen Weltbild hatte sie die Aufgabe, ‚die Phänomene zu retten‘, nun wurde sie zu einem Erkenntniswerkzeug. Denn sie beschreibt, so das neue Paradigma, die gesetzmäßige Seite des Kosmos. ‚Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben‘, lautete die neue Parole. Erst später stellte man sich Fra-

gen, die dieses Paradigma relativierten: Ist Mathematik die einzige Sprache der Natur? Ist Mathematik eine Art ‚Innenstruktur der Welt‘, die wir forschend *auffinden*, oder ist Mathematik eine *Erfindung* des Menschen, womit rätselhaft wird, warum wir die Welt so trefflich mathematisch beschreiben können.

Fundamental ist die Erkenntnis, dass der unmittelbare Sinneseindruck unseres täglichen Erlebens täuscht. Nicht alle Gestirnsbewegungen, die wir erfahren, entsprechen so, wie wir sie erleben, der Realität. Drei Bewegungen führen wir selbst aus. So geht die Sonne nicht unter, sondern wir drehen uns täglich von der Sonne weg. Die Sonne wandert nicht vor dem Tierkreis, sondern wir selbst vollführen diese schnelle Reise – unbemerkt. Das gleiche gilt für die Präzessionsbewegung des ‚Erdkreisels‘. Auch wenn es empirische Befunde sind, die zu dieser Korrektur des unmittelbaren Eindrucks geführt haben, führten sie dazu, der Realitätstreue unreflektierten Erlebens zu misstrauen. Die alltägliche Erfahrung stellt sich als naive Weltsicht heraus.

Noch schwerer wog die religiöse Verwerfung, die der nachkopernikanische Kosmos auslöste. Die Harmonie zwischen Glauben und Vernunftkenntnis, zwischen den hierarchisch geordneten irdischen und göttlichen Bereichen des christlichen Weltbildes einerseits und dem Sphärenbau des natürlichen Kosmos andererseits, ist von nun an tiefgreifend gestört. Der Blick in den Himmel machte nicht mehr die unmittelbare Gegenwart des transzendenten christlichen Gottes erlebbar. Zudem verlor der Mensch seine Zentralstellung im Weltenbau und damit die Garantie göttlicher Aufmerksamkeit, die ihm als heilsbedürftiges Wesen in der gottfernen, sündigen und endlichen Welt zukam. Es wurde offensichtlich, dass Offenbarungs-‚Wissen‘ und Vernunftwissen nur schwer oder gar nicht vereinbar sind. Für gläubige Menschen, die bis heute daran festhalten, dass Glaube und Offenbarung Erkenntnisse über die Welt generierten, beginnt der alte Disput zwischen Glauben und Vernunft aufs Neue. Bis heute.

Mit dem neuen Weltbild öffnete sich die Möglichkeit, die Fixsterne als Bezugspunkte eigener Gestirnsysteme zu sehen. So, wie Jupiter von seinen Monden umrundet wird, ist nun denkbar, dass die Fixsterne weit entfernte Sonnen darstellen mit eigenen Planetensystemen. Damit wuchs die vorgestellte Größe und Vielfalt des Universums. Giordano Bruno griff diesen Gedanken spekulativ auf und prüfte ihn

auf Konsequenzen, die er für die christliche Gottesvorstellung haben würde. Er musste im Jahr 1600 mit seinem Leben dafür zahlen.<sup>92</sup>

All dies führte dazu, dass sich die Naturwissenschaft von der Theologie und ihren Glaubensinstitutionen zunehmend emanzipierte. Sie entwickelte ihre eigene Methodik, die sich nach den Ansprüchen des jeweiligen Forschungsinhaltes orientierte. Ihren Wahrheitsanspruch konnte sie durch die technischen Errungenschaften unter Beweis stellen, die das Leben der Menschen spätestens ab dem 19. Jahrhundert grundlegend umwälzten. Mit allen Licht- und Schattenseiten: Steigende Lebenserwartung und wachsender Wohlstand zeugen davon, dass der Mensch durch naturwissenschaftlich-technischen Fortschritt Leid in einem nie da gewesenen Ausmaß mindern kann. Durch technische Mittel brutaler werdende Kriege und Technikfolgen, wie der Klimawandel und das Artensterben, zeigen die dramatischen Schattenseiten der Entwicklung. Naturwissenschaftliches Forschen hat methodische Grenzen. Ihre Ergebnisse und Konsequenzen aber müssen genauso vernünftig bedacht und in das Lebensgefühl und die Lebensgewohnheiten der Menschen einbezogen werden, wie religiöse Glaubenswelten immer den Menschen als Ganzes ergriffen haben. Moderne Technik in der Hand und Jahrtausende alte Lebensvorstellungen im Kopf: Diese Mischung macht wenig Hoffnung, die globalen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte zu überstehen.

In Bezug auf die Kosmologie kann man sagen: Die naturwissenschaftliche Seite der kopernikanischen Wende ist abgeschlossen, ihre weltanschauliche jedoch erst, wenn ihre Konsequenzen in den Herzen der Menschen angekommen sind. Die moderne Kosmologie ist den Weg der kopernikanischen Wende weitergegangen, indem sie Beobachtungen gefolgt ist, die das Bild erweiterte und erweitert, das wir uns vom Universum machen. Wurde die Erde ein Planet unter anderen in unserem Sonnensystem, so vergrößerte sich zunächst die Zahl der Sonnensysteme in vorher nicht geahntem Ausmaß und jüngst die Zahl der in diesen Sonnensystemen bekannt gewordenen Exoplaneten. Dabei tauchte der Name Kopernikus erneut auf. Denn wir müssen uns verinnerlichen, dass weder unsere Erde noch der Mensch eine ausgezeichnete, besondere Stellung im Universum innehaben. Wir sind nicht der Dreh- und Angelpunkt des Universums. Das Universum macht nicht den Eindruck, als wäre es für uns geschaffen und mit uns



zu seiner Bestimmung gekommen. Auch wenn der Kosmos aus heutiger Sicht vor allem eines ist: leer, so beherbergt er eine kaum vorstellbare Vielzahl von Welten, sodass wir davon ausgehen müssen, kosmologischer Durchschnitt zu sein. Diese Wendung wird als „kopernikanisches Prinzip“ bezeichnet. Davon soll der dritte Teil dieses Buches handeln.

# **Teil 3: Das kopernikanische Prinzip in der modernen Kosmologie**

## „Warum wird es nachts dunkel?“ – Der Weg zur modernen Kosmologie

### Himmel und Erde physikalisch verwoben

Mit dem Fall der aristotelischen Trennung zwischen irdischer und sub-lunarer Physik wurde der Himmel insofern Teil der Erde, als er von nun an mit irdischer Naturwissenschaft begreifbar ist. Für den christlich denkenden Mensch im Mittelalter war der Himmel noch Heimstatt des Göttlichen, Ausdruck des ewig Schönen. Nikolaus Kopernikus drückt dies in seinem Werk: „De revolutionibus orbium coelestium“ folgendermaßen aus:

*„Was ist denn schöner als der Himmel, der doch alles Schöne in sich enthält? [...] Ihn selbst haben die meisten der Philosophen wegen seiner ausnehmenden Erhabenheit ,sichtbaren Gott‘ genannt.“<sup>93</sup>*

Nun wurde der Himmel Teil der Welt des Vergänglichen. Das einst typische Markenzeichen des sublunaren, irdischen Bereichs, das Werden und Vergehen, wurde auch jenseits des Mondes gefunden. Die Supernova, die Tycho Brahe so sehr irritiert hatte, der Komet, dessen Erscheinen und Verschwinden er so eindeutig jenseits des Mondes im eigentlich Ewigen und Unvergänglichen lokalisiert hatte, waren die sinnlichen Vorboten des jetzt auch physikalischen Zugriffs auf den Himmel, unter anderem durch das Gravitationsgesetz Isaac Newtons.

Umgekehrt ist damit auch die Erde Teil des Geschehens im Kosmos. Kosmische Vorgänge und irdische Vorgänge sind physikalisch wesensgleich. Mit anderen Worten: Die moderne Physik vereint die im aristotelischen Denken getrennten Weltbereiche. Der Weg war geebnet, sich über die Beschaffenheit des Himmels neue Gedanken zu machen und Naturgesetze, die wir auf der Erde vorfinden, auf das Weltall zu übertragen. Verbunden mit immer präziseren Messinstrumenten und neuen Wahrnehmungsfenstern, wie beispielsweise der Beobachtung

im Radiowellenbereich, entwickelte die astronomische Forschung eine bisher nicht gekannte Dynamik.

## Warum wird es nachts dunkel?

Hat man einmal begonnen, irdisches Denken auf den Kosmos anzuwenden, sind es oft die einfachen und scheinbar banalen Fragen, die von größter Tragweite sind. Zum Beispiel, warum es nachts dunkel ist.

Auf ersten Blick scheint die Frage genauso unsinnig, wie jene kindliche Antwort im Hinblick auf die Bedeutung des Mondes und der Sonne, wonach der Mond viel wichtiger sei, da er die Nacht erhellte, während die Sonne tagsüber scheint, wenn es sowieso hell ist. Denn es ist ja schließlich die Sonne, die für das Licht am Tag sorgt und da sie nachts nicht scheint, ist es eben dunkel. Doch so einfach stehen die Verhältnisse nicht. Schon Johannes Kepler wurde von der Frage nach der nächtlichen Dunkelheit umgetrieben.

Nachdem deutlich war, dass die aristotelischen Kristallsphären nicht der Realität entsprechen, war es nicht mehr sinnvoll, von einer Fixsternsphäre zu sprechen. Die Fixsterne füllen damit den Raum außerhalb der Planetenbahnen. Dies folgerte schon Thomas Digges (1546–1595), ein englischer Kosmograf, dessen Anliegen es war, wissenschaftliches Denken populär zu machen. So taucht die Frage auf, wie groß wir uns diesen Raum um das Planetensystem herum vorstellen müssen und ob er gleichmäßig mit Sternen erfüllt ist. Stellt man sich ein endliches Universum vor, so muss dieses einen Rand haben, was das Problem aufwirft, wie dieser Rand beschaffen ist und was sich hinter diesem Rand befindet. Es ist also naheliegender, sich das Universum unendlich vorzustellen. Doch wie weit ist dieser Raum mit Sternen erfüllt? Gäbe es Sterne ausschließlich quasi als Wolke um unser Sonnensystem, wäre unsere „Welteninsel“ ein bevorzugter Ort im unendlichen Universum. Alternativ kann man sich das Universum unendlich und gleichmäßig mit ewig leuchtenden Sternen besetzt vorstellen.

Schon in der Antike wurde über diese Fragen nachgedacht. Auch das in der Renaissance sehr einflussreiche Lehrgedicht „De rerum Natura“ des römischen Philosophen Lukrez (vermutlich 97–55 v. u. Z.),

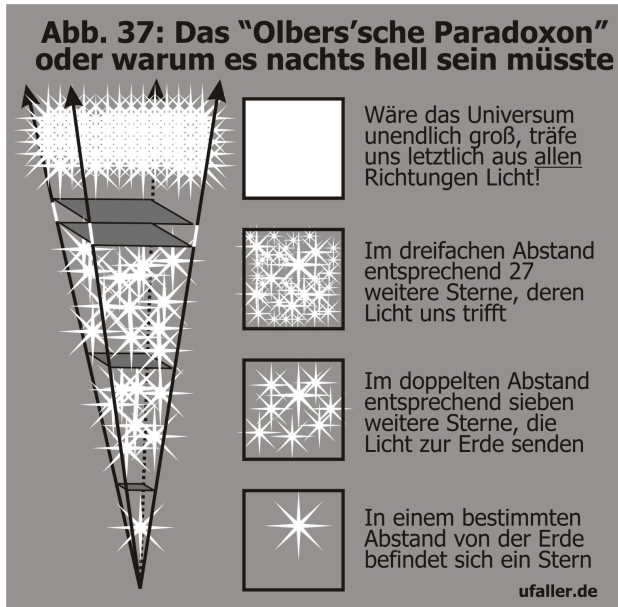
das 1417 wiederentdeckt wurde, ging von einer räumlich unendlichen Materieverteilung aus. Giordano Bruno und Isaac Newton folgten dieser Vorstellung. Newton war der Ansicht, dass die Gravitation eine inselartige Sternenwolke in sich zusammenstürzen lassen müsste (wobei er nicht bedachte, dass diese Sterneninsel durch Rotation stabilisiert werden könnte). Wie selbstverständlich ging man damals noch davon aus, dass Sterne ewig leuchten; dass das irdische Merkmal der Vergänglichkeit so weit geht, dass selbst Sterne eine Art Biografie haben, dass es eine Sternengeburt gibt, genauso wie einen Stermentod, lag zu seinen Zeiten noch außerhalb des Vorstellbaren.

Doch diese drei kosmologischen Annahmen, das Universum sei *unendlich* und *gleichmäßig* mit *ewig leuchtenden* Sternen erfüllt, führt nun zu dem Problem, dass es nachts eigentlich taghell sein müsste! Warum? Aus dem gleichen Grund, aus dem man bei dichtem Nebel nicht sehr weit sehen kann. Befindet man sich an einem Aussichtspunkt, von dem aus man bei gutem Wetter über 100 km ins Land schauen kann, so ist dies bei Nebelwetter nicht möglich. Nebel besteht bekanntlich aus vielen kleinsten Wassertropfchen, und wohin man auch schaut, über kurz oder lang wird der Blick auf einen Wassertropfen fallen, der die Welt hinter ihm verstellt. Denken wir uns, jeder Tropfen wäre eine kleine Lichtquelle; jetzt würde den Beobachter von allen Seiten der Lichtstrahl eines dieser Wassertropfchen treffen. Diese Situation müssen wir uns auf den Kosmos vergrößert vorstellen (Abbildung 37).

Wäre das Universum tatsächlich unendlich und gleichmäßig von ewig leuchtenden Sternen erfüllt, gäbe es keine Richtung, in der der Blick nicht irgendwann auf einen dieser Sterne treffen würde. Auch wenn das Licht eines einzelnen Sternes sich mit dem Quadrat der Entfernung abschwächt, so summiert sich das Licht bei zunehmenden Abstand von immer mehr Sternen auf, was diesen Effekt ausgleichen würde. Der ganze Himmel wäre dann genauso hell wie für uns nur der Ausschnitt der Sonnenscheibe! Es wäre auch nachts taghell.

Zunächst sind wir froh, dass es nicht so ist, denn in einem solchen Kosmos könnten wir nicht existieren. Nicht, dass wir nachts Mühe hätten, zu schlafen. Nein, das Licht brächte nicht nur Helligkeit, sondern auch Energie, die absorbiert würde und unsere Erde erwärmen würde.

Es wäre also nicht nur hell, sondern auch heiß, zu heiß, als dass sich Leben auf unserem Planeten entwickeln könnte.



Aus der Tatsache, dass es nachts dunkel wird, können wir also folgern, dass die oben genannten drei kosmologischen Aussagen gemeinsam nicht der Realität entsprechen. Man bedenke, aufgrund einer einfachen Beobachtung machen wir Aussagen über das gesamte Universum. Allerdings können wir so nicht entscheiden, welche der drei Aussagen falsch ist oder ob zwei von ihnen oder möglicherweise auch alle drei die Realität des Kosmos nicht treffen oder ob wir wesentliche Annahmen vergessen haben. Johannes Kepler übrigens zweifelte an der Unendlichkeit des Universums.

Nun könnte man auf die Idee kommen, dass obige drei Aussagen zwar stimmen, aber uns durch nebelartige Materiewolken zwischen den Sternen der Blick auf helle Sterne im Hintergrund versperrt und es deshalb nachts dunkel ist. Und tatsächlich, die fortgeschrittenen Teleskope zeigen interstellare Materiewolken, die den tieferen Blick ins Universum versperren. Doch leider ist damit nichts gewonnen. Um

das zu verstehen, benötigen wir schon die Physik des 19. Jahrhunderts. Zwischen 1842 und 1847 wurde von Julius R. von Mayer, James P. Joule und Hermann L. von Helmholtz der sogenannte Energieerhaltungssatz formuliert, der besagt, dass Energie weder neu entsteht noch vergeht, sondern lediglich von einer Energieform in eine andere umgewandelt wird. Es gibt bis heute kein Phänomen, das die Energieerhaltung infrage stellt. Das bedeutet, sollte kosmische Materie tatsächlich Strahlungsenergie auf dem Weg zu uns schlucken, dann würde sie sich dadurch so lange erwärmen, bis sie die gleiche Energie in Form von Strahlung wieder abgibt. Diese Strahlung würde uns nachts treffen. Es wäre wieder hell.

Warum wird es nun aber nachts dunkel? Die nächtliche Dunkelheit ist ein ernstes kosmologisches Problem. Es wurde 1952 vom britischen Mathematiker und Kosmologen Hermann Bondi (1919–2005) „Olbers'sches Paradoxon“ genannt. Heinrich Wilhelm Olbers (1759–1840) war ein in Bremen lebender Arzt, der der Leidenschaft der Astronomie verfallen war. Besonders interessierten ihn Kometenbahnen, wobei er eine Methode entwickelte, die Bahn neu entdeckter Kometen schnell und einfach zu bestimmen. 1826 formulierte Olbers das Problem der nächtlichen Dunkelheit, ohne allerdings vorzugeben, hier der Erste gewesen zu sein.

Wir werden auf das Problem zurückkommen. Zunächst müssen wir uns aber ein Bild davon machen, wie sich unsere Vorstellung von der Beschaffenheit des Universums in den letzten 250 Jahren entwickelt hat, wobei wir uns auf einige wesentliche Aspekte beschränken müssen.

## Revolutionen der beobachtenden Astronomie

Wenn man die Bilder auf sich wirken lässt, die populäre Medien von unserem Universum zeichnen, und sie mit der Vorstellung vom Kosmos zur Zeit Newtons vergleicht, so muss man sich schon fragen: Woher wissen wir all diese faszinierenden Details? Woher wissen wir von veränderlichen Sternen, von seltsamen Planeten, die um gigantische Sonnen kreisen, von massereichen Neutronensternen oder fernen Galaxien und nicht zuletzt von der Geschichte unseres Universums, also

auch davon, wie dieses vor vielen Milliarden Jahren kurz nach seiner Entstehung aussah?

Handelt es sich hier, wie gelegentlich behauptet wird, um moderne Mythen, die mehr oder weniger gleichwertig neben den mythischen Überlieferungen vergangener Zeiten stehen, um Einbildungen, die fantasiebegabten Forschern entspringen? Oder haben wir einen direkten empirischen Zugang zum Universum und können diese fremden und sowohl räumlich wie auch zeitlich fernen Welten beobachten?

Noch im 19. Jahrhundert schien ausgemacht zu sein, dass man beispielsweise über die chemische Natur von Sternen nie etwas aussagen könne, da es keinem Raumfahrzeug der Welt möglich wäre, chemische Proben von entfernten Himmelskörpern zu analysieren. Und tatsächlich: Wir Menschen sind inzwischen zum Mond gereist und haben im Jahr 1977 die Raumsonde Voyager 1 auf den Weg durch das Sonnensystem geschickt, die heute etwa 125 mal weiter von der Sonne entfernt ist als die Erde. Nach 36 Jahren Flugzeit mit rund 60.000 km/h hat Voyager gerade den äußersten Randbereich unseres Sonnensystems passiert. Eine gigantische Meisterleistung; doch auch dieses technische Objekt, das so weit geflogen ist wie keine andere menschliche Konstruktion, hat in ihrem jahrzehntelangen Flug eine Strecke überwunden, die einem Zweitausendstel des Weges zum der Erde nächstgelegenen Nachbarstern entspricht!

Woher stammt also das Wissen über unseren Kosmos? Wie können wir uns sicher sein, dass unsere Aussagen über die chemische Entwicklung des Universums insgesamt, über die physikalische Natur der verschiedensten und noch so weit entfernten Himmelsobjekte, über ihre Bewegungsdynamik, ja über ihre Masse, ihre Größe und über die Entfernungsverhältnisse im Universum auch stimmen? Ganz sicher wäre man vor 300 Jahren für verrückt erklärt worden, hätte man die Grundzüge der Kosmologie aus heutiger Sicht damals erzählt. Und man darf sicher sein, dass die Astrophysik in weiteren 300 Jahren so manche der heutigen Vorstellungen genauso belächeln wird. Allerdings waren die damaligen Vorstellungen im Prinzip nicht falsch, sondern ausschnitthaft und vor einem wesentlich eingeschränkteren physikalischen Wissenshorizont gewonnen.

Wir haben gesehen, wie die Erfindung des Fernrohrs das Beobachtungsfeld des Menschen revolutionierte. Zwei Jahrtausende astronomi-



sche Forschung vor Galileo Galilei war darauf angewiesen, ihre Beobachtung ausschließlich mit dem Augenlicht und einfachen, direkt ablesbaren Messinstrumenten durchzuführen. Diese Methode hat Tycho Brahe im 16. Jahrhundert auf das maximal Mögliche optimiert. Der Blick durch ein einfaches Fernrohr, das heute einem günstigen Feldstecher gleichkäme, hatte Galileo innert kürzester Zeit ermöglicht, aus den 5.000 mit dem bloßen Auge wahrnehmbaren Sternen Millionen und Abermillionen Sterne werden zu lassen, die sich zu einem großen Teil in dem mächtigen Band unserer Galaxis vorfinden. Dieser ersten technischen Revolution der beobachtenden Astronomie folgten und folgen viele weitere und tief greifendere.

Wenn man die Fortschritte der Astrophysik in den letzten 300 Jahren bis auf den heutigen Tag verfolgt, so hängen diese Fortschritte ganz wesentlich von Entwicklungen der beobachtenden Astronomie ab. War zunächst die Kunst gefragt, Linsen und, im Falle des Newton'schen Teleskopes, Hohlspiegel möglichst sauber zu schleifen, so beherrscht man diese Kunst heute bis an die Grenzen des physikalisch Möglichen. Jeder Hobbyastronom weiß, dass die Leistungsstärke eines Teleskops weniger davon abhängt, stark zu vergrößern, sondern davon, wie viel Licht es sammeln kann, also vom Durchmesser seiner Optik. Seit dem Ende des 17. Jahrhunderts entstanden so immer neue Observatorien, die sich durch den Durchmesser ihrer Spiegel oder Linsen gegenseitig übertrafen und dabei immer lichtschwächere Objekte immer präziser beobachten konnten. Hat man die von der Wellenlänge des Lichtes abhängige physikalische Grenze des Auflösungsvermögens erreicht, stößt man auf das Problem, dass atmosphärische Turbulenzen die Schärfe des Bildes verwischen. So ist man dazu übergegangen, Sternwarten auf möglichst abgelegenen und hohen Bergen zu bauen. In neuester Zeit hat man eine computergesteuerte Korrekturoptik eingefügt, die auch die Reststörungen durch die Atmosphäre bereinigt. Zudem gibt es optische Teleskope, die jenseits der Atmosphäre in der Erdumlaufbahn kreisen, wie das berühmte Hubble-Weltraumteleskop.

Ein entscheidender Schritt für die Verbesserung der Teleskopbeobachtung des Himmels brachte die Einführung der Fotografie in die Astronomie seit Mitte des 19. Jahrhunderts. Jeder technische Fortschritt im Bereich der Fotografie bedeutete und bedeutet auch einen technischen Fortschritt für die astronomische Beobachtung. Drei Aspekte

sind hierbei wichtig: Zum einen lassen sich durch die Fotografie Himmelsbeobachtungen archivieren und durch den Vergleich mit späteren Himmelsfotografien aus derselben Himmelsregion Bewegungen der Sterne feststellen und in Bezug auf ihre Richtung und Geschwindigkeit quantifizieren.<sup>94</sup> Zum Zweiten lässt sich durch die Fotografie die (relative) Helligkeit eines Sternes objektiv bestimmen und nicht nur mit entsprechender Erfahrung des Beobachters abschätzen. Mit heutigen fotometrischen Verfahren erreicht diese Helligkeitsbestimmung eine hohe Präzision, was, wie wir noch sehen werden, eine wichtige Voraussetzung für die Bestimmung der Entfernung eines Sternes bedeutet. Nicht zuletzt erhöht die Astrofotografie die Lichtausbeute eines Teleskops, wenn man in der Lage ist, das Teleskop über längere Zeit verwacklungsfrei auf den gleichen Himmelsausschnitt zu richten. Im Extrem gelang auf diese Weise 2011 dem Hubble-Weltraumteleskop die Aufnahme einer Galaxie, die über 13 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt ist. 87 Stunden hat das Hubble-Weltraumteleskop hierfür einen Himmelsabschnitt aufgenommen, der vor allem deshalb vielversprechend war, weil hier durch den Linseneffekt eines ebenfalls weit entfernten Galaxienhaufens das Licht der hinter diesem Galaxienhaufen liegenden aufgenommenen Galaxie gebündelt und verstärkt wurde. Mit anderen Worten: Für die astronomische Beobachtung benutzen wir mitunter natürliche Linsen, die durch das Gravitationsfeld ganzer Galaxienhaufen gegeben ist. Man nutzt dabei den gleichen Effekt der Lichtablenkung durch die in der Nähe großer Massen gekrümmte Raumzeit, der 1919 während einer Sonnenfinsternis Einsteins Relativitätstheorie empirisch bestätigte.

Doch damit nicht genug. Schon Newton hatte bemerkt, dass das weiße Sonnenlicht durch ein Prisma in die Farben des Regenbogens aufspaltbar ist. Im Jahr 1800 entdeckt Herschel beim Experimentieren mit den verschiedenen Farben des Regenbogens, dass auch jenseits der Farbe Rot, also da, wo wir keine Farbe und kein Licht mehr wahrnehmen, eine wärmende Strahlung zu finden ist, die Infrarot- oder Wärmestrahlung. Ein Jahr später entdeckte der Physiker Johann Wilhelm Ritter, dass auch jenseits des Violetts eine Strahlung zu registrieren ist, das UV-Licht, vor dem wir uns an warmen Sonnentagen mit Sonnenmilch schützen. Seitdem hat sich gezeigt, dass das sichtbare Licht nur einen ganz kleinen Ausschnitt eines viel umfangreicheren Spektrums

elektromagnetischer Strahlung darstellt, zu dem beispielsweise auch die Radiowellen für den Rundfunk und Funkverkehr gehören. Die Bedeutung des Funkverkehrs im Ersten Weltkrieg hatte die Entwicklung der Radiotechnologie schnell vorangebracht. 1931 experimentierte der Ingenieur Karl Guthe Jansky mit einem hochempfindlichen Antennensystem für Radiowellen, um Störsignale besser einordnen zu können. Diese entstehen z. B. durch nahe oder auch ferne Gewitter. Hierbei bemerkte er, dass Radiosignale auch aus dem Kosmos zu empfangen waren, und ging diesen permanenten Störgeräuschen genauer nach. Es stellte sich heraus, dass sie besonders intensiv aus unserer Milchstraße zu empfangen waren. Dies war die Geburtsstunde der Radioastronomie. Da Radiowellen weniger von kosmischem Staub absorbiert werden als Lichtwellen, lassen sich mit ihrer Hilfe auch Objekte beobachten, die im sichtbaren Licht durch kosmische Staubwolken verdeckt sind. Manche besonders extreme Himmelskörper machen sich vor allen Dingen im Bereich der Radiostrahlung bemerkbar. So entdeckte die britische Radioastronomin Jocelyn Bell 1967 eine im Sekundentakt pulsierende Radioquelle. Diese Objekte bezeichnet man heute als Pulsare. So machen sich die verschiedensten kosmischen Objekte und Ereignisse in unterschiedlichen Frequenzbereichen elektromagnetischer Strahlung bemerkbar. Nur ein Teil dieser Strahlung erreicht den Erdboden, man spricht vom „optischen Fenster“. Es umfasst im Wesentlichen das sichtbare Licht mit dem angrenzenden UV- und Infrarotbereich und den langwelligen Radiowellenbereich. Der ganze Rest wird durch die Atmosphäre absorbiert. Deshalb sind in der modernen Astronomie der letzten Jahrzehnte Weltraumobservatorien wichtig geworden, die oberhalb der Atmosphäre messen und dort jeweils auf verschiedene Himmelsobjekte spezialisiert sind. So sucht beispielsweise der Forschungssatellit Swift, den die NASA betreibt, hochenergetische Gammablitz, die von sehr extremen Ereignissen im Universum herühren.

Damit ist deutlich: Bis vor vierhundert Jahren bevölkerten sichtbare Lichtpunkte, die Fixsterne, den Himmel. Heute ist Licht Teil der elektromagnetischen Strahlung höchst unterschiedlicher Qualität, und entsprechend vielfältig ist das Bild vom Universum geworden, das wir uns durch die Beobachtung dieser Lichtqualitäten im Zusammenhang mit den physikalischen Ursachen dieser Strahlung machen können.

Doch auch damit nicht genug. Im Jahr 1814 entdeckte der deutsche Physiker Joseph Fraunhofer, dass das regenbogenfarbige Spektrum der Sonne an vielen Stellen durch mehr oder weniger deutliche schwarze Linien unterbrochen ist. Er entwickelte ein Spektroskop, um diese Linien genauer zu untersuchen, und katalogisierte fast 600 dieser Linien im Sonnenspektrum. 1860 erkannten die Physiker G. R. Kirchhoff und R. W. Bunsen, dass diese Linien mit bestimmten chemischen Elementen und Verbindungen zusammenhängen, die den entsprechenden Farbanteil des Sonnenlichtes (Licht der entsprechenden Wellenlänge) einerseits im Bereich der Fotosphäre der Sonne und andererseits auf dem Weg zum Beobachter, z. B. beim Durchtritt durch die Atmosphäre, absorbieren. Die „Fraunhoferlinien“, wie sie heute genannt werden, sind demnach ein Fingerabdruck der chemischen Zusammensetzung aller Gase, die das Licht auf seinem Weg vom Entstehungsort zum Spektroskop passiert. Damit steht mit einiger Detektivarbeit das Tor offen zur Erforschung der Chemie des Universums. Denn man hat schnell bemerkt, dass auch Sterne charakteristische Spektren aufweisen und damit chemisch sehr unterschiedlich zusammengesetzt sind. Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse der irdischen Physik und Chemie lassen sich so viele Aussagen über die Temperatur und Zusammensetzung sowohl der Sterne, die Licht aussenden, als auch der kosmischen Gase treffen, durch die Licht auf seinem Weg zu uns hindurchmusste – und das, ohne chemische Proben entnehmen zu müssen.

Licht oder genauer elektromagnetische Strahlung, die, von allen Richtungen kommend, auf der Erde eintrifft, ist für den heutigen Astronomen durchsetzt mit Informationen, die er gerade erst begonnen hat zu dechiffrieren. Eingraviert ist ihr vor allem die Signatur der Entstehungsbedingungen der Strahlung. Mit diesem Stempel ist sie seither in sehr schneller, aber doch endlicher Geschwindigkeit auf dem Weg zu uns, mit rund 300.000 km/s. Daher ist der Blick in die Tiefen des Universums auch ein Blick in die kosmische Vergangenheit. Schon die Sonne erscheint uns so, wie sie vor acht Minuten war, als sich das Licht aus der Fotosphäre der Sonne zu uns aufgemacht hat. Entfernte Sterne, die mit dem unbewaffneten Auge sichtbar sind, können Hunderte Lichtjahre entfernt sein. Das bedeutet, wir sehen beispielsweise die Betelgeuze im Orion so, wie sie vor rund 600 Jahren existiert hat. Sollte

zur Zeit Newtons die Existenz dieses Sternes in einer Supernova geendet sein – nach gängiger Meinung steht ihr das Schicksal im Laufe der nächsten Jahrtausende bevor – so würde sie erst in dreihundert Jahren als unübersehbarer Stern hell am Nachthimmel erstrahlen. Über den heutigen Zustand der Beteigeuze können wir grundsätzlich nichts erfahren, doch dafür sind wir in der Lage, direkt zu beobachten, was vor sehr langer Zeit geschehen ist.

Ein weiteres extremes Beispiel ist die Beobachtung der entferntesten Galaxie, die bisher beobachtet wurde. Im März 2016 veröffentlichte die NASA Bilder der Galaxie GN-z11, die das Hubble-Weltraumteleskop im Sternbild großer Bär abgebildet hatte. Ihr Licht war 13.000 Millionen Jahre zu uns unterwegs.<sup>95</sup> Das bedeutet, wir sehen die Galaxie so, wie sie in dieser entfernten Vergangenheit existiert hat. Über den heutigen Zustand dieser Sterninsel mit all ihren Planeten und womöglich Lebensinseln werden wir nie etwas erfahren. Wenn das Licht, das sie heute ausstrahlt, überhaupt in unseren Bereich des Universums vordringen sollte, wird unser Sonnensystem in dieser Weise nicht mehr existieren.

## **Ein immer tieferer Blick ins All und Entfernungsbestimmungen im Universum**

Wie lässt sich mit einiger Sicherheit etwas über die gigantischen Entfernungen der Sterne oder Galaxien aussagen? Wir erinnern uns: Für Tycho Brahe war die Tatsache, dass er keine Entfernungsbestimmung der Sterne mittels der Parallaxenmethode durchführen konnte, Grund genug, an der Bewegung der Erde um die Sonne zu zweifeln. Spätestens mit dem Erfolg des Newton'schen Gravitationsgesetzes stellte man die Erdrevolution nicht mehr infrage. Doch hieß dies, davon auszugehen, dass die Sterne nahezu gigantisch weit entfernt sind. Denn obwohl die Erde innerhalb eines halben Jahres ihre Position um zwei Astronomische Einheiten verändert – und das sind rund 300.000.000 Kilometer –, ließ sich auch nach der Erfindung einer Linsenoptik zu keinem Stern eine Parallaxe messen.

Das änderte sich erst 1838 durch den deutschen Astronomen Friedrich Wilhelm Bessel. Dieser wurde 1810 vom preußischen König

Friedrich Wilhelm III. zum Leiter einer neu errichteten Sternwarte in Königsberg eingesetzt, die die damals besten Instrumente Europas beherbergte. Dort kamen die ersten achromatischen Linsensysteme zum Einsatz. Achromatische Linsen gleichen farbige Unschärfen aus, die durch das unterschiedliche Brechungsverhalten der verschiedenen Farben zustande kommen. Heute ist dies allgemeiner Standard, damals war es ein gewaltiger Qualitätssprung für Teleskope!

Bessel wählte für seine Parallaxenbestimmung 61 Cygni, einen Stern, der unter optimalen Bedingungen gerade noch mit dem bloßen Auge erkennbar ist. Er schien Bessel deshalb besonders geeignet, weil er zu den „Schnellläufern“ gehört, also zu den Sternen, die ihre Position kontinuierlich und relativ schnell verändern (um etwa den 700. Teil eines Grades jährlich). Zu Recht vermutete Bessel, dass dies nur dadurch möglich ist, dass uns der Stern relativ nahe ist. Und tatsächlich: Hier konnte Bessel eine jährliche Parallaxe beobachten, die etwa den 1200. Teil eines Grades ausmacht, womit 61 Cygni rund elf Lichtjahre (das sind elf mal 9.500.000.000.000 Kilometer) von der Erde entfernt ist.

Wir zählen auch heute 61 Cygni zu den wenigen sonnennahen Sternen. Umso mehr muss das Ergebnis dieser Messung erschrecken. Denn stellen wir uns ein Modell unseres Sonnensystems herunterskaliert auf die Größe Berlins vor, in dem die Erde mit einem Abstand von einem Meter die Sonne umkreist. Nun imaginieren wir kugelförmig um das Sonnensystem in Berlin den uns umgebenden Raum des Universums und suchen 61 Cygni: Wir würden diesen kosmischen Nachbar in einer Entfernung von über 700 Kilometern vorfinden, also etwa in Basel! Innerhalb der Weltraumkugel mit dem Radius Sonne–61 Cygni wären gerade einmal 21 weitere Sterne. Einige davon sind Doppel- oder Dreifachsternsysteme. Dadurch sind nur an 14 Orten innerhalb der vorgestellten Weltraumkugel Sonnensysteme. Der Rest des Raumes ist leer. Begeistert, aber auch schockiert wurde daher die Messung Bessels aufgenommen. Denn so leer das Universum auf der einen Seite ist, so groß muss es andererseits sein, wenn man bedenkt, wie viele Sterne trotzdem zu beobachten sind.

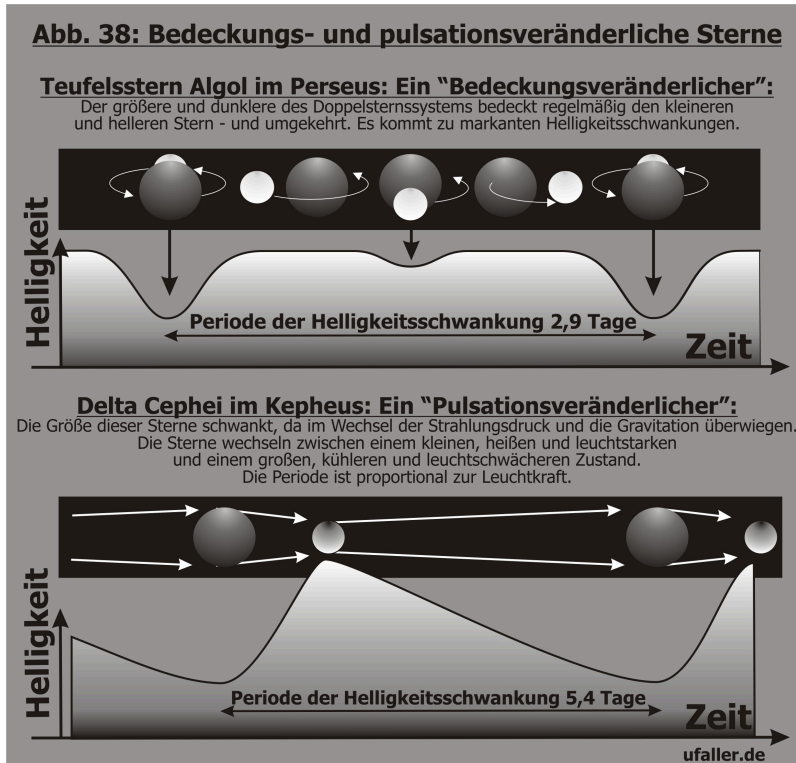
Die Parallaxenmethode kommt aufgrund dieser Entfernungen also nur für nähere Sterne infrage, wie aber kann man den Abstand entfernterer Sterne ermitteln?

Auf der Suche nach neuen Methoden kam der Uranusentdecker F. W. Herschel schon Anfang des 19. Jahrhunderts weiter. Er ging von folgender Überlegung aus: Jeder Stern strahlt sein Licht nach allen Seiten gleichmäßig ab, sodass es sich auf eine immer größer werdende kugelförmige Oberfläche um den Stern herum verteilt. Die Strahlungsintensität wird entsprechend dem Anwachsen der Kugeloberfläche abnehmen. Diese Oberflächen nehmen mit dem Quadrat der Entfernung vom Stern zu. Entsprechend nimmt die Helligkeit, in der ein Stern erscheint, mit dem Quadrat der Entfernung ab. Daraus ergibt sich das „invers-quadratische Abstandsgesetz für Licht“: Die scheinbare Helligkeit eines Himmelsobjektes ist gleich seiner tatsächlichen Helligkeit, geteilt durch die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius des Abstandes des Beobachters ( $4 \pi \text{ Entfernung}^2$ ). Bei gleicher absoluter Helligkeit muss also ein Stern, der dreimal weiter entfernt ist als sein Vergleichspartner nur noch ein Neuntel so hell erscheinen. Nun waren seinerzeit weder die genaue Helligkeit eines Sternes noch die Entfernung eines Sternes bekannt. So ging Herschel – wider besseres Wissen – davon aus, dass alle Sterne etwa gleich hell sind und die scheinbare Helligkeit im Wesentlichen von ihrer unterschiedlichen Entfernung herrührt. Damit konnte er ein dreidimensionales Bild der Sternverteilung ermitteln, indem er die Helligkeit der Sterne mit der des Sirius verglich, wobei er die Entfernung zum Sirius gleich eins setzte und dafür die Einheit „Siriometer“ einführte. Er bemerkte, dass in einer Ebene, in deren Hintergrund die Milchstraße zu finden ist, wesentlich mehr Sterne zu verzeichnen sind als außerhalb dieser Ebene. Herschel erkannte auf diese Weise, dass unsere Sternenansammlung „pfannkuchenartig“ im Raum verteilt ist. Er schätzte sogar die Dicke dieser Ansammlung auf etwa 100 und den Durchmesser auf etwa 1000 Siriometer.

Das invers-quadratische Abstandsgesetz ist auch heute die wichtigste Methode, kosmische Entfernungen zu bestimmen. Die entscheidende Frage ist aber: Wie können wir die tatsächliche Helligkeit (genauer die Leuchtkraft) z. B. eines Sternes ermitteln. Kennt man Sterne, von denen man sicher weiß, wie hell sie leuchten, so kann man ihre Entfernung so präzise bestimmen, wie man fotometrisch die Intensität bestimmen kann, mit der ihr Licht bei uns ankommt. Solche „Objekte

bekannter Helligkeit" gibt es. Sie werden salopp „Standardkerzen" genannt.

Die wichtigsten Sterntypen, die die Rolle von Standardkerzen spielen, sind die Cepheiden (Abbildung 38).



Es handelt sich dabei um einen speziellen Typ veränderlicher Sterne, die nach Delta Cephei, einem der helleren Sterne des Cepheus, des Nachbarsternbilds der Kassiopeia, benannt wurden. Im Jahr 1784 wurde er vom damals 20-jährigen tauben Abkömmling aus englischem Adel, John Goodricke, eingehender untersucht, der schon im Jahr zuvor die Helligkeitsschwankungen des hellsten Sternes im Perseus, des Algol, gedeutet hatte. Der Name Algol kommt aus dem Arabischen und bedeutet „Dämon". So hat man schon ohne Hilfsmittel beobach-



ten können, dass sich Algol in regelmäßigem, fast dreitägigem Rhythmus für einige Stunden markant verdunkelt, er also keineswegs so ewig und unveränderlich leuchtet, wie es sich für die aus aristotelischer Sicht göttliche Sphäre gehört. Daher sein Name. Goodricke deutete die Verdunklung so, dass er Algol für ein Doppelsternsystem hielt, wobei ein Stern den anderen von der Erde aus betrachtet regelmäßig verdeckt. Diesen Typ veränderlicher Sterne nennen wir heute „bedeckungsveränderliche Sterne“.

Auch Delta Cephei verändert seine Helligkeit, allerdings in ganz anderer Weise. So verdoppelt sich die Helligkeit dieses Sterns innerhalb etwa eines Tages, um dann in etwa vier Tagen wieder dunkler zu werden. Dieses Helligkeitsmuster wiederholt sich dabei ständig. John Goodricke erkannte ein ähnliches Muster auch bei dem Stern Eta Aquilae im Adler und war sich klar, dass dieses Schwankungsmuster der Helligkeit nicht durch irgendeine Form von Bedeckung zu erklären ist. Er ordnete sie einer eigenen Gruppe veränderlicher Sterne zu. Heute nennen wir diese Sterne Delta-Cephei-Sterne oder kurz Cepheiden. Bei seinen Beobachtungen zog sich Goodricke eine Lungenentzündung zu, an der er 22-jährig starb.

So widersprüchlich es zunächst scheinen mag, aber gerade diese in ihrer Helligkeit schwankenden Sterne wurden vor etwa 100 Jahren zu den wichtigsten Standardkerzen der Astronomie. Wie kam es dazu?

Um dies zu verstehen, müssen wir die astronomische Forschung des Harvard-College-Observatoriums der Harvard-Universität in Cambridge, Massachusetts, USA, ab Mitte des 19. Jahrhunderts zur Kenntnis nehmen. Hier wurde Pionierarbeit im Bereich der Astrofotografie geleistet. So entstanden die ersten detaillierten Aufnahmen des Erdmondes oder die erste eines Sternes, der Wega im Sternbild Leier, am 17. Juli 1850. Ab 1877 wurde das Observatorium von Edward Pickering (1846–1919) geleitet, der im folgenden Jahrzehnt über eine halbe Million Fotoplatten belichtete. Die auf diesen Fotoplatten abgebildeten Sterne zu vermessen und ihre Helligkeit zu bestimmen, bedeutete eine immense Fleißarbeit. Pickering stellte fest, dass diese von Frauen wesentlich genauer und sorgfältiger und letztlich auch fast um die Hälfte billiger erledigt werden konnte, weshalb er eine weibliche Arbeitsgruppe aufbaute, die scherzhaft „Pickerings Harem“ genannt wurde. Wenn Frauen zu dieser Zeit der Platz an der forschenden Front

eigentlich noch nicht zugestanden wurde, so blieb es doch nicht aus, dass einige dieser Frauen nicht nur brav Daten auswerteten, sondern sich eigene Gedanken von großer Tragweite machten. Eine von diesen war Henrietta Swan Leavitt (1868–1921), die die Forschung an den Cepheiden entscheidend voranbringen sollte. Wie John Goodricke war auch sie infolge einer Krankheit fast taub, was ihr womöglich gerade die Schärfe des Sehsinnes eingebracht hatte, die nötig ist, um die feinen Helligkeitsunterschiede veränderlicher Sterne registrieren zu können. Durch die Astrofotografie konnten Aufnahmen des gleichen Himmelsbereichs, die in aufeinanderfolgenden Nächten belichtet wurden, nebeneinander gelegt und direkt verglichen werden. Auf diese Weise ist es besonders gut möglich, veränderliche Sterne zu entdecken. Leavitt galt regelrecht als Sternsüchtige. Und tatsächlich, sie entdeckte in der Zeit ihrer Arbeit mehr als 2400 veränderliche Sterne. Hierbei beachtete sie vor allen Dingen zwei Merkmale: die Periode der Helligkeitsschwankungen und die scheinbare Helligkeit, wie sie in der Fotografie bestimmt werden konnte. Über die tatsächliche Helligkeit der Cepheiden allerdings ließ sich nichts aussagen, da man damals von keinem Veränderlichen wusste, wie weit er von der Erde entfernt ist.

Trotzdem ließ Leavitt die Frage nicht los, ob die tatsächliche Helligkeit und die Periode der Helligkeitsschwankungen miteinander zu tun haben. Für die Beantwortung dieser Frage hatte sie ihre entscheidende Idee. Als Ferdinand Magellan 1519 während der ersten Weltumsegelung die Südhalbkugel bereiste, beschrieb er als erster Europäer zwei mit bloßem Auge sichtbare wolkenartige Gebilde am Himmel, die dann als Große und Kleine Magellansche Wolke bezeichnet wurden. Fernrohre und Astrofotografie enthüllten, dass es sich jeweils um Ansammlungen von vielen Milliarden Sternen handelte. Leavitt ging nun davon aus, dass die Sterne innerhalb dieser Wolken in etwa eine vergleichbare Entfernung zur Erde haben. Ihr kam nun zu Hilfe, dass Edward Pickering im peruanischen Arequipa einen Außenposten des Harvard-Observatoriums einrichten ließ, in dem ebenfalls Astrofotografie betrieben wurde. So konnte sie sich Fotoplatten von den Magellanschen Wolken zukommen lassen und sie nach Cepheiden durchsuchen. 1912 veröffentlichte sie ihre Ergebnisse mit dem Titel „Perioden von 25 veränderlichen Sternen in der Kleinen Magellanschen Wolke“.

Der von ihr entdeckte Zusammenhang ist nun folgender: Je größer die Helligkeit des Cepheiden, desto länger ist der Zeitraum zwischen den Helligkeitsspitzen. Das ist genial! Denn die Periode eines Cepheiden lässt sich relativ leicht ermitteln. Man muss nur im Tagesabstand Fotos des Sternes machen und die Helligkeitsveränderungen beobachten.

Es fehlte nur, dass man von einem Cepheiden die genaue Entfernung kennt, um damit die „Cepheiden-Standardkerze“ zu eichen. Schon ein Jahr später gelang dies dem dänischen Astronomen Ejnar Hertzsprung zusammen mit dem US-amerikanischen Astronomen Harlow Shapley. Damit lässt sich in einem Dreischritt der Abstand eines Cepheiden relativ leicht ermitteln: Zunächst ermittelt man seine Periode und damit die tatsächliche Helligkeit des Sterns und als Zweites misst man seine relative Helligkeit um dann im dritten Schritt über das invers-quadratische Abstandsgesetz die Entfernung zu errechnen: Man hat also mit den Cepheiden eine kosmische Standardkerze!

Die Cepheidenmethode spielt für die Entwicklung der modernen Kosmologie eine entscheidende Rolle. Henrietta Swan Leavitt sollte dies jedoch nicht mehr erleben: Sie starb mit 53 Jahren an einem Krebsleiden. Ihr zu Ehren tragen ein Asteroid und ein Mondkrater den Namen Leavitt.

## Die große Debatte von 1920

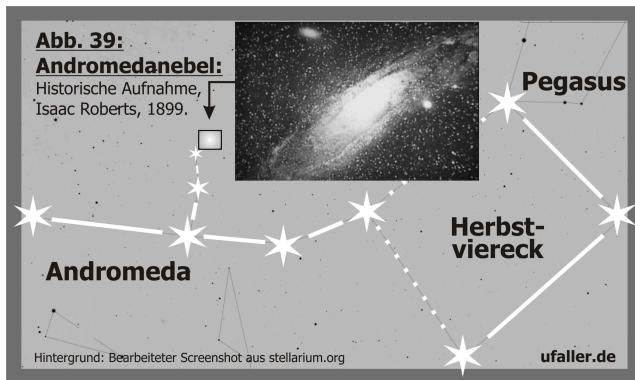
Einer der ersten, der die Cepheiden-Methode für die Entfernungsmessung anwendete, war der 1885 geborene Harlow Shapley. Ab 1914 arbeitete er am Mount-Wilson-Observatorium nordöstlich von Los Angeles, das 1917 ein 2,5-Meter-Spiegelteleskop erhielt und damit für Jahrzehnte das leistungsstärkste Spiegelteleskop der Welt besaß. Hier wurden die entscheidenden Beobachtungen gemacht, die das moderne Bild unseres Universums fundierten.

1918 untersuchte Shapley Kugelsternhaufen. Das sind kugelförmige Ansammlungen von vielen Tausend Sternen im Umkreis unserer Milchstraße, von denen einige schon im 18. Jahrhundert bekannt waren. Mit den auch hier zu beobachtenden Cepheiden bestimmte Shapley die Entfernung dieser Sternhaufen mit durchschnittlich 50.000

Lichtjahren. Er ging davon aus, dass die Kugelsternhaufen ungefähr gleichmäßig um das Zentrum der Galaxie verteilt sind, und schätzte vor diesem Hintergrund die Größe der Milchstraße auf etwa 300.000 Lichtjahre (aus heutiger Sicht um den Faktor drei zu groß). Das war erheblich größer, als sich Astronomen bis dahin unsere Galaxis und damit das damals bekannte Universum vorgestellt hatten!

So rückte eine neue Frage ins Zentrum der astronomischen Diskussion, die am 26. April 1920 während einer Tagung zwischen den Kontrahenten Harlow Shapley und seinem Gegenspieler, dem amerikanischen Professor für Astronomie, Heber Curtis, im Auditorium des National Museum of Natural History in Washington publikumswirksam ausgetragen wurde und dort nicht entschieden werden konnte.

Der Titel der Veranstaltung lautete „Der Maßstab des Universums“. Es ging um die Frage nach der Natur der Nebel, die man mit jedem leistungsstärkeren Teleskop in immer größerer Zahl beobachten konnte. Der französische Kometenjäger Charles Messier hatte Ende des 18. Jahrhunderts begonnen, diese Nebel zu katalogisieren. Er versprach sich davon, nicht immer wieder fälschlicherweise eigentlich schon bekannte Nebel für mögliche Kometen zu halten. Die meisten Nebel sind so lichtschwach, dass sie mit dem unbewaffneten Auge nicht sichtbar sind. Einer allerdings lässt sich in sternklaren Nächten relativ gut ausmachen. Es ist der Andromedanebel im Sternbild Andromeda (Abbildung 39<sup>96</sup>).



Auch heute noch trägt dieser Nebel die Bezeichnung M 31, wobei M für den Messierkatalog steht, in dem er als 31. Nebel gelistet ist. Er gehört zu den Nebeln mit Spiralstruktur.

Sind diese Nebel eigenständige, weit entfernte Galaxien oder gehören sie zu unserer Milchstraße, die damit das gesamte Universum ausfüllt? Ist das ohnehin schon unfassbar große beobachtbare Weltall demnach um ein weiteres Vielfaches größer als „nur“ die Milliarden und Abermilliarden Sterne, die sich in unserer Galaxie befinden? Musste man sich schon an den Gedanken gewöhnen, dass unsere Sonne nur eine von unvorstellbar vielen innerhalb unserer Milchstraße ist, so stand jetzt auf dem Spiel, auch die ganze Milchstraße als nur eine von sehr vielen verstehen zu müssen. Es ging also in der „großen Debatte“ auch um die Frage, ob sich die menschliche Existenz auf unserer Erde ein weiteres, noch unvorstellbareres Mal in den Weiten des Universums verlore. Entsprechend hitzig wurde debattiert.

Shapley vertrat dabei die Vorstellung, dass unsere eigene Galaxie relativ groß ist und das gesamte Universum umfasst. Damit stellte der Andromedanebel ein Himmelsobjekt innerhalb unserer Milchstraße dar. Eines seiner gewichtigsten Argumente war eine im Jahr 1885 beobachtete Nova. Das Licht dieser Nova war ein Zehntel so hell wie das gesamte Licht des Andromedanebels. Das ergibt, so Shapley, nur Sinn, wenn sich dieser Nebel innerhalb unserer Galaxis befindet und wir nicht allzu weit von ihm entfernt sind. Sollte er eine eigene Milchstraße darstellen, wie seine Gegner behaupteten, dann bestünde sie aus vielen Milliarden Sternen und die Nova selbst wäre so hell gewesen wie Hunderte von Millionen Sterne! Shapley hielt diese Vorstellung für grotesk. Damit bleibt nur der Schluss offen, dass der Andromedanebel Teil unserer Milchstraße, damit relativ klein und uns verhältnismäßig nahe sei.

Hier hielt Heber Curtis entgegen: Die 1885 beobachtete Nova sei ein extremer Sonderfall gewesen. Man habe schon viele andere Novae innerhalb der Spiralarme von Nebeln beobachten können, die alle erheblich schwächer ausgefallen sind; ja, die so schwach ausgefallen sind, dass sie im Gegenteil gerade einen Beweis dafür darstellen, dass die Spiralnebel sehr weit entfernt außerhalb unserer eigenen Galaxie zu finden sind.

1920 blieb die Debatte um die Größe des Universums und damit auch um die Stellung der Menschheit innerhalb dieses Universums ergebnislos. Man war sich sogar sicher, dass diese Frage an die Grenzen der Naturwissenschaft stoßen werde und nie entschieden werden könne. Doch schon drei Jahre später sollte es anders kommen!

Im Herbst 1919 traf ein noch junger und sehr selbstbewusster Nachwuchsastronom am Mount-Wilson-Observatorium ein, um hier im Laufe der nächsten Jahrzehnte eine beispielelose Forscherkarriere hinzulegen und dabei zum bedeutendsten Astronomen seiner Generation zu werden: Edwin Powell Hubble (1889–1953). Peinlich nur, dass er in der Frage der großen Debatte nicht die Position seines Vorgesetzten Shapley vertrat. Dies führte zu einem Dauerkonflikt, der erst dadurch endete, dass Shapley 1921 das Mount-Wilson-Observatorium verließ, um Direktor des Harvard-University-Observatoriums zu werden. Hubble stieg schon bald auf in der Hierarchie am Observatorium und bekam dabei immer längere Beobachtungszeiten am 2,5-Meter-Hooker-Teleskop.

Sternenbeobachtung mit großen Teleskopen ist Knochenarbeit. Gerade wenn man lichtschwache Objekte wie Nebel einfangen möchte, muss man oft stundenlang Fotoplatten belichten. Doch wollte man in der Frage der Entfernung des Andromedanebels weiter kommen, so mussten die Aufnahmen so gut sein, dass man möglichst viele einzelne Sterne auflösen konnte. Hierfür saßen Astronomen oft stundenlang mit äußerster Konzentration am Okular, um die Nachführung des Teleskops zu überwachen, d. h., das Fadenkreuz auf einen Referenzstern zu halten. Sie hatten nicht nur mit den Folgen des Schlafentzugs, sondern auch mit der Kälte zu kämpfen. Diese Knochenarbeit mit höchster Konzentration durchzuführen und dabei zu den hervorragenden Ergebnissen zu kommen, war das Markenzeichen Edwin Hubbles. Sie zahlte sich ein erstes Mal in der Nacht des 4. Oktober 1923 aus. Trotz schlechter Bedingungen gelang ihm eine vierzigminütige Aufnahme von M 31. Tags darauf erkannte man einen neuen Fleck, der, so die Vermutung, eine Nova war. So wiederholte Hubble in der Folgenacht diese Aufnahme, um die Nova zu bestätigen. Nun entdeckte er neben der Nova zwei weitere Flecken und notierte sich auf der Platte ein N für mögliche weitere Novae. Um sicherzugehen, verglich Hubble die zwei Aufnahmen mit früheren Aufnahmen aus dem Archiv. Dabei

kam die entscheidende Entdeckung: Zwei der drei Flecken waren tatsächlich Novae, einer allerdings fand sich auf den historischen Platten einmal heller, einmal dunkler: Hubble durchkreuzte das N (für Nova) und schrieb siegessicher „VAR!“ an diese Stelle (für variabel). Es war das erste Mal, dass innerhalb eines Nebels ein Cepheid entdeckt wurde. Der Rest war fieberhafte Fleißarbeit. In den nächsten Wochen bestimmte Hubble die Schwankungsperiode des Cepheiden auf 31,415 Tage, womit der Cepheid 1000-mal heller ist als unsere Sonne. Die Bestimmung der relativen Helligkeit ergab nun die Sensation: Der veränderliche Stern und damit der ganze Andromedanebel waren offenbar rund 900.000 Lichtjahre von der Erde entfernt! Damit ist M 31 eine eigenständige Galaxie außerhalb unserer Milchstraße.

Heute wird ihre Entfernung mit 2,5 Millionen Lichtjahren angegeben. Dies deshalb, weil es, wie man später herausfand, zwei Typen von Cepheiden gibt, einen lichtschwächeren, den Leavitt untersucht hatte, und einen lichtstärkeren, den Hubble, ohne es zu wissen, im Andromedanebel beobachtet hatte.

Doch wie steht es um die 1885 beobachtete Nova und die nach Shapley groteske Vorstellung bezüglich der Helligkeit, die man ihr zu sprechen müsste, sollte sie sich tatsächlich in einem weit entfernten Spiralnebel abgespielt haben? Auch hier gilt, das Groteske ist real. Beobachtet wurde eine Supernova, ein Ereignis von unvorstellbarer Energie, die tatsächlich in der Lage ist, mit der Helligkeit einer ganzen Milchstraße für einige Zeit mitzuhalten!

Die große Debatte war entschieden. Entschieden nicht durch überzeugende Argumente der diskutierenden Kontrahenten, nicht durch Postulieren neuer Dogmen, sondern durch eine einzige – in der Folge aber wiederholbare – Beobachtung. So läuft Wissenschaft. Als einem der Ersten teilte Hubble die Neuentdeckung brieflich seinem ehemaligen Vorgesetzten Shapley mit. Als dieser den Brief gelesen hatte, soll er einer Doktorandin gesagt haben: „Hier ist der Brief, der mein Universum zerstört hat!“ In seinem Antwortschreiben bedankt sich Shapley bei seinem ehemaligen Kontrahenten. Es sei angemerkt, dass viele Nebel, wie beispielsweise der Orionnebel, tatsächlich innerhalb unserer Galaxie zu finden sind.

## Das Universum: statisch oder sich entwickelnd?

Mit Hubbles Entdeckung 1923 hatte sich herausgestellt, dass das Universum um eine weitere Dimension größer ist, als man bisher angenommen hatte. Unsere Milchstraße mit ihren 100 bis 300 Milliarden Sternen ist nicht die einzige Welteninsel, sondern es gibt weitere Galaxien, die ebenfalls viele Milliarden Sterne beherbergen. Diese zu erforschen, wurde Edwin Hubbles Aufgabe, und er saß dafür bei dem seinerzeit lichtstärksten Teleskop in der ersten Reihe. So sollte sein Name für eine weitere Entdeckung stehen, die die Geburt der modernen Kosmologie einleitete, indem er *„unsere Vorstellung vom Universum radikal veränderte als alle anderen Astronomen seit Galilei“*, wie der 2007 verstorbene Astronom Donald Osterbrock sich einmal ausdrückte.

Hubble wurde „Nebelspezialist“, kannte jeden wichtigeren Nebel aus eigener Beobachtung und entdeckte immer neue. 1938 publizierte er ein populärwissenschaftliches Buch über „Das Reich der Nebel“. Er beschreibt den Aufbau unseres Universums auf der Skala der Galaxien mit folgenden Worten:

*„So ist der beobachtete Raum [...] überall und in allen Richtungen nahezu gleich beschaffen. Die Nebel haben untereinander einen mittleren Abstand von 2 Millionen Lichtjahren; das ist etwa das 200-Fache ihres mittleren Durchmessers. Das entspricht Tennisbällen, die 15 Meter voneinander entfernt sind.“<sup>97</sup>*

In dieser Formulierung bringt Hubble das so genannte kosmologische Prinzip zum Ausdruck, dass 1933 vom englischen Astrophysiker Edward A. Milne erstmals formuliert wurde. Es besagt, dass das Weltall homogen ist, d. h., es stellt sich für einen Beobachter unabhängig von dem Punkt, in dem es sich befindet, immer gleich dar. Mit anderen Worten, das Universum ist mehr oder weniger gleichmäßig mit Galaxien angefüllt und würde sich auch für einen Beobachter beispielsweise auf einer zweiten Erde im Andromedanebel oder jeder anderen Galaxie in gleicher Weise beobachten lassen.

Des Weiteren ermittelte Hubble die Masse an beobachtbarer Materie im Universum:

*„Die mittlere Massendichte im Raum kann ebenfalls roh abgeschätzt werden. [...] Würde man den Nebelstoff über den ganzen beobachtbaren Raum*



*verteilen, so würde die mittlere Dichte [...] in etwa einem Sandkorn im Erdvolumen entsprechen.“*

Anders ausgedrückt: Das Universum ist auch und gerade in den großen Maßstäben vor allen Dingen eines: leer! Das gilt ganz besonders für den Raum zwischen den Galaxien, aber, wie wir schon gesehen haben, auch innerhalb der Galaxien. Dieser Leere steht auf der anderen Seite aber eine unvorstellbar große Zahl von Galaxien und damit Sternen und, wie wir heute wissen, auch Sonnensystemen gegenüber. Hubble versuchte die Zahl der Galaxien abzuschätzen.

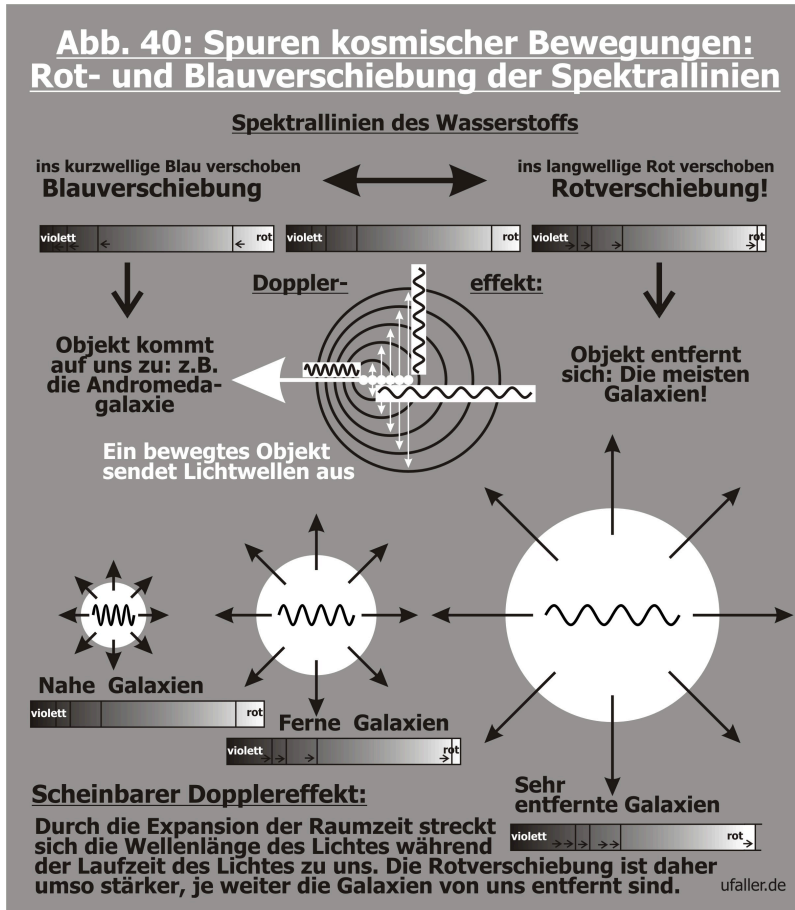
*„Die schwächsten Nebel, die mit dem 100 Inch-Reflektor erkannt werden konnten, befinden sich in einer mittleren Entfernung von 500 Millionen Lichtjahren. Bis zu dieser Grenze dürfte man – abzüglich des galaktischen Verdunklungseffektes – etwa 100 Millionen Nebel beobachten können. Nahe den galaktischen Polen [d. h. senkrecht zur Ebene der Milchstraße], wo die Verdunklung gering ist, zeigen lange belichtete Aufnahmen ebenso viele Nebel wie Sterne.“*

Diese Abschätzung Hubbles gilt auch heute noch. Nur können wir erheblich tiefer ins Universum sehen. Mit dem nach Edwin Hubble benannten Weltraumteleskop sogar bis an den prinzipiell möglichen Beobachtungshorizont, der bei 13,3 Milliarden Lichtjahren liegt, doch davon später. Entsprechend gehen wir heute nicht von 100 Millionen, sondern von 100 Milliarden Galaxien aus, die jeweils etwa 100 Milliarden Sterne beheimaten. Das bedeutet 100 Milliarden mal 100 Milliarden Sonnensysteme, und in einem dieser Sonnensysteme befinden wir uns auf dem dritten Planeten, der im Jahrestakt unsere Sonne umkreist.

Doch damit nicht genug. Die viel entscheidendere Revolution unserer kosmologischen Vorstellung brachte eine ganz andere Beobachtung, die Hubble in den nächsten Jahren machen sollte und die er 1929 veröffentlichte. Ausgangspunkt hierfür ist die genauere Untersuchung der Spektren ganzer Galaxien.

Wir erinnern uns, wenn man das Licht, das von einem astronomischen Objekt kommt, mit einem Spektrum in die verschiedenen Wellenlängen auffächert, dann finden sich hier schwarze Linien an charakteristischen Stellen. Diese Linien sind eine Art Fingerabdruck der chemischen Zusammensetzung zum Beispiel der Galaxien, von denen sie herkommen. Untersucht man die Lage der Linien im Spektrum genauer, erkennt man einen überraschenden Effekt: Die charakteristi-

schen Linienmuster finden sich nicht immer genau an der gleichen Stelle im Spektrum, der man sie hier auf der Erde bei einer entsprechenden Analyse zuordnen würde. Sondern sie sind entweder in Richtung der längeren, energieärmeren Wellenlängen, also in Richtung Rot verschoben, oder aber in die andere Richtung, also zum Blau hin. (Abbildung 40)



Wie lässt sich das verstehen? Eine Alltagserfahrung hilft hier weiter. Jeder kennt die Tonfolge eines mit Blaulicht fahrenden Rettungsfahrzeu-

ges und jeder hat schon ein Fahrzeug im Einsatz an sich vorbeifahren hören. Hierbei fällt auf, dass das Signal deutlich höher klingt, wenn das Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit auf einen zufährt, und niedriger, wenn sich das Fahrzeug wieder entfernt. Dieser Effekt wird nach dem Physiker Christian A. Doppler heute Dopplereffekt genannt. Man kann sich vorstellen, dass die Schallwellen in Fahrtrichtung zeitlich gestaucht werden und damit einen höheren Ton ergeben und dass gegen die Fahrtrichtung gerade das Gegenteil geschieht. Vergleichbares geschieht nun auch mit der Lage der Spektrallinien: Bewegt sich das Objekt, das das Licht ausgestrahlt hat, auf uns zu, wird das ganze Spektrallinienmuster zum Blau hin verschoben. Bewegt sich umgekehrt die Strahlungsquelle von uns weg, wird der Spektrallinienmuster zum Rot hin verschoben. Diese Verschiebung kann mit höchster Präzision gemessen werden. Damit enthält das Licht aller kosmischen Objekte, die wir beobachten können, eine Information darüber, ob sich dieses Objekt auf uns zu oder von uns weg bewegt. Der Astronom spricht von der Radialgeschwindigkeit beispielsweise eines Sternes oder einer Galaxie.

Neben der Suche nach Cepheiden in den verschiedenen Galaxien, die Edwin Hubble benötigte, um die Entfernung dieser Galaxien bestimmen zu können, interessierte ihn vor allen die Radialgeschwindigkeit dieser Nebel. Denn einige Astronomen hatten bei dieser Untersuchung eine Rotverschiebung festgestellt.

Sein erstes Resultat war, dass das Spektrum des Andromedanebels zum Blau hin verschoben ist; die Andromedagalaxie bewegt sich demnach auf unsere Galaxie zu, und wir können schon jetzt sagen, dass sie in einigen Milliarden Jahren beginnen wird, mit unserer Milchstraße zusammenzustoßen. Galaktische Crashes dieser Art kann man an anderer Stelle beobachten, und sie mischen die Biografie einer Galaxie völlig auf. Für das Leben auf unserer Erde ist diese bevorstehende Katastrophe jedoch kein Thema, denn sie wird erst zu einer Zeit beginnen, in der die Existenz unseres Planeten ihr Ende gefunden haben wird.

Doch der Andromedanebel stellt mit der zu uns hin gerichteten Bewegungskomponente eine Ausnahme dar. Nur einige wenige, uns sehr nahe Galaxien bewegen sich auf uns zu. Sie gehören „unserem“ Galaxienhaufen an, dem Virgohaufen, der durch Gravitation aneinandergebunden ist. Alle weiter entfernten Galaxien allerdings bewegen

sich von uns weg; ein Tatbestand, den beispielsweise schon der amerikanische Astronom Vesto Slipher 1912 beobachtet hat, d. h., bevor klar war, dass es sich bei den Nebeln um Galaxien außerhalb unserer Milchstraße handelte.

Jetzt, nachdem es Möglichkeiten gab, die Entfernung von Galaxien zu bestimmen, untersuchte Hubble die Beziehung zwischen der Entfernung einer Galaxie und der Radialgeschwindigkeit, mit der sie sich bewegt. Denn die Stärke der Verschiebung ist ein direktes Maß für die Geschwindigkeit, mit der sich ein leuchtendes Objekt von uns weg- oder zu uns hinbewegt.

Nachdem Hubble bei etwa 30 Galaxien Entfernung und Rotverschiebung hat messen können, erkannte er, dass nähere Galaxien sich relativ langsam, mit unter 500 km/sec (1,8 Mio. Stundenkilometer!), entferntere Galaxien sich relativ schnell, mit bis über 1000 km/sec, von uns entfernen. Trotz der nur geringen Zahl der Galaxien, die Hubble beobachten konnte, macht er an dieser Stelle einen seinerzeit gewagten Schritt, der sich aber bis heute bestätigt hat: Er formuliert das später nach ihm benannte Hubble-Gesetz:

$$\begin{aligned} &\text{Entfernungsgeschwindigkeit einer Galaxie } v \\ &= \\ &\text{Hubble-Konstante } H_0 \times \text{Galaxienentfernung } d \end{aligned}$$

Die immer genauere Bestimmung der Hubble-Konstanten ist bis heute eine wichtige Aufgabe der beobachtenden Astronomie. Die Beziehung ist linear, was bedeutet, dass eine Galaxie, die doppelt so weit entfernt ist wie eine andere, sich auch doppelt so schnell entfernt und damit eine etwa doppelt so starke Rotverschiebung aufweist. Umgekehrt bedeutet das auch, dass eine Galaxie, die sich mit 20.000 km/s von uns wegbewegt, auch doppelt so weit von uns weg ist wie eine solche, die sich nur mit 10.000 km/s entfernt. Da sich die Rotverschiebung sehr genau bestimmen lässt und das Hubble-Gesetz bisher immer, wenn es möglich war, auch bestätigt wurde, benutzt man heute diese Beziehung umgekehrt, um die Entfernung von Galaxien zu bestimmen.

Nun kann man auf den Gedanken kommen, dass wir uns auf eine unerwartete Weise doch wieder im Zentrum des Universums befinden, denn alle Galaxien bewegen sich ja von uns fort, und das umso mehr, je weiter sie von uns entfernt sind. Dem ist aber nicht so, wie

uns folgende Grafik deutlich machen kann. Vereinfacht stellen wir uns einige Galaxien in regelmäßigen Abständen innerhalb einer Ebene zu einem bestimmten Zeitpunkt vor. Nun gehen wir davon aus, dass sich alle Galaxien voneinander entfernen, der Abstand zwischen den Galaxien also wächst, sodass wir zu einem späteren Zeitpunkt die gleichen Galaxien auf einen größeren Raum verteilt vorfinden. Nehmen wir an, wir lebten in einer dieser Galaxien (weiß) und untersuchten von dort aus die Bewegungen der benachbarten Milchstraßen (Abbildung 41):



Wir würden erkennen, dass sich alle Galaxien von uns wegbewegen, und zwar tatsächlich umso mehr, je weiter die untersuchte Galaxie entfernt wäre. Das gilt aber auch für eine beobachtende Zivilisation in einer anderen Galaxie (siehe Bild). Egal, wo wir uns im Universum be-

fänden, wir würden immer die gleiche Gesetzmäßigkeit finden. Genauso wenig wie aus dem Eindruck des täglich um uns kreisenden Himmels folgt aus dieser Beobachtung, dass wir uns im Zentrum des Universums befinden!

Das Universum dehnt sich aus. Es ist Hubbles Verdienst, die empirischen Grundlagen für diese Vorstellung herausgefunden zu haben. Eine Vorstellung mit gravierenden Konsequenzen für das Bild, das wir uns von der Beschaffenheit und Geschichte des Universums machen. Und so entzündete sich eine weitere, Jahrzehnte andauernde Debatte, aus der sich Hubble selbst aber heraushielt.

Offensichtlich dehnt sich das Universum aus und hat sich auch in der Vergangenheit ausgedehnt. Das lässt sich dadurch beweisen, dass der Blick auf eine 100.000.000 Lichtjahre entfernte Galaxie diese Galaxie vor 100.000.000 Jahren zeigt, und auch dort können wir eine Rotverschiebung beobachten. Wenn sich aber alle Galaxien immer weiter entfernt haben, folgt daraus, dass sie einmal viel näher beieinander gelegen haben müssen. Ja, denken wir den Gedanken zu Ende, finden wir die gesamte Materie des beobachtbaren Universums in einem winzigen Raumgebiet vereint, das selbst immer kleiner wird, bis das beobachtbare Universum in einem Punkt vereinigt ist. Als man ernsthafter über diese kosmologische Vorstellung zu diskutieren begann, wirkte sie so absurd, dass man scherzhaft vom „Urknall“ sprach. Diese Bezeichnung ist nicht glücklich, denn es „knallte“ das Universum nicht in einen vorher vorhandenen Raum, sondern die expandierende Raumzeit mit ihrem materiellen Inhalt entstanden erst zu diesem Zeitpunkt.

„Das Universum als Ganzes ist unveränderlich“ – dieses Paradigma saß zu Beginn des 20. Jahrhunderts tief. Als Albert Einstein seine allgemeine Relativitätstheorie entwickelte, bemerkte er, dass seine Gleichungen nicht mit einem statischen Universum in Einklang zu bringen waren. Daher fügte er diesen eine „kosmologische Konstante“ zu, ganz nach dem Motto, dass nicht sein kann, was nicht sein darf; später hat er diesen mathematischen Akt als „größte Eselei seines Lebens“ bezeichnet. Anders der niederländische Astronom und Mathematiker Willem de Sitter (1872–1935), der sich 1917 in einigen Fachartikeln Gedanken über die Konsequenzen der allgemeinen Relativitätstheorie machte, wobei er zu dem Ergebnis kam, dass ein Universum, in dem Materiedichte und Druck verschwindend gering sind,

sich ausdehnen müsste. Der russische Physiker Alexander Friedmann (1887–1925) legte 1922 nach, indem er theoretisch zeigen konnte, dass ein sich nicht entwickelnder, statischer Kosmos instabil ist. Beide Arbeiten blieben allerdings von der wissenschaftlichen Öffentlichkeit unbeachtet. Dies änderte sich erst, als der belgische Astrophysiker und Jesuit Georges Edouard Lemaître (1894–1966) diese Arbeiten aufgriff und 1927 einen Aufsatz vorlegte, nach der das Universum in einer fernen Vergangenheit in einer Singularität, einem mathematisch nicht fassbaren Punkt, begann. Damit war auch die theoretische Astronomie auf der Spur eines „Urknallmodells“. Allerdings stürzen theoretische Modelle keine Paradigmen, dafür bedarf es empirischer Befunde, Beobachtungen, Fakten. Und die ersten lieferte Edwin Hubble.

Allerdings werden Paradigmenwechsel auch nicht allzu leichtfertig vollzogen. So entwickelte der britische Astronom und Mathematiker Fred Hoyle (1915–2001) mit seinen Kollegen Hermann Bondi und Thomas Gold Ende der 1940er-Jahre die sogenannte Steady-State-Theorie, nach der sich das Universum zwar ausdehnt, aber in den hierbei entstehenden Räumen zwischen den sich entfernenden Galaxien ständig neue Materie und damit neue Galaxien entstehen. Damit wäre das Universum insgesamt betrachtet trotz ständiger Ausdehnung gleichförmig. Die Rotverschiebung wäre erklärt, das Universum zwar in Bewegung, trotzdem in gleichförmiger, ständig andauernder Neuentstehung begriffen. Ein „Urknall“, nach dem die gesamte Materie des Universums in unvorstellbarer Dichte vereint gewesen wäre, hätte nicht stattgefunden. Und es gäbe kein wie auch immer geartetes Ende des Universums. Denn was einen Anfang hat, hat auch ein Ende. Der britische Kosmologe Dennis Sciama (1926–1999) entschied sich aus diesem Grund dafür, die Steady-State-Theorie dem Urknallmodell vorzuziehen:

*„Es ist das einzige Modell, in dem es selbstverständlich scheint, dass das Leben irgendwo weitergehen wird, [...] auch wenn die Galaxie altert und stirbt, wird es immer neue, junge Galaxien geben, in denen wahrscheinlich Leben entstehen wird. Und deshalb wird die Fackel immer weitergetragen. Ich glaube, für mich war dies der wichtigste Punkt [die Steady-State-Theorie zu unterstützen].“<sup>98</sup>*

Mit der Möglichkeit, die Rotverschiebung auch mit der Steady-State-Theorie zu erklären, war die kosmologische Diskussion wieder eröff-

net. Auf welche Seite sich die Kontrahenten einer so grundlegenden Diskussion schlagen, hat auch mit den Weltmodellen zu tun, mit denen man die Kosmologie in Einklang bringen möchte. So war es nicht nur ein katholischer Theologe, Lemaître, der das Urknallmodell ins Gespräch brachte, sondern Papst Pius XII. verkündete 1951:

*„[...] es scheint, als sei es der heutigen Wissenschaft mit einem einzigen Streich gelungen, Zeugnis abzulegen von dem erhabenen Augenblick des ersten ‚Fiat Lux‘ [es werde Licht], als zusammen mit der Materie aus dem Nichts ein Meer aus Licht und Strahlung hervorbrach und sich aufteilte und sich zu Millionen Galaxien formte. [...] Daher hat die Schöpfung stattgefunden. Wir sagen: Deshalb gibt es einen Schöpfer. Folglich gibt es Gott!“<sup>99</sup>*

Es gab in der Diskussion um den Urknall für die kontrahierenden Lager viel zu gewinnen, aber auch zu verlieren. Fred Hoyle beklagt sich daher 1956 mit folgenden Worten darüber, wie ideologisch die Diskussion um seine Steady-State-Theorie ausgetragen wurde:

*„Sowohl Katholiken als auch Kommunisten“<sup>100</sup> argumentieren per Dogma. Ein Argument gilt dann als richtig, wenn es aus Sicht dieser Leute auf den richtigen Prämissen beruht, nicht weil es zu Ergebnissen führt, die mit den Tatsachen übereinstimmen. Ja, wenn die Tatsachen mit dem Dogma nicht übereinstimmen, umso schlimmer für die Tatsachen.“<sup>101</sup>*

Für den Wissenschaftler ist der Richter über wahr oder falsch nicht eine Offenbarung oder ein Dogma gleich welcher Art, nicht die persönliche Vorliebe für die eine oder andere Vorstellung, sondern die Empirie. Gibt es Beobachtungen, die nur gemacht werden können, wenn das Universum in seiner Gesamtheit aus einem Urknall hervorgegangen ist, die aber ein Universum mit steter Neuentstehung von Materie gemäß der Steady-State-Theorie ausschließen? So muss gefragt werden, und die Natur antwortet, wenn möglich, mit den entsprechenden Befunden.

George Anthony Gamow (1904–1968) war ein russischer Physiker, der 1934 in die USA floh und als Schüler von Ernest Rutherford, der durch sein Atommodell Berühmtheit erlangte, ein bedeutender Atomphysiker wurde. In den 1940er-Jahren interessierte ihn die Frage, welche Konsequenzen die Vorstellung hat, dass die gesamte Materie des Universums gemäß der Urknall-Hypothese zu Beginn unter hohem Druck und hoher Temperatur auf engstem Raum vereint war. Er kam zum Ergebnis, dass das ganz frühe Universum für Strahlung undurch-



sichtig gewesen sein müsste, da Atomkerne und Elektronen bei der damals herrschenden Temperatur und Dichte nicht als Atome vereint gewesen sein konnten und Atomkerne und Elektronen so jedwede Strahlung immer wieder absorbierten und emittierten. Unter diesen Umständen ist das Universum undurchsichtig, dunkel, konnte kein Licht ausstrahlen, das uns heute noch erreichen würde.

Durch die Ausdehnung des Raumes nahmen Druck und Temperatur schließlich ab. Als das Universum eine Temperatur von 3000 Kelvin hatte, vereinten sich Elektronen und Atomkerne, sodass das Universum durchsichtig wurde. Seither kann sich Strahlung im leeren Raum des Universums ausbreiten. Das früheste Licht, die entfernteste elektromagnetische Strahlung, die wir noch beobachten könnten, müsste von diesem Moment stammen, in dem gleichsam der Vorhang des Universums gelüftet wurde.

Die Strahlung sollte im Hintergrund aller übrigen leuchtenden Objekte vorhanden sein, wenn denn die Urknallhypothese der Wirklichkeit entspräche; lebten wir in einem Steady-State-Universum, gäbe es diese Strahlung nicht. Gamow veröffentlichte seine Vorstellungen 1947. Allerdings konnte eine solche Strahlung zunächst nicht gefunden werden, man konnte weiter streiten und vergaß Gamow und seine Arbeitsgruppe.

## **Der „Rand“ des Universums und warum es nachts doch dunkel wird**

Unsere Geschichte setzt sich fort Anfang der 1960er-Jahre in den südlich von New York gelegenen Bell Laboratories in Crawford Hill, New Jersey. Die Bell Labs forschen intensiv an der Entwicklung der Telekommunikation unter anderem für Satellitenübertragung. Hierfür wurde eine hornförmige Radioantenne mit einer sechs Meter großen Öffnung gebaut und die Physiker und Astronomen Arno Penzias (\*1933) und Robert Wilson (\*1936) eingestellt. Sie erhielten die Erlaubnis, neben der Forschung in Sachen Telekommunikation die Antenne auch für astronomische Durchmusterungen zu benutzen. Hierfür mussten sie ihr Instrument genauestens kennenlernen und optimieren. Das bedeutet bei Radioantennen, wie auch der Laie nachvollziehen kann, das durch störende Radiowellen verschiedenster Her-

kunft verursachte Rauschen zu minimieren. Hierbei entwickelten sie einen bis dahin ungekannten Ehrgeiz. Um die Störgeräusche zu minimieren, sorgten sie für die sorgfältigste Isolierung der Elektronik des Gerätes, suchten das Gelände nach Störquellen ab, justierten das Gerät optimal und konnten so den Empfang optimieren. Allerdings blieb trotz monatelanger Arbeit ein ärgerliches Restrauschen, das ihren Ehrgeiz anstachelte. Sie verjagten sogar eine Taube, die sich in einer Nische der Hornantenne niedergelassen hatte und putzten ihr Gerät aufs Feinste. Ob sie wollten oder nicht – es blieb ein unerklärliches Restrauschen, das aus allen Richtungen zu kommen schien. Frustriert mussten sie sich mit diesem Ergebnis abfinden und erwähnten ihn am Ende einer längeren wissenschaftlichen Abhandlung über ihre Antenne.

Nun forschte in der nahe gelegenen Princeton-Universität der Physiker und Astrophysiker Robert H. Dicke mit James Peebles u. a. in Sachen Urknallhypothese, und sie kamen, wie schon zwanzig Jahre vorher die Arbeitsgruppe um Gamow, zu der Annahme, dass es eine Reststrahlung als Hintergrundstrahlung geben müsste, die im Radiowellenbereich beobachtbar wäre. Er war dabei, einen Detektor zu konstruieren, um die Strahlung nachzuweisen. Durch Zufall erfuhr Penzias von diesen Berechnungen und es fiel ihm wie Schuppen von den Augen: Genau diese Hintergrundstrahlung war die Ursache ihres unerfindlichen Restrauschens. Kein Wunder, dass es aus allen Himmelsrichtungen kam. Penzias rief Dickes an und teilte ihm mit, dass die von ihm postulierte Hintergrundstrahlung schon entdeckt sei. Dieser soll den Hörer aufgelegt und sich an seine Leute gewandt haben mit dem Ausruf „Jungs, man hat uns ausgestochen!“

Die Entdeckung der Hintergrundstrahlung gilt als einer der wichtigsten Beweise für die Urknallhypothese. 1989 bis 1993 wurde ein eigener Satellit, COBE (Cosmic Background Explorer), gestartet, um die Hintergrundstrahlung exakt zu vermessen. Auch ihr Charakter, die relativ gleichmäßige Verteilung, die nur geringen Intensitätsschwankungen in einer aus der Urknallhypothese vorhergesagten Größenordnung, entsprachen den Erwartungen. Diese und noch viele weitere Beobachtungen machten inzwischen aus der Urknallhypothese eine Urknalltheorie, worunter ein Naturwissenschaftler einen weitgehend bewährten und vielfach bestätigten Erklärungszusammenhang versteht.

Wie müssen wir uns aus heutiger Sicht das von uns beobachtbare Universum vorstellen? Wir können mehrere „Sichttiefen“ beim Blick in den Himmel unterscheiden:

- Zunächst können wir mit unbewaffnetem Auge neben Sonne, Mond und den Planeten etwa sechstausend bis achttausend Sterne ausmachen, die sich in einem Umkreis von mehreren Hundert Lichtjahren befinden. Als schwaches Lichtband sehen wir einige Millionen Sterne, die unserer Milchstraße angehören. Zudem erkennen wir als schwachen Nebelfleck die Andromeda-Galaxie und einige Zwerggalaxien.
- Mit Teleskopen lässt sich die Milchstraße in viele Milliarden Sterne auflösen. Sie hat einen Durchmesser von etwa 100.000 Lichtjahren und eine Dicke von 3000 bis 15.000 Lichtjahren. Schauen wir aus der Ebene der Milchstraße heraus, können wir weitere Galaxien ausmachen.
- Die Erkundung ferner Galaxien ergibt den Befund, dass wir etwa ebenso viele Galaxien ausfindig machen können, wie wir Sterne in unserer Milchstraße zählen. Je weiter die beobachtbaren Galaxien von uns entfernt sind, desto tiefer blicken wir in die Vergangenheit des Universums. Die entferntesten beobachteten Galaxien sind über 13.000 Millionen Lichtjahre entfernt und werden von uns in einem Entwicklungsstadium gesehen, das ebenso fern in der Vergangenheit liegt, wie die Galaxie von uns entfernt war, als sie ihr Licht abstrahlte.
- Unser „Blick“ verliert sich aber nicht im Unendlichen. Vielmehr beobachten wir in allen Richtungen einen „Rand“, einen Vorhang aus einer schwachen Strahlung, die in dem Moment ausgesendet wurde, als das Universum durchsichtig wurde. Dahinter können wir optisch nichts erkennen.

Doch Vorsicht: Müsste es nach dieser Vorstellung nicht nachts taghell sein? Trifft doch von allen Seiten Strahlung bei uns ein? Wenn nicht die der Sterne und Galaxien, so doch die Hintergrundstrahlung! Arno Penzin brachte es folgendermaßen auf den Punkt:

*„Wenn sie heute Abend ausgehen und den Hut abnehmen, wird ihr Kopf ein wenig vom Big Bang erwärmt. Wenn sie einen sehr guten UKW-Empfänger haben und ihn irgendwo zwischen den Stationen einstellen, dann hören sie*

*dieses Sch-sch-sch. [...] Von dem Geräusch stammt etwa ein halbes Prozent aus einer Milliarden Jahre entfernten Vergangenheit.*<sup>102</sup>

„Ein wenig erwärmt“? Immerhin war das Universum damals 3000 K heiß, ähnlich den „roten Riesen“ wie Beteigeuze im Orion. Eigentlich müsste also der ganze Himmel in einem Rot leuchten wie eben dieser Stern. Und dies wäre auch der Fall, wenn sich das Universum nicht seit dieser Zeit ausgedehnt hätte, und zwar etwas über den Faktor 1000. Die Strahlung vom Öffnen des Vorhanges hat sich um ebendiesen Faktor gedehnt, man könnte auch sagen abgekühlt. Sie entspricht nur noch etwa der Strahlung eines Körpers mit 3 K (= - 270 °C). Die nächtliche Dunkelheit verdanken wir also auch der Tatsache, dass sich das Universum ausdehnt.

Ein weiterer wichtiger Grund ist die Tatsache, dass der Kosmos so ungeheuer leer ist. Damit schieben sich nur sehr wenige Sterne zwischen uns als Beobachter und dem Vorhang der Hintergrundstrahlung.

Und nicht zuletzt: Sterne gehören nicht einer Sphäre des Ewigen an. Auch sie haben eine Biografie. Sie entstehen und vergehen, werden geboren und fristen ein mehr oder weniger langes Dasein und enden mitunter in unvorstellbaren Katastrophen, den Supernovae. Sie sind also endlich, wie alles endlich ist, was wir aus der irdischen Natur kennen. Der Himmel, der Kosmos und die Erde unterliegen den gleichen Gesetzen, sind Teil der gleichen Welt, in die auch wir Menschen eingebunden sind.

## **Sind wir allein im Universum? – Das kopernikanische Prinzip auf dem Prüfstand**

### **Sind wir allein im Universum?**

Die Frage nach unsresgleichen im All kann auf sehr Unterschiedliches zielen. Am weitesten gefasst meint die Frage, ob unsere Erde der einzige Ort im Universum ist, der Leben beherbergt. Ist im Kosmos mit seinen Abermilliarden Sternen, Gesteins- oder Gasplaneten, Monden

und anderen Himmelskörpern nur die Erde belebt und gibt es ansonsten nur ein reichhaltiges, manchmal dramatisches, zumeist aber einförmiges physikalisch-chemisches Geschehen ohne Lebensformen gleich welcher Art? Das Universum – eine gigantische Wüste mit der Erde als einziger Oase? Oder gibt es hier und dort auch andere Himmelskörper, auf denen biologische Formen entstanden sind? Wenn ja, hat dies eher selten stattgefunden? Oder gehört Leben gar zur kosmologischen Normalität, d. h., wo Leben möglich ist, entsteht es auch? Gibt es darüber hinaus Lebensformen, die sich wie wir Gedanken darüber machen, ob es ihresgleichen gibt? Gibt es also Evolutionslinien auf anderen Himmelskörpern, die so weit gediehen sind, dass eine kulturelle Evolution eingesetzt hat, die womöglich für uns unvorstellbar weiter fortgeschritten ist, als dies bisher auf der Erde der Fall ist?

Nachdem die Erde der zentralen und damit einzigartigen Stellung im Kosmos beraubt und in die Reihe der sichtbaren Planeten zwischen Merkur und Saturn aufgenommen wurde, lag der Gedanke nahe, dass auch die Nachbarplaneten mit Leben, ja vernunftbegabtem Leben bevölkert seien. So schrieb der damals dreißigjährige Immanuel Kant in seiner „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ im Jahr 1755:

*„Indessen sind doch die meisten unter den Planeten gewiss bewohnt, und die es nicht sind, werden es dereinst werden.“<sup>03</sup>*

*„Bei dem Reichtum der Natur [...] könnte es auch wohl öde und unbewohnte Gegenden geben, die nicht auf das genaueste zu dem Zwecke der Natur, nämlich der Betrachtung vernünftiger Wesen, genutzt würden.“<sup>04</sup>*

Und Kant versucht vor dem Hintergrund des Wissenshorizontes seiner Zeit, begründete Mutmaßungen anzustellen, wie es um die – wohlbeachtet intelligenten – Bewohner unserer Nachbarplaneten bestellt ist. Heute ist entschieden, dass wir in unmittelbarer Nachbarschaft keine weiteren Zivilisationen erwarten können. Die Frage nach der Existenz einfacher Lebensformen in unserem Sonnensystem allerdings treibt aktuell große wissenschaftliche Projekte an. Zugleich wissen wir von der Existenz erdähnlicher Planeten außerhalb unseres Sonnensystems. Und so hat die Frage nach Leben im Universum zu einer eigenen Wissenschaftsdisziplin geführt, der Astrobiologie. Ein Wissenschaftsfeld ohne Untersuchungsobjekt, könnte man meinen, haben wir doch bisher keinen einzigen sicheren Beleg für extraterrestrisches Leben gefun-

den. Und doch ist die Astrobiologie eine seriöse und sehr wichtige Disziplin, in der sich Naturwissenschaft und Philosophie unmittelbar verbinden. Denn durch ihre Ergebnisse und Reflexionen wird nicht nur die Neugierde des Menschen befriedigt, sondern sie hat eine fundamentale Selbstreflexion in Bezug auf die Stellung des Lebens unserer Erde im Kosmos und der Rolle des Menschen zur Folge.

## **Was suchen wir, wenn wir nach Leben im Universum fragen?**

Natürlich stellen wir uns extraterrestrisches Leben zunächst so vor, wie wir es von der Erde her gewohnt sind. Im Besonderen E.T.s<sup>105</sup>, Extraterrestrische, werden zumeist menschenähnlich dargestellt, allein die Proportionen ihrer Körper werden zum Vergnügen des Zuschauers ins Groteske abgeändert. Wie berechtigt ist dies? Könnten nicht Wasserstoff-Helium-Organismen die Sonne oder wenigstens den Jupiter bevölkern? Könnten nicht Lebewesen aus Silicium in fantastischen Welten existieren? Ist Wasser wirklich das einzige Medium, das Leben möglich macht? Sind wir also Kohlenstoff-Wasser-Chauvinisten, wenn wir uns Leben erdähnlich als „komplexe Kohlenstoffeinheiten“ vorstellen, die im, am oder mit Wasser ihr Leben organisieren? Astrobiologische Fragestellungen führen dazu, das allzu Selbstverständliche von außen, gleichsam aus der Weltraumperspektive, zu betrachten und zu hinterfragen.

Wie bemerken wir, wenn unsere astrobiologische Suche erfolgreich sein sollte? Das Attribut Leben werden wir sicher nicht im Welt- raum kreisenden Gesteinsbrocken zusprechen, wie den unzähligen Asteroiden oder Kometen, auch wenn Letztere periodisch zum „Leben“ erwachen, wenn sie in Sonnennähe kommen und ihren Kometenschweif entwickeln. Seit uns klar ist, dass ihr Dasein physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgt, werden Kometen nicht mehr als „göttliche Botschaften“ verstanden, sondern in ihrer natürlichen Schönheit bewundert. Auch Gesteinsplaneten wie der Merkur, auf dem – abgesehen vom langsamen Wechsel zwischen Tageshitze und Nachtkälte und gelegentlichen Meteoriteneinschlägen – wenig geschieht, sind tot. Genauso wie Planeten mit einer heftigeren physikalischen Dynamik. Man denke an Jupiter mit seinem roten Fleck, der von einem gewaltigen Or-

kan herrührt, oder seinem Mond Io, der einen extremen Vulkanismus aufweist. Ebenso wenig sprechen wir in Bezug auf die geologischen Prozesse der Erde von Leben, die neben ihrem atmosphärischen Geschehen durch ihre plattentektonische Dynamik ausgezeichnet ist und damit auch ohne ihre belebten Passagiere eine bewegte geologische Geschichte und Gegenwart aufweist.

Der dramatische Sprung von „toter Materie“ zum Reich des Lebens kommt ganz unscheinbar daher: Hier bekommen Steine krustige Überzüge, dort wird der Bachgrund durch eine Schleimschicht glitschig. Im Sumpf entwickeln sich Gase, andernorts verfärbt sich Wasser. Die Täter bleiben dem Auge meist unsichtbar. Prokaryotisches Leben, Bakterien, Blaualgen oder Archaeobakterien verbergen sich hinter diesen Phänomenen. Bis heute stellen sie einen wesentlichen Teil der belebten Materie unseres Planeten. Sie sind von ihrer Gestalt her einförmiger als andere Lebensformen, sind aber vielfach die wahren Stoffwechselspezialisten. Viele kommen mit sehr extremen Lebensbedingungen aus: mit Temperaturen um den Siedepunkt des Wassers, aber auch unter seinem Gefrierpunkt, mit hohem Salzgehalt und extremer Trockenheit; sie kommen mit giftigen Substanzen zurecht oder mit radioaktiver Belastung, sie können in Gesteinsklüften genauso leben wie in der höheren Atmosphäre.

So klein und einfach Bakterien organisiert sind, sie machen uns deutlich, was Leben eigentlich ist: Sie bestehen aus hochkomplexen Molekülen, die sie selbst immer wieder aufbauen und vor Abbau schützen müssen. Sie organisieren und steuern ihre eigene (Bio-)Chemie selbst. Trotz des ständigen Auf- und Abbaus der eigenen Moleküle sind sie sich zu jedem Zeitpunkt selbst ähnlich. Um dies leisten zu können, grenzen sie sich durch eine Membran, nicht selten zudem durch eine Zellwand, von der Umgebung ab. Sie bauen ein Innenmilieu gegenüber den chemischen Bedingungen der Umgebung auf, d. h., sie sind zellulär organisiert. Gleichzeitig sind sie aber nicht abgeschlossen von ihrem Lebensraum. Sie können es nicht sein, da zum Erhalt ihrer eigenen inneren Ordnung Energie benötigt wird, viel Energie. So kann Leben nur in einem ständigen Energiedurchfluss entstehen und bestehen. Neben der Wärme, die aus dem Erdinneren kommt, stammt die Energie für das Leben auf der Erde heute praktisch ausschließlich von der Sonne. Lebewesen sind demnach molekular hochkomplexe,

umweltoffene Systeme, die ein biochemisches Innenmilieu gegenüber ihrer Umgebung aufrechterhalten. Hierbei zeigen sie eine Zeitgestalt: Im einfachsten Fall wachsen ihre Zellen, bis sie eine gewisse Größe erreicht haben und nach einer Teilung ihrer selbst in zwei Tochterzellen weiterleben. Hierdurch vermehren sie sich selbst und ersetzen diejenigen Zelllinien, die aufgrund widriger Umstände ihre Existenz nicht haben behaupten können. Damit gehören zum Leben sowohl der Tod als auch die Fortpflanzung. Die komplexe Selbstorganisation der Zellen bringt es mit sich, dass sie sich nicht immer exakt identisch kopieren. Sie verändern sich ständig und müssen sich in ihrem veränderten Dasein den Umweltbedingungen stellen. Die Konkurrenz, in der sie hierbei mit ihresgleichen stehen, bringt es mit sich, dass sich die eine Form besser, die andere schlechter behaupten kann: Damit ist auch ein biologisch evolutiver Wandel der Lebewesen für Leben konstitutiv.

Stellen wir uns extraterrestrisches Leben vor, so zunächst sicher nicht „belebten Schleim“, sondern makroskopisch sichtbare Lebensformen. Prokaryotische Zellen sind zu einfach organisiert, um Mehrzeller bilden zu können. Hierfür waren zwei Evolutionsschritte nötig: zum einen der Schritt von der pro- zur eukaryotischen Zelle durch Endosymbiose<sup>106</sup>. Letztere haben sich im Zuge der Evolution zu Kolonien zusammengeschlossen und später durch Arbeitsteilung übergeordnete vielzellige Organismen mit verschiedenen Geweben und Organen gebildet. Die Welt der Pflanzen, Pilze und Tiere bis hin zum Menschen ist hieraus entstanden, und allesamt bevölkern wir heute unseren Planeten.

E.T. zeichnet sich aber nicht nur dadurch aus, dass er lebt, sondern vor allem dadurch, dass er über Bewusstsein verfügt. Wer Elefanten, Hunde oder Krähen beobachtet, wird wohl nicht umhinkommen anzunehmen, dass diese über Bewusstsein verfügen. Wie es sich aber *„anfühlt, eine Fledermaus zu sein“*<sup>107</sup>, wird sich uns nie erschließen. So viel wir auch wissen über die *„neuronalen Korrelate [...] des Bewusstseins“*, so muss man ehrlicherweise zugeben, dass sich das Bewusstsein der naturwissenschaftlichen Erklärung noch weitgehend entzieht.<sup>108</sup> In der Form, nach der die Astrobiologie fragt, steht es aber in Zusammenhang mit komplexen, der Informationsverarbeitung dienenden Gewebestrukturen.



Doch E.T. wird erst richtig interessant, wenn er nicht nur einem Tier gleich sein Leben lebt, sondern wenn der Funke kultureller Evolution gezündet hat und extraterrestrische Zivilisationen entstanden sind. Mehr noch, wenn diese auch Technologien entwickelt haben, mit denen sie sich dem Weltraum mitteilen.

## **Biochemie des Lebens oder: Sind wir Kohlenstoff-Wasser-Chauvinisten?**

Beim „Abenteuer Naturwissenschaft“ war und ist man nie vor Überraschungen sicher. Daher scheint es zunächst vermessen, wenn man behaupten möchte, extraterrestrische Lebensformen oder gar Spezies, die auf fernen Himmelskörpern Zivilisationen hervorbringen, seien wie wir komplexe Kohlenstoffgebilde in wässrigem Milieu. Geht man davon aus, dass die Naturgesetze überall in unserem Universum Gültigkeit haben – und das ist hinreichend abgesichert –, so lässt sich aber seriös vermuten, dass komplexeres Leben an eine Kohlenstoffchemie in wässriger Lösung gebunden ist.

Eine wesentliche Eigenschaft des Lebens ist, größere chemische Verbindungen aufzubauen. Diese sind im energiereichen Gaszustand wenig beständig. Eine komplexe gasförmige Biochemie auf fernen Planeten ist deshalb wenig wahrscheinlich. Umgekehrt sind Stoffe im festen Aggregatzustand zu unbeweglich, um einen lebendigen Stoffwechsel zu ermöglichen. Somit wird sich Leben im mehr oder weniger flüssigen Zustand abspielen.

Unter den Bedingungen im offenen Weltall haben nur kleinere Moleküle Bestand. Hierunter gibt es einige wenige Stoffe, die auf Himmelskörpern im flüssigen Zustand vorkommen.<sup>109</sup> Eine Überraschung stellte hierbei der Saturnmond Titan dar, der 1655 vom niederländischen Astronomen Huygens entdeckt wurde. 2005 gelang es, die Sonde Huygens auf Titan zu landen und Messdaten, Fotos, ja sogar „Windgeräusche“<sup>110</sup> auf der Mondoberfläche aufzunehmen. Titan ist größer als der Planet Merkur und dem äußeren Bild nach der Erde nicht ganz unähnlich: Eine dichte, überwiegend aus Stickstoff bestehende Atmosphäre, Gebirge, Regen, Flüsse und Seen prägen sein Bild. Durch die große Entfernung des Saturns von der Sonne hat er allerdings nur sehr geringe Temperaturen (um – 175 °C). Damit können die Seen nicht

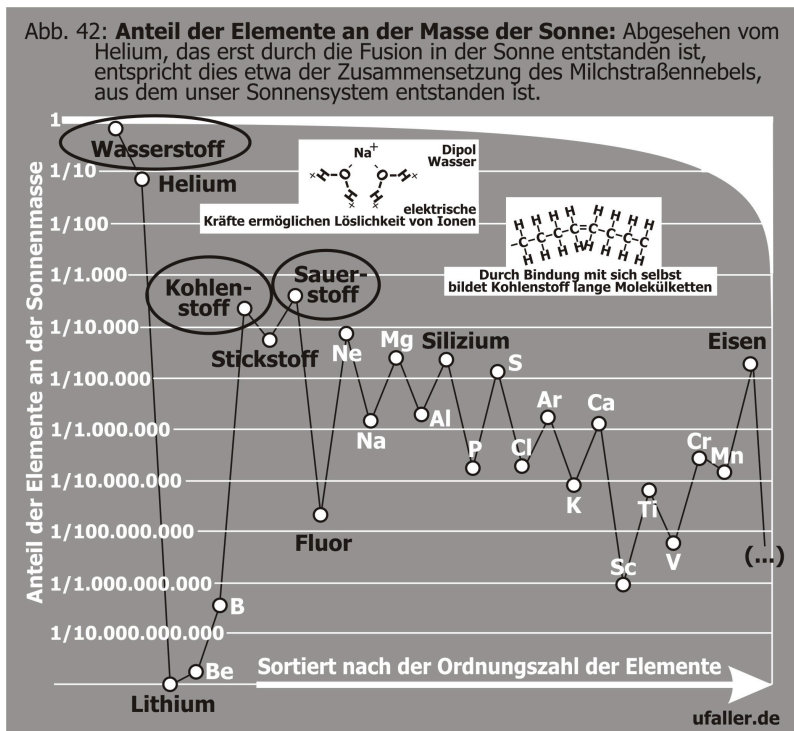
aus flüssigem Wasser bestehen. Es handelt sich um Methan-Seen. Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist bei Temperaturen zwischen  $-182\text{ °C}$  und  $-161\text{ °C}$  flüssig. Das Titangestein besteht aus Wassereis und Methanhydrat. Sehr einfaches, methanbasiertes Leben wäre hier wohl möglich, für komplexere Lebensformen ist es allerdings einfach zu kalt: Gemäß der RGT-Regel<sup>111</sup> sinkt die Stoffwechselaktivität mit der Temperatur drastisch.

Auch Wasserstoff kann unter Atmosphärendruck flüssig vorliegen, allerdings bei noch tieferen Temperaturen von  $-256\text{ °C}$  bis  $-253\text{ °C}$ . Damit ist der Temperaturbereich, in dem Wasserstoff flüssig ist, nicht nur sehr kalt, sondern auch sehr schmal: Für Wasser umfasst dieser Bereich zwischen Gefrieren und Verdampfen bekanntlich  $100\text{ °C}$ !

Eine ähnlich hohe Temperaturspanne, zudem in einem moderaten Temperaturbereich zwischen  $-83\text{ °C}$  und  $+20\text{ °C}$ , weist Fluorwasserstoff (HF) auf. Allerdings ist die Menge an Fluor im Universum erheblich geringer als die an Kohlenstoff oder gar Sauerstoff und Wasserstoff, was ein im Fluorwasserstoff schwimmendes Leben zwar nicht unmöglich, aber doch unwahrscheinlicher macht. Auf Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) sei noch eingegangen: Es ist zwischen  $-78\text{ °C}$  und  $-34\text{ °C}$  flüssig und stellt das vierthäufigste Molekül im Universum dar: Keine schlechten Voraussetzungen für einen Träger des Lebens. Allerdings hat er gegenüber Wasser zwei sehr wesentliche Nachteile. Zum einen ist seine „Dielektrizitätskonstante“ erheblich geringer als die von Wasser (25 gegenüber 80). Damit wird die Abschirmkraft des Lösungsmittels für entgegengesetzt geladene Ionen gegen die elektrostatische Anziehungskraft angegeben: Anionen und Kationen ziehen sich im Wasser nur 1/80-, im Ammoniak 1/25-mal so stark an wie ohne diese Lösungsmittel. Damit stehen Ionen im Wasser für biochemische Reaktionen viel besser zur Verfügung, als dies in Ammoniak möglich ist.

Ein weiterer sehr wesentlicher Vorteil des Wassers als Lösungsmittel des Lebens besteht darin, dass es die einzige Flüssigkeit ist, die sich unter unseren Umweltbedingungen beim Gefrieren ausdehnt und damit als „Eis“ auf der Flüssigkeitsoberfläche schwimmt. Damit bleiben in kälteren Zeiten die Gewässertiefen flüssig. Ammoniak sinkt aber gefroren auf den Gewässergrund. In wärmeren Zeiten muss ein Ammoniak-eiskörper von oben aufgetaut werden. Das schränkt die Zeit enorm ein, die Lebensprozessen in Eiskörpern zur Verfügung stehen.

Somit ist deutlich: Wenn auch andere Flüssigkeiten als Lebensträger im Universum nicht ausgeschlossen werden können, so ist Wasser hierfür doch ideal geeignet. Zudem besteht es aus den im Kosmos am häufigsten vorkommenden Elementen. Dies ist zum einen Wasserstoff, der schon beim Urknall entstanden ist und bis heute das bei Weitem häufigste und ursprünglichste chemische Element darstellt, und zweitens Sauerstoff, der nach Helium das dritthäufigste Element ist (Abbildung 42).



Letzteres rührt daher, dass es in der Spätphase einer Sternbiografie beim sogenannten „Heliumbrennen“ entsteht. Während der längsten Zeit ihres Daseins erzeugen Sterne ihre Energie beim sogenannten „Wasserstoffbrennen“ durch Fusion von Wasserstoff zu Helium. Ist der Wasserstoff verbraucht, beginnt das „Heliumbrennen“, bei dem Heli-

umkerne über Kohlenstoff zu Sauerstoff fusioniert werden. Entsprechend den Energiebarrieren bei der Kernfusion entstehen hierbei relativ viel Kohlenstoff- und noch mehr Sauerstoffkerne. Alle weiteren Elemente entstehen in späteren, energiereicheren und kurzlebigeren Phasen der Sternexistenz, manche sogar erst bei Supernova-Ereignissen. Entsprechend seltener sind sie im interstellaren Raum. Damit ist Wasser der Favorit als Lösungsmittel des Lebens.

Und Kohlenstoff? Er gehört zwar nach dem Sauerstoff zu den häufigsten Elementen im Universum, allerdings tritt seine Häufigkeit in der Kruste unseres Gesteinsplaneten Erde deutlich hinter den häufigen Elementen<sup>112</sup>, wie Sauerstoff, Silicium, Aluminium, Eisen, Calcium, Natrium, Magnesium und Kalium, zurück. Er findet sich anorganisch vor allem im Carbonatgestein (Kalkgestein und Dolomit) bzw. als Diamant oder Graphit und nicht zuletzt als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre. Mengemäßig gering, kommen einfachere Kohlenstoffverbindungen, wie z. B. einige Aminosäuren, in der Kometensubstanz vor. Trotzdem ist der Kohlenstoff das Element, das molekular komplexes Leben erst möglich macht. Warum?<sup>113</sup>

Zunächst sei an die Edelgasregel der Chemie erinnert, wonach die Edelgaskonfiguration z. B. der Edelgase Helium und Neon so stabil sind, dass diese keine chemischen Reaktionen mehr eingehen. Alle anderen Elemente „sind bestrebt“, eine Edelgaskonfiguration herzustellen, wobei sie entweder durch Elektronenaufnahme bzw. -abgabe zu Ionen werden oder Elektronen mit anderen Atomen teilen und dabei sogenannte kovalente Bindungen aufbauen. Der Kohlenstoff steht nun genau zwischen den Edelgasen Helium, von dem ihn Bor, Beryllium und Lithium trennen, und Neon, vor dem Stickstoff, Sauerstoff und Fluor kommen. Er benötigt daher vier Bindungen und damit bis zu vier Reaktionspartner. Sein großer Vorteil ist, dass er sich selbst Reaktionspartner sein und dabei sehr lange Kohlenstoff-Molekülketten bilden kann, und das auch mit Zweifach- und Dreifach-Bindungen oder Ringstrukturen. Diese sind einerseits stabil genug, um einen ausreichenden Bestand zu haben, andererseits auch nicht zu stabil, sodass sie mit moderater Energie und unter Zuhilfenahme biologischer Katalysatoren, den Enzymen, in vielfältigster Weise aufgespalten und neu verknüpft werden können. Damit sind dem „Einfallsreichtum“ organisierter Molekülstrukturen keine Grenzen gesetzt.

Nach außen hin sind Kohlenstoffketten, die mit Wasserstoff verknüpft sind, elektrisch neutral, unpolar, wie man sagt. Sie sind dann nicht mehr wasserlöslich, also hydrophob. Hierzu gehören Öle und Fette, also zwischen 0 °C und 100 °C mehr oder weniger flüssige Stoffe, die aber nicht oder nur bedingt wasserlöslich sind. Durch den Einbau von Sauerstoff oder Stickstoff in die Kohlenstoffketten aber verschieben sich die Ladungsverhältnisse in den Kohlenstoffketten und sie werden teilweise oder ganz polar, also wasserlöslich oder hydrophil. Es ist auch möglich, dass Teile eines Kohlenstoffmoleküls polar und andere unpolar zu sind, je nachdem, wo Sauerstoff oder Stickstoff eingebaut wird. Dieses Spiel mit der Wasserlöslichkeit ist ganz entscheidend wichtig zur Herausbildung belebter Strukturen: Es können Biomembrane entstehen, die spezielle Reaktionsräume abgrenzen, es können wasserlösliche von fettlöslichen Stoffen getrennt werden, sprich, es ist möglich, im flüssigen Zustand komplexe und dynamische Strukturen zu schaffen, ohne dass diese erstarren oder sich verflüchtigen. Dies lässt den Kohlenstoff zu einem Favoriten für die Chemie des Lebens werden.

Auch Silicium kann Ketten mit sich selbst bilden, steht es doch in der selben Gruppe des Periodensystems gleich unter dem Kohlenstoff. Und tatsächlich, siliciumbasiertes Leben ist nicht auszuschließen. Allerdings ist es fragwürdig, ob diese Lebensformen, sollte es sie geben, die gleiche Komplexität erreichen könnten, wie kohlenstoffbasiertes Leben. Denn Silicium hat durch seine viel größere Elektronenhülle den Nachteil, dass seine Mehrfachbindungen wenig stabil sind. Das grenzt die Vielseitigkeit eines Silicium-Lebens erheblich ein. Umso stabiler ist allerdings sein Oxidationsprodukt, das  $\text{SiO}_2$ , das allgemein als Quarz, Bergkristall oder Sand bekannt ist. Stabiler vor allem im Verhältnis zu seinen reduzierten Verbindungen, wie beispielsweise  $\text{SiH}_4$ , das bei Anwesenheit von Sauerstoff schnell reagiert. Das sieht beim Kohlenstoff schon anders aus:  $\text{CH}_4$  reagiert in der Atmosphäre erst über Jahrzehnte zu  $\text{CO}_2$  (leider, denn es ist ein starkes Treibhausgas). Zudem ist  $\text{CO}_2$  bekanntlich gasförmig und steht so der Wiederaufnahme in den lebendigen Kohlenstoffkreislauf sicher einfacher zur Verfügung, als dies mit Quarzsand der Fall wäre. Man sieht: Silicium-Leben hätte einige Schwierigkeiten zu meistern. Für Leben, das sich in komplexere Höhen aufschwingt, ist die Kombination aus Wasser- und Kohlenstoffchemie

erheblich naheliegender: Wir sind also keine Kohlenstoff-Wasser-Chauvinisten, wenn wir uns extraterrestrisches Leben zumindest in dieser Hinsicht als uns ähnlich vorstellen. Vielleicht werden wir durch die Entdeckung entsprechender Lebensformen eines Besseren belehrt.

Ein Wesentliches sei aber noch bedacht: Leben benötigt Energie, viel Energie. Nicht zu Unrecht denken wir an die Sonne. Aber das ist letztlich nicht so zwingend, wie es scheinen mag. Auch aus dem Inneren des Himmelskörpers können genügend Energiemengen zur Verfügung stehen. So gibt es auch auf der Erde entlang der Rift-Valleys an heißen Schwefelquellen ganze Lebensgemeinschaften, an deren Basis Schwefelbakterien stehen, die ihre Energie aus der Oxidation von Schwefelwasserstoff entnehmen. Man kennt ähnliche Lebensgemeinschaften auch unter kilometerdickem Eis, zum Beispiel am Vatnajökull in Island in Seen, die von Vulkanen flüssig gehalten werden. Ähnliche Bedingungen herrschen auch auf dem Jupitermond Europa, einem Eismond mit einer aufgrund des Sonnenabstandes sehr tiefen mittleren Oberflächentemperatur von  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Unter einer mächtigen Eisschicht vermutet man einen ebenfalls Kilometer mächtigen Ozean. Dieser Mond ist einer der Hoffnungsträger für extraterrestrisches Leben in unserem Sonnensystem und dementsprechend werden schon Europa-Missionen geplant, die dies erkunden sollen. Eines ist aber schon jetzt klar: Auch ohne oder mit nur geringem Energieeintrag durch Sterne sind Oasen des Lebens im Universum denkbar.

## Das kopernikanische Prinzip

Im christlich-geozentrischen Weltbild lebte der Mensch an einem einmaligen Ort im Kosmos. Zwar war es ein Ort größter Gottesferne, eine Welt der Vergänglichkeit und des Leides, ein Schauplatz, auf dem sich das ewige Schicksal eines jeden entscheidet: also keinesfalls ein Paradies. Aber dennoch war man sich durch die zentrale Lage im kosmischen Geschehen sicher, dass sich buchstäblich alles um die Erde und – als Krönung der Schöpfung – um den Menschen und seine Heilsgeschichte dreht. Ohne sich der Konsequenzen seines Eingriffes in vollem Umfang bewusst zu sein, rückte Kopernikus diese unsere Erde aus dem Mittelpunkt und reihte sie als eine unter mehreren in den Status

der Planeten ein, die um die Sonne kreisen. Damit lag der Gedanke nahe, dass es im Kosmos auch andere lebensfreundliche Welten und vernunftbegabte „Menschen“ gibt. Ein Gedanke, der nach Kopernikus von vielen als naheliegend angesehen wurde. Neben Kant spekulierte auch Giordano Bruno schon in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts darüber, dass das Weltall unendlich sei und von ebenfalls unendlich vielen Lebewesen bevölkert werde. Anfang des 19. Jahrhunderts publizierte gar der deutsche Astronom Franz Gruithuisen, er habe im Fernrohr Beweise für eine Mondzivilisation entdeckt.<sup>114</sup>

Mit dem heliozentrischen Weltbild war man sich immer noch sicher, nahe am Zentrum des Universums zu leben. Doch auch dieses Lebensgefühl sollte nicht lange anhalten. Die Sonne ist nach heutigem Wissen nur ein Stern unter Milliarden anderen in unserer Milchstraße und ebenso wenig das Zentrum des Universums wie vorher die Erde. Inzwischen wissen wir, dass unser Weltall von vielen Milliarden Galaxien bevölkert ist und kein Zentrum hat. Unser Ort auf der Erde hat in Bezug auf das ganze Universum keine herausragende Position. Der Astronom Hermann Bondi, der an der Steady-State-Hypothese mitgearbeitet hatte, prägte in den 1960er-Jahren für diesen Paradigmenwechsel den Ausdruck „kopernikanisches Prinzip“, das besagt, dass der Mensch als Beobachter keinen besonderen Platz im Universum einnimmt.

Man kann das kopernikanische Prinzip auch enger fassen und antiteologisch formulieren, indem man darauf verweist, dass der Kosmos ist nicht speziell auf den Menschen hin zugeschnitten sei. Des Menschen Lebensraum, unsere Erde, nimmt einen zufälligen Platz im Universum ein, der zwar geeignet ist, Leben zu ermöglichen, aber nicht den Eindruck erweckt, er würde die Quintessenz kosmologischer Evolution darstellen. Das kosmologische Geschehen umfasst im Wesentlichen Prozesse, die sich selbst genügen und weder Leben noch bewusstes Leben zulassen, ja dieses sogar zerstören können. Das Universum erweckt nicht den Eindruck, dass es darauf angelegt sei, Leben oder gar bewusstes Leben zu beherbergen. Letzteres ist mehr eine Randerscheinung auf der kosmologischen Bühne. Was noch Kant in der oben zitierten Textstelle als Selbstverständlichkeit hinstellte, in der er von einem „Zweck der Natur“ spricht, der in „der Betrachtung vernünftiger Wesen“ bestünde, ist gerade nicht erkennbar. Im Gegenteil,

das Universum hat seine eigene Geschichte, der vernunftbegabte Wesen bestenfalls eine mehr oder weniger lange Weile zuschauen dürfen, um dann wieder der Bedeutungslosigkeit anheimzufallen – zumindest, was kosmologische Dimensionen anbelangt. Weder der Mensch noch das Leben überhaupt sind Ziel oder Zweck der kosmologischen Evolution, sondern eine Begleiterscheinung, wenn lebensgünstige Umstände es zulassen.

Das kopernikanische Prinzip besagt aber auch, dass wir nicht allein im Universum sind. Denn wenn unsere Erde so speziell nicht ist, muss es viele vergleichbare Orte im Universum geben; vielleicht schlechter, aber möglicherweise auch besser geeignete. Angesichts der ungeheuer großen Zahl der Sterne können wir sogar vermuten, dass es im Universum von Leben und Zivilisationen nur so wimmelt. Daraus nährt sich die Hoffnung gegenwärtiger Forschung, Hinweise für Leben auf fernen Planeten zu finden oder gar Signale einer extraterrestrischen Intelligenz zu empfangen. Wir wollen wissen, ob wir tatsächlich kosmologisches Mittelmaß sind und damit einen belebten Planeten unter vielen, eine Zivilisation unter weiteren darstellen. Oder sind wir, wenn auch an diesem verlorenen Ort im Universum, einmalig und einzigartig und von daher zumindest das Zentrum des belebten und vernunftbegabten Kosmos? Quasi ein Mittelpunkt in der Abgeschiedenheit? Ein extremer Sonderfall, eine „einsame Erde“<sup>115</sup> im kosmischen Meer.

Die aktuelle astronomische Forschung gibt Anlass, zumindest einige Aspekte dieser Schlussfolgerungen aus dem kopernikanischen Prinzip zu prüfen. Damit steht der Paradigmenwechsel, den Kopernikus eingeleitet hat, erneut auf dem Prüfstand.

## Die Erde aus der „Weltraumperspektive“ als Modellfall

Man kann auch umgekehrt formulieren: Entspricht das kopernikanische Paradigma der Realität, dann *sind* wir nicht allein im Universum, sondern es gibt mit großer Wahrscheinlichkeit noch eine mehr oder weniger große Anzahl belebter Orte und mehr oder weniger entwickelte Zivilisationen in unserer Milchstraße und darüber hinaus im gesamten Universum. Und wenn dies stimmt, dann können wir uns den



Gedankengängen des Astrophysikers J. Richard Gott anschließen.<sup>116</sup> Er wandte das kopernikanische Prinzip auf die Frage an, wie lange es Menschen wohl noch gäbe: *„Der Ort im Universum, an dem Sie, verehrter Leser, leben, und der Zeitpunkt Ihrer Geburt sind nur durch die Tatsache ausgezeichnet, dass Sie ein intelligenter Beobachter sind. Wenn Sie nichts weiter wissen als das, sollten Sie sich auf den Standpunkt stellen, Sie seien aus der Menge aller (vergangenen, gegenwärtigen und künftigen) Beobachter nach dem Zufallsprinzip ausgewählt worden; Sie könnten irgendeiner von ihnen sein.“* Wenn man mehr über uns als Beobachter nicht weiß, dann ist die statistische Aussage naheliegend, dass wir heute sehr wahrscheinlich weder kurz nach Beginn der Existenz der Menschheit, noch kurz vor deren Ende leben, sondern irgendwo zwischendrin.

Übertragen wir dieses statistische Argument auf die Lebensgeschichte unseres Planeten Erde, so können wir berechtigt vermuten, dass sie wahrscheinlich einen durchschnittlichen Verlauf genommen hat. Vielleicht über- oder unterdurchschnittlich, aber doch eine Entwicklung, die so oder so ähnlich vielerorts nicht nur möglich ist, sondern auch stattfand, findet und finden wird. Es ist hingegen sehr unwahrscheinlich, dass gerade wir auf einem Planeten leben, dessen Lebensgeschichte durch die Anhäufung unwahrscheinlicher Ereignisse Wendungen genommen hat und nimmt, die nicht andernorts in anderer, aber im Ergebnis vergleichbarer Weise stattgefunden haben oder noch stattfinden werden. Kurzum, wir sind zwar im nahen kosmischen Umfeld ein Sonderfall, aber innerhalb unserer Milchstraße oder gar im Universum insgesamt mit großer Wahrscheinlichkeit Durchschnitt.

Das bedeutet aber auch, dass wir die Geschichte unseres Planeten als Modellfall dafür betrachten können, wie wir uns die Lebensbiografien anderer möglicher „Erden“ vorstellen können. Damit haben wir die Möglichkeit abzuschätzen, wie viele belebte Planeten oder Zivilisationen in unserer Milchstraße und im Universum insgesamt zu erwarten sind. Dies verbirgt sich hinter dem Umgang mit der sogenannten „Drake-Gleichung“, mit der wir unsere Gedanken in für unsere Zwecke veränderter Form spielen lassen wollen.

Doch zunächst müssen wir uns in sehr groben Zügen die „Modell-Geschichte“ unseres Planeten samt unserer sich abzeichnenden plane-

taren Zukunft vergegenwärtigen. Diese komplexe und spannende Geschichte kann hier allerdings nur in groben Zügen angedeutet und – für uns wichtig – zeitlich eingeordnet werden.<sup>117</sup>

**Hadaikum: 4500–3800 mya <sup>118</sup>, Bildung von Erde und Sonnensystem.** Die Geschichte unserer Erde ist verknüpft mit der Geschichte unseres Sonnensystems und begann vor etwa 4600 mya aus einem interstellaren Urnebel heraus. Die Geschichte der Erde ist damit wesentlich jünger als die Geschichte des Universums insgesamt, dessen Beginn wir vor etwa 13.700 mya einordnen müssen. Dies ist schon deshalb für einen belebten Planeten notwendige Voraussetzung, weil die Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff sowie alle Elemente, die schwerer sind als Helium, innerhalb eines, wahrscheinlich sogar zweier Vorläufersterne erbrütet werden mussten. Dieser Tatbestand wird poetisch gerne so ausgedrückt, dass wir aus „Sternenstaub“ bestehen.

Mit dem Zünden der Kernfusion unserer Sonne begann auch die Planetenentwicklung, indem sich aus dem kosmischen Staub feste Materiekeime bildeten. Nahe an der Sonne verfestigten sich dabei bei höheren Temperaturen vor allem Metalle und Silikate. Diese „Planetenkeime“ fanden sich zunächst durch chemische Wechselwirkungen, dann zunehmend aufgrund ihrer Gravitation zusammen und wuchsen zu immer größeren Planetenvorläufern an, die weitere Materie binden konnten, bis sie zu ihrer heutigen Größe herangewachsen waren. Später differenzierte sich die Erde in den schweren Eisen-Nickel-Kern und den leichteren Silicium-Sauerstoff-Mantel mit der Erdkruste.

Eine wichtige Besonderheit der Erde ist ihr ständiger geologischer Umbau der Erdkruste im Zuge der Plattentektonik. Mehrmals bildeten sich große Superkontinente, die anschließend auseinanderbrachen – zuletzt Pangäa im Erdmittelalter. Es gab geologisch ruhige Phasen, aber auch Zeiten größerer Gebirgsbildungen. Letztere waren begleitet von vulkanischer Aktivität mit vermehrtem CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Der dadurch bedingte Treibhauseffekt führte zu klimatischen Katastrophen, sorgte insgesamt aber für relativ stabile Klimaverhältnisse. Die Plattentektonik lässt sich aus der Größe unseres Gesteinsplaneten, seinem Abstand von der Sonne und seiner Rotationsgeschwindigkeit erklären.<sup>119</sup>

Die äußeren Planeten entstanden jenseits der „Frostgrenze“, die zwischen Mars und Jupiter liegt. Ihnen stand bei ihrer Bildung mehr

Materie zur Verfügung, da bei den kühlen Temperaturen in Sonnenferne<sup>120</sup> auch Wasser (weiter außen auch Ammoniak und Methan) kondensierte. Sie wurden daher schwerer und konnten so Wasserstoff und Heliumgas an sich binden. Hierdurch bildeten sich im äußeren Sonnensystem massehaltige Gasplaneten im Gegensatz zu den inneren Gesteinsplaneten. Besonders massereich ist der innerste der Gasplaneten, Jupiter, ein Glücksfall für die Erde, denn er fängt viele Meteoriten und Kometen ab, die ansonsten viel häufiger die Erde treffen würden – mit oftmals katastrophalen Folgen für ihr Leben.

Während der Bildungsphase des Planetensystems und der Zeit, in dem die Bereiche um die Planetenbahnen von Asteroiden freigeräumt wurden, gingen immer wieder Meteoritenschauer auf die Erde nieder. Eine gewaltige Kollision fand schon kurz nach Entstehung der Erde vor 4500 mya statt. Ein etwa marsgroßer Protoplanet traf die Erde im Streifflug, zerschellte und verband sich teilweise mit ihr. Ein anderer Teil wurde aber in die Erdumlaufbahn geworfen und bildete den Erdmond.

Die Frühzeit der Erde ging mit einem Abschnitt massiver Meteoriteneinschläge zu Ende, dem „schweren Bombardement“. Es wurde möglicherweise dadurch ausgelöst, dass die Gasplaneten ihre Umlaufbahnen auf ihre heutige Position hin veränderten und dabei viele wasserhaltige Gesteinskörper auf Erdkurs brachten. Ein Großteil des Wassers kam auf diese Weise auf die Erde, ein anderer Teil gaste bei vulkanischen Aktivitäten aus. Manche dieser Einschläge waren so energiereiche Ereignisse, dass Wasser, sollte es schon flüssig vorgelegen haben, wieder vollständig verdampfte. Diese erste geologische Epoche unseres Planeten bis 3800 mya nennt man Hadaikum, nach Hades, dem Gott der Unterwelt. Gegen Ende des Hadaikums war die Erdoberfläche so weit abgekühlt, dass der Wasserdampf der Atmosphäre endgültig abregnete und Leben auf der Erde möglich wurde.

**Archaikum: 3800–2500 mya, von der präbiotischen Chemie zu ersten Mikroben.** Die nun folgende Zeit markiert den Übergang von einer präbiotischen Chemie zu ersten echten Zellen, daher der Name Archaikum, was ‚Zeit des ersten Lebens‘ bedeutet. Spuren von Leben finden sich schon in den ältesten überkommenen Gesteinen überhaupt. Nun sind Gesteine, die mehrere Milliarden Jahre überdauert haben,

naturgemäß selten. Man findet sie in sehr alten Kontinentenkernen, den Kratonen, vor allem in Westaustralien, Westgrönland und Afrika. In vielen dieser Gesteine finden sich Spuren, die die Existenz von Lebewesen bezeugen! Zum Beispiel fand man 3500 mya alte Stromatolithen, das sind bis heute vorkommende biogene Sedimentgesteine, in denen Mikrobenmatten Sedimentpartikel einfangen und charakteristisch geschichtete Gesteinsformen hervorbringen. Obwohl der biogene Ursprung dieser sehr alten Stromatolithe nicht unangefochten blieb, so ist er zumindest weitgehend anerkannt.<sup>121</sup> Unbestritten biogen sind Ölschieferfunde in Westaustralien, die man auf 2700 mya datieren konnte. Ab dort nehmen (mit den häufiger zu findenden Gesteinen natürlich) eindeutige fossile Lebensspuren erheblich zu. Der „Funke des Lebens“ zündete demnach schon sehr früh in der Erdgeschichte und nach geologischen Maßstäben bemerkenswert schnell.

Voraussetzung hierfür waren allerdings zwei Tatsachen, durch die sich die Verhältnisse der jungen Erde von der heutigen grundsätzlich unterschieden. In ihrem berühmten Experiment zeigten die Chemiker Stanley Miller und H. C. Urey 1953 in Chicago, dass in einer Atmosphäre aus Methan, Ammoniak, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Wasser unter Einfluss von Energie, wie Wärme und Blitze, eine Vielzahl organischer Verbindungen spontan entstehen. Heute ist bekannt, dass selbst auf Meteoriten unter Einwirkung energiereicher Strahlung aus Wasser, Methan und Ammoniak verschiedene organische Stoffe entstehen, darunter auch Aminosäuren.<sup>122</sup> Inzwischen kennt man eine komplexe sogenannte „präbiotische Chemie“, bei der wesentliche Bausteine des Lebens anorganisch entstehen; sie standen damit als „Ursuppe“ der Entstehung des Lebens zur Verfügung.<sup>123</sup>

Die zweite wesentliche Voraussetzung bestand darin, dass die Atmosphäre nahezu keinen freien Sauerstoff enthielt. Dies machte es möglich, dass reduzierte Kohlenstoffverbindungen in der Urzeit der Erde wesentlich beständiger waren, als dies heute der Fall wäre. So ging es „nur“ darum, Orte auf der frühen Erde zu finden, an denen die Bausteine des Lebens in einem günstigen Milieu so zusammenfinden konnten, dass die „Zündung des Lebens“ möglich wurde. Das erklärt auch, warum dies unter heutigen Bedingungen nicht erneut geschieht – zumal die meisten organischen Verbindungen heutzutage schnell bio-

logische „Liebhaber“ finden würden, die sie zwecks Energiegewinnung „fressen“ würden.

**Proterozoikum: 2500 mya–550 mya, die Sauerstoff-Metamorphose.**

Durch den fehlenden Sauerstoff standen dem Leben in der Frühzeit viel mehr energiereiche Verbindungen in ihren Lebensräumen zur Verfügung, als dies heute der Fall ist. Entsprechend entwickelten Stoffwechselspezialisten Wege, um die Energie zum Beispiel der Schwefelverbindungen zu nutzen, die im Umfeld der Vulkane zur Verfügung standen. Manche „Energiespezialisten“ haben bis heute überlebt und stehen als „chemoautotrophe Organismen“ an der Basis spezialisierter Lebensgemeinschaften, wie z. B. in der Tiefsee im Bereich des vulkanisch aktiven Rift Valleys.

Doch es lag nahe, das Sonnenlicht als größte zur Verfügung stehende Energiequelle für das Leben zu nutzen. So entwickelte sich die Fotosynthese, die das energiearme und überall verfügbare Wasser unter Bildung von Sauerstoff spaltet, um aus  $\text{CO}_2$  den energiereichen Traubenzucker aufzubauen.

Es gibt viele Hinweise dafür, dass die Fotosynthese schon sehr früh entstand. Allerdings kam es über Jahrhundertmillionen nicht zur Anreicherung von  $\text{O}_2$  in den Ozeanen oder der Atmosphäre. Denn im sauerstofffreien Ozean waren massig reduzierte Verbindungen gelöst wie z. B. zweiwertiges Eisen vulkanischen Ursprungs. Der Sauerstoff aus der Fotosynthese oxidierte das Eisen, das, nun dreiwertig, schwer lösliche Verbindungen bildete, die sich schichtweise ablagerten. Die entstehenden Bändereisenerze gehören heute zu den wichtigsten Eisenerzen.

Es dauerte fast eine Milliarde Jahre, bis der in der Fotosynthese entstehende Sauerstoff das reduzierte Eisen und andere reduzierte Verbindungen weitgehend oxidiert hatte. Danach kam es etwa um 2400 mya zu einem schnellen Anstieg der Sauerstoffkonzentration, zunächst im Meer, dann auch in der Atmosphäre.

Aus heutiger Perspektive mag dies als Glücksfall erscheinen, seinerzeit aber verursachte das „Abfallprodukt Sauerstoff“ eines der größten Artensterben der Geschichte des Lebens, denn Sauerstoff ist extrem reaktiv und damit ein gefährliches Zellgift. Nur diejenigen, die

über spezielle Schutzenzyme verfügten, um sich gegen den aggressiven Sauerstoff zur Wehr zu setzen, konnten das Artensterben überleben.

Manche überlebten nicht nur, sondern sie zogen keinen geringen Nutzen aus dem aggressiven „Gift“. So entwickelten sie quasi eine Umkehrreaktion der Fotosynthese, die es erlaubte, Zucker, Fette und andere organische Verbindungen zwecks Energiegewinnung zu oxidieren. Diese sogenannte Zellatmung stellt sehr effektiv Energie für den Zellstoffwechsel zur Verfügung und ist damit Voraussetzung für höher organisiertes Leben.

Eine zweite wesentliche Neuerung verdanken wir dem freien Sauerstoff in der Atmosphäre. In der Zeit bis 600 mya reicherte sich nach und nach Sauerstoff in einer Konzentration in der Atmosphäre an, die der heutigen entspricht, ja diese zeitweise sogar übertraf. Dabei gelangt Sauerstoff auch in höhere atmosphärische Schichten, wo er sich unter Einwirkung energiereicher Strahlung in Ozon umwandelt. Die Ozonschicht wiederum absorbiert energiereiche Strahlung aus dem Kosmos und von der Sonne. Konnte Leben bis dahin nur geschützt durch einige Meter Wassersäule im Meer existieren, war es nun möglich, auch die Kontinente und Inseln zu besiedeln, eine Option, die in der Folge genutzt wurde.

Bakterien, Cyanobakterien und extremophile Archaeobakterien haben bis heute keine mehrzelligen, makroskopisch sichtbaren Organismen hervorgebracht. Hierzu waren Evolutionsschritte ausschlaggebend, die die einzelnen Fähigkeiten dieser Lebensformen zu höherer Komplexität zusammenführte. „Endosymbiosen“ ließen bedeutend leistungsfähigere Zellen entstehen, die „Eucyten“. Durch Aufnahme zellatmender Bakterien, die hierbei zu Mitochondrien wurden, entstanden Vorläuferzellen von Pilzen und Tieren. Durch die zusätzliche Aufnahme von Cyanobakterien entstanden erste Pflanzenzellen. Voraussetzung für die rund 1000-mal größere und durch Zellkompartimente arbeitsteilig gegliederte Zelle war ein effektiver Energiestoffwechsel. Es lag nahe, diesen durch „Veratmung“ komplexer Kohlenstoffverbindungen mit Sauerstoff abzudecken. Die Häufigkeit von Sauerstoff im Universum macht diese Art effektiven Energiestoffwechsels auch in fernen belebten Welten wahrscheinlich, wenn es denn zu höheren Lebensformen kommt.

Eucyten konnten damit folgerichtig erst nach der Sauerstoffanreicherung entstehen. Eucyten waren es auch, die das Prinzip Arbeitsteilung nicht nur innerhalb ihrer Zelle, sondern auch mit der Bildung echter Mehrzeller auf Gewebeebene und später auf Organebene fortsetzten. Damit entwickelten sich schon gegen Ende des Proterozoikums makroskopisch erkennbare vielzellige Organismen.<sup>124</sup>

**Phanerozoikum: 550 mya bis heute, Evolution komplexer makroskopischer Lebensformen.** Die Erd- und Lebensgeschichte der letzten rund 550 Millionen Jahre ist im Vergleich zu früheren Zeiten gut belegt, da hier die meisten Gesteine entstanden, die unsere Landschaften prägen. Ebenso entwickelten sich die makroskopisch sichtbaren Tier-, Pflanzen- und sonstigen Lebensformen, mit denen wir die Lebensgemeinschaften der heutigen Biosphäre teilen. Das gab dem Erdzeitalter seinen Namen, Phanerozoikum, das Zeitalter der sichtbaren Lebensformen.

Man unterteilt diesen Zeitraum in das Erdaltertum (rund 550 - 250 mya), das Erdmittelalter (rund 250 - 65 mya) und die Erdneuzeit (65 mya bis heute). Im Erdaltertum eroberten zunächst Pflanzen, dann Wirbellose, gefolgt von Wirbeltieren, die nun bewohnbaren Landlebensräume. Geologisch formierte sich der Superkontinent Pangäa, was zu Phasen intensiver Gebirgsbildung führte. Biogene Sedimente aus diesen Zeiten ließen die fossilen Energierohstoffe entstehen, die wir heute in einem Wimpernschlag der Erdgeschichte verbrennen und als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre pumpen, um unseren Energiehunger zu stillen. Das Erdmittelalter lebt im kollektiven Bewusstsein als die Zeit der Dinosaurier, der damals beherrschenden Wirbeltiergruppe. Hier entstanden gewaltige Sedimentgesteinsformationen, die vielen heutigen Landschaften ihr Gesicht geben. In der Erdneuzeit falteten sich die aktuellen Gebirge auf und Vögel, Säugetiere und Blütenpflanzen entwickelten ihr derzeitiges Artenspektrum.

Immer wieder kam es in diesem Zeitraum regional oder global zu einem katastrophalen Artensterben, das teilweise bis zu 90% der existierenden Arten verschwinden ließ. Gründe waren planetare Klimakatastrophen, zum Beispiel durch eine schnell steigende Treibhausgaskonzentration infolge vulkanisch sehr aktiver Zeiten, oder Einschläge größerer Meteoriten, die beispielsweise das Ende der Dinosaurier ein-

leiteten. Diese Ereignisse hatten ambivalente Auswirkungen auf die Geschichte des Lebens unseres Planeten: Neben ihrer zweifelfrei zerstörerischen Seite beförderten sie die Evolution, indem sie Freiräume schufen, die überlebende Arten für ihre Weiterentwicklung nutzen konnten. So wären die Säugetiere ohne das Ende der Saurier nicht zu dem geworden, was sie heute darstellen, und eine technische Zivilisation hätte sich womöglich aus Spezies mit einem Reptilienbauplan entwickelt. Wenn man die Intelligenzleistungen der Vögel, die aus Theropoden hervorgegangen sind, berücksichtigt, scheint dies durchaus möglich.

Aber dazu kam es nicht. Vielmehr spaltete sich die Vorfahrenlinie des Menschen vor 7 mya von der des uns nächst verwandten Schimpansen ab. Unsere Vorfahren entwickelten zunächst den aufrechten Gang, um in den letzten 2,5 mya ihr Gehirn zu vergrößern – sicher eine wesentliche Grundlage intelligenter Zivilisationen. Erst vor 0,2 mya erschien aber unsere Spezies auf der Bildfläche, wobei es noch lange dauerte, bis der Funke kultureller Evolution vor 0,05 mya zündete (Höhlenmalerei), es vor 0,01 mya zur Sesshaftwerdung kam, vor 0,005 mya sich die ersten Hochkulturen entwickelten und vor 0,0005 mya mit der kopernikanischen Wende die Genese unseres heutigen Weltbildes eingeleitet wurde. Erst seit 0,0001 Millionen Jahren ist unsere Zivilisation technisch so weit fortgeschritten, dass wir uns durch Radiosignale dem kosmischen Umfeld mitteilen. Die Frage ist, wie lange wir das noch tun werden.

**Die Zukunft unseres Planeten und unseres Sonnensystems.** Wir sehen an dieser Stelle davon ab, dass der Mensch oder eine ihm folgende kulturtragende Spezies den Lauf der Erdgeschichte tief greifend verändern könnte. Betrachten wir nur die aus den Naturgesetzen zu erwartenden Abläufe in unserem Sonnensystem, so lässt sich folgendes Szenario der irdischen Zukunft skizzieren.

Die gute Nachricht: die Erde wird noch viele Millionen Jahre bewohnbar bleiben. Der begrenzende Faktor ist unsere Sonne, deren Strahlkraft mit nachlassendem Wasserstoffvorrat steigen wird. Berechnungen zufolge wird es noch weitere 500 my<sup>125</sup> Leben auf dem Land geben können. Weitere 500<sup>126</sup> my wird es ausschließlich im Meer komplexer organisiertes Leben geben können. Dann allerdings wird es

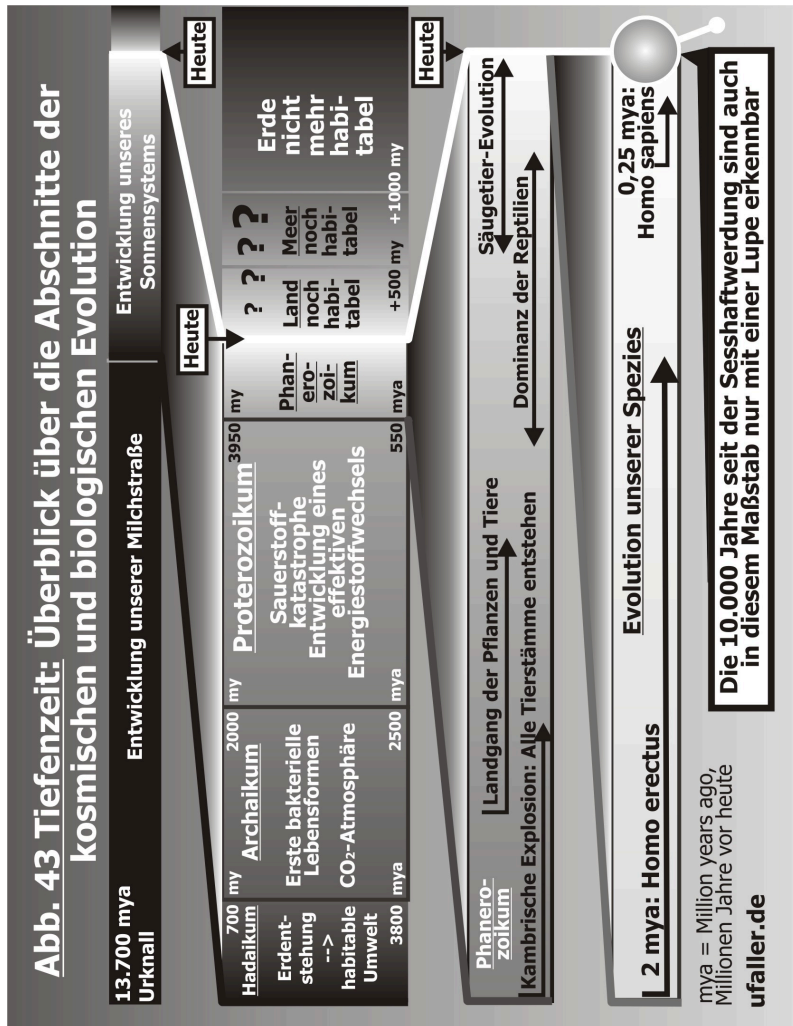


voraussichtlich so heiß, dass das Wasser verdampft und die Erde als toter Planet weiter seine Runden dreht. Später steigt die Temperatur so sehr, dass auch heute feste Metalle zu schmelzen beginnen. Gegen Ende ihrer Zeit bläht sich unsere Sonne auf und nimmt die Erde in sich auf, ehe sie in einer Nova ihre Gashüllen abstreift und als Weißer Zwerg noch Milliarden Jahre nachglüht. Das Lebensdrama auf der Erde wird dann keine materiellen Spuren hinterlassen.

Dem Landleben verbleiben demnach etwa 500 my, dem Leben im Wasser 1000 my. Auch in dieser Zeit wird es katastrophale Meteoriten- oder Asteroideneinschläge geben. Es werden Zeiten mit erhöhter vulkanischer Aktivität kommen und geotektonisch ruhige Abschnitte. Gewaltige Klimaveränderungen werden die Folge sein. Das Leben auf der Erde wird wie zuvor mit evolutiven Veränderungen antworten und immer neue Lebensformen hervorbringen. Welche Rolle unsere Nachfahren hierbei spielen könnten, werden wir abschließend diskutieren.

**Die Erde als Modellfall.** Fassen wir zusammen (Abbildung 43).

→ Rund 700 my nach dem Beginn der Entwicklung des Sonnensystems entstanden in den Meeren der Erde habitable, für Leben geeignete Umweltbedingungen (Hadaikum). → Sehr schnell zündete der „Funke des Lebens“ in Form winziger Mikroben. Die Sauerstoff erzeugende Fotosynthese wurde ebenfalls bald erfunden. Es dauerte allerdings über 1000 my, bis die Atmosphäre sich mit Sauerstoff anreichern konnte, wobei reduzierte Verbindungen oxidiert wurden, z. B. Eisen zu „Rost“ (Archaikum). → Mit der Anreicherung von Sauerstoff in der Atmosphäre war die Möglichkeit gegeben, einen effektiven Energiestoffwechsel zu entwickeln und in der Folge effizientere Zellen (Tier- und Pflanzenzellen), die auch Meerzeller bilden konnten. In unserer Erdgeschichte dauerte dies relativ lang, fast 2000 my (Proterozoikum). → Nun setzte die Evolution mehrzelliger, komplexer Lebewesen ein, die die letzten 550 my prägen. Auch Landlebensräume konnten nun besiedelt werden (Phanerozoikum). → Ebenso rund 500 my stehen dem Leben auf dem Land, schätzungsweise noch einmal so viel im Meer zur Verfügung, ehe die habitable Zeit der Erde beendet sein wird. → Der Mensch mit seinem an historischen Maßstäben orientierten Zeithorizont existiert nur einen irdisch-kosmischen Wimpernschlag.



Sollte sich auch die Zukunft der Erde so abspielen, wie gegenwärtig prognostiziert, beginnt grob gesagt rund 1000 my nach Entstehung des Sonnensystems der lebensfreundliche Zeitraum der Erde. Er dauert etwa 4500 my an, das ist etwa die Hälfte der Lebensdauer unserer Sonne. Die längste Zeit sind auf unserer Erde Meeresökosysteme lebensfreundlich. Nur im letzten Drittel dieser Zeit kann auch das Land für

rund 1000 my besiedelt werden. Der Mensch als kulturtragende Spezies taucht erst im letzten Viertel der habitablen Zeit auf, wobei sich noch erweisen muss, ob er auch über geologische Zeiträume überleben wird. Damit folgte und folgt die Entwicklung des Lebens auf der Erde dem Vierschritt: Entstehung – effizienter Energiestoffwechsel – Mehrzelligkeit/Landerobierung – kulturtragende Spezies.

Noch kürzer gefasst: Sollte unsere Erde Durchschnitt sein, können wir postulieren, dass Leben relativ schnell entsteht, wenn die Umweltbedingungen habitabel sind, komplexeres Leben für seine Evolution deutlich länger benötigt und kulturtragende Spezies erst in der Spät- oder Reifezeit eines Himmelskörpers zu erwarten sind.<sup>127</sup>

## **Sind wir allein im Universum: Die Drake-Gleichung und das kopernikanische Prinzip auf dem Prüfstand**

In der Nähe des kleinen Ortes Green Bank in West Virginia wurde in den 1950er-Jahren eine funktechnische Ruhezone eingerichtet, die ungestörte radioastronomische Forschungen erlaubt. Hier entstand das Green-Bank-Observatorium. Der 1930 geborene Astrophysiker Frank Drake organisierte an diesem Ort im November 1961 eine Konferenz mit dem Anliegen, mit Radioteleskopen nach außerirdischen Intelligenzen zu fahnden. Es sollte der Startpunkt des SETI-Programms werden, der Suche nach außerirdischen Zivilisationen. SETI steht hierbei für „Search for Extraterrestrial Intelligence“.

Der Gedanke beflügelte die Science-Fiction-Community: „Es gibt vielleicht vergleichbare, aber faszinierend andere Zivilisationen in den Weiten des Weltalls“. Und schon bald sollte das „Raumschiff Enterprise“ ferne Sonnensysteme erforschen. Science-Fiction aber ist das eine, wissenschaftliche Forschung etwas ganz anders. So hatte es Drake nicht leicht mit seinem Anliegen, seriös nach außerirdischen, technischen Intelligenzen zu suchen. Lohnte der Aufwand überhaupt? Gibt es eine reale Chance, Signale unserer vermeintlichen kosmischen Nachbarn zu finden? Um zu einer Abschätzung zu kommen, zerlegte er die Frage nach kontaktbereiten ETIs<sup>128</sup> in Teilfragen und formulierte eine Formel, die es erlaubt, je nach Einschätzung der einzelnen Aspekte den möglichen Erfolg von SETI abzuschätzen – mit dem Erfolg,

dass die Tagung von intensiven Diskussionen geprägt war. Heraus kam die unter seinem Namen berühmt gewordene Drake-Gleichung.<sup>129</sup>

In den 1960er-Jahren, fast 30 Jahre, bevor das Hubble-Teleskop seine Arbeit aufnahm und rund zehn Jahre, nachdem Watson und Crick die Molekularstruktur der DNA entschlüsselt und Miller und Urey ihr „Ursuppen-Experiment“ durchgeführt hatten, konnte man praktisch alle Größen der Drake-Gleichung nur mithilfe von mehr oder weniger naheliegenden Spekulationen abschätzen. So lagen die Ergebnisse zwischen einer Zivilisation in unserer Galaxie, deren zehn, einhundert und den enthusiastischen 4.000.000; man bedenke: Ergebnisse für aktuell kommunikationsbereite Zivilisationen, für die sich SETI lohnt. Wenn man bedenkt, dass selbst bei einer optimistischen Schätzung manch Glücksfall vonnöten ist, um im rechten Moment seine Antenne in die richtige Himmelsgegend zu halten, um ein eingehendes Signal nicht zu verpassen, dann mag es nicht verwundern, wenn aus der nun schon über ein halbes Jahrhundert andauernden Suche bisher nicht mehr herausgekommen ist als ein einziges unnatürlich wirkendes und in seiner Interpretation höchst umstrittenes Signal, das sogenannte „Wow-Signal“ vom 15. August 1977.

Ergibt eine Gleichung Sinn, in der man wichtige Faktoren nicht kennt? Allerdings. Man muss nur anderes von ihr erwarten als beispielsweise von der Gravitationsgleichung, mit der man präzise und verifizierbare Berechnungen durchführen kann. Die Drake-Gleichung dient dazu, die Frage nach Leben und Intelligenzen im All in Teilfragen aufzugliedern und dabei die Konsequenzen der letztlich spekulativen Argumente in Bezug auf das kopernikanische Prinzip zu prüfen. Wir sind seit den 1960er-Jahren um einige Erkenntnisse in Bezug auf Aufbau und Genese der Sonnensysteme, die Biologie extremophiler Organismen und grundlegende biochemische Abläufe vorangekommen, und unsere Raumfahrt ist dabei, nach möglichem extraterrestrischen Leben auf dem Mars zu suchen. Die Ergebnisse dieser Forschung schlagen sich unmittelbar in der Einschätzung der „Drake-Faktoren“ nieder. Damit stellt sie ein Mittel dar, das kopernikanische Prinzip „auf den Prüfstein“ zu legen und uns darum zu bemühen, dem aktuellen Wissenshorizont entsprechend gute Argumente für die Werte zu formulieren, die wir in die Drake-Gleichung einsetzen. Die Kon-

kretisierung der Nabelschau unserer Existenz auf der Erde macht den Reiz des Umganges mit der Drake-Gleichung aus.

Je nach Fragestellung kann man mit der Drake-Gleichung flexibel umgehen. Sie kann z. B. dazu dienen, die Zahl erdähnlicher Exoplaneten, von einfachen oder komplexen Lebewesen bevölkerten Planeten oder weiterer Exozivilisationen abzuschätzen.

Seriös können sich Schätzungen nur auf die Verhältnisse in unserer Milchstraße beziehen und auf diese wird die Green-Bank-Formel auch angewandt. Wollen wir die mit bloßem Auge noch sichtbare Andromeda-Galaxie, die noch zu „Lebzeiten“ unserer Sonne beginnen wird, mit unserer Galaxie zu verschmelzen, in unsere Vorstellung mit einbeziehen, müssen wir unser Ergebnis mehr als verdoppeln, da die Schwestergalaxie erheblich mehr Sterne umfasst als unsere Milchstraße. Das Licht Andromedas ist 2,5 Millionen Jahre alt, wir sehen sie also so, wie sie zu den Zeiten aussah, als die Gattung Homo gerade erst entstanden ist. Da aber 2,5 Millionen Jahre in kosmischen Zeitdimensionen keine nennenswerte Größe darstellt, ist die Vorstellung berechtigt, dass entsprechend unseren geschätzten Ergebnissen uns mit dem Licht von Andromeda das eine oder andere Lichtquant trifft, das von einem bewohnbaren Planeten, von einer Mikrobe, einem komplexeren Tier oder gar von einer technischen Errungenschaft E.T.s reflektiert oder ausgesendet wurde.

Entsprechendes gilt natürlich für unsere Vorstellung bezüglich des ganzen Universums. Wir schätzen die Zahl aller Galaxien auf 100 bis 200 Milliarden. Nicht alle sind gleichermaßen geeignet für die Existenz lebensfreundlicher Planeten. Zudem können wir sie in ihrer *aktuellen* Befindlichkeit nicht beobachten, da bekanntlich jede Deep-Field-Beobachtung einen Blick in die entsprechende Vergangenheit bedeutet. Trotzdem dürfen wir jedes unserer Ergebnisse für die Beantwortung der Frage, ob wir allein sind im Universum, getrost um den Faktor einiger Milliarden multiplizieren. Vergleichbares gilt, wenn wir nicht nur die aktuelle Zahl unserer Verwandten abschätzen wollen, sondern die Zahl überhaupt. So nimmt zwar die Sternbildungsrate innerhalb einer Galaxie mit dem Verbrauch galaktischer Nebel ab, aber wir können getrost davon ausgehen, dass noch einige Milliarden Jahre Leben und damit Zivilisationen im Universum grundsätzlich möglich sind.

**Sonnensysteme mit Exoerden in der habitablen Zone:** Wie hoch können wir die Zahl der Sonnensysteme mit erdähnlichen Planeten schätzen, die lebensgünstige Verhältnisse aufweisen? Erdähnlich sind Gesteinsplaneten, die massereich genug sind, um eine dichtere Atmosphäre an sich zu binden. In unserem Sonnensystem ist Merkur zu massearm und besitzt keine, während der etwas größere Mars nur eine sehr dünne Atmosphäre besitzt. Habitabel sind Planeten, auf denen flüssiges Wasser vorkommt. Hierfür darf es nicht zu heiß sein wie auf der Venus. Sie besaß einst Wasser, das aber durch die Hitze verdampfte und in der oberen Atmosphäre gespalten wurde, wobei der Wasserstoff entwich. Erdwärts der Venus beginnt die habitable Zone unserer Sonne. Sie erstreckt sich etwa bis zum Mars, auf dem Wasser die meiste Zeit gefroren ist. Beginnen wir mit dem ersten Teilschritt unserer Abschätzungen.

**N (Zahl der Exoerden)**

=

$R^*$  (Entstehungsrate geeigneter Sterne)  $\times f_{\text{ex}}$  (davon mit erdähnlichen Planeten)  $\times L$  (Existenzdauer der Exoerde)<sup>130</sup>

**$R^*$ :** Die mittlere Entstehungsrate geeigneter Sterne innerhalb unserer Milchstraße pro Jahr nahm in den Jahrmilliarden der Lebensdauer unseres Sternes ab und wird in Zukunft weiter abnehmen. Ungeeignet sind massereiche Sterne, die erheblich kurzlebiger sind<sup>131</sup> als unsere Sonne, und Mehrfachsternsysteme<sup>132</sup>, die stabile Planetenbahnen meist nicht zulassen. Zudem sind Sterne im Zentrum unserer Galaxie wahrscheinlich ungeeignet, da hier die Sterndichte sehr hoch ist und damit die Wahrscheinlichkeit, dass in Sonnennähe eine Supernova das Sonnensystem sterilisiert. Aktuelle Schätzungen gehen von durchschnittlich einem günstigen Stern pro Jahr innerhalb der letzten Jahrmilliarden aus. Unsere Sonne hat nach gegenwärtigem Kenntnisstand eine etwas überdurchschnittliche Größe, das heißt, dass langlebigere, aber leuchtschwächere Sterne häufiger anzutreffen sind.

**$f_{\text{ex}}$ :** Eines der aktivsten aktuellen Forschungsgebiete der Astronomie ist die Suche nach Exoplaneten und Exoerden.<sup>133</sup> Bis 1995 konnte man über diesen Faktor der Drake-Formel nur spekulieren. Dann wiesen die Schweizer Astronomen Michel Mayor und Didier Quelos erst-

mals einen jupiterähnlichen Planeten nach, der um den Stern 51 Pegasi im Sternbild Pegasus kreist, genauer, der mit 51 Pegasi um den gemeinsamen Schwerpunkt rotiert! Genau dies aber macht ihn von uns aus sichtbar: Denn der Planet bringt damit den Stern von der Erde aus gesehen zum „Eiern“, was wiederum durch den Dopplereffekt zu einem regelmäßigen Verschieben der Spektrallinien führt, wodurch der Planet nachweisbar wird. Das war der Startschuss für die Suche nach Exoplaneten. Besonders ergiebig ist hierbei die 2009 gestartete Weltraumteleskop-Mission „Kepler“<sup>134</sup>. Kepler beobachtet etwa 190.000 Sterne im Sternbild Schwan und misst regelmäßige geringfügige Verdunklungen: Planetentransits weit entfernter Sterne! Staunen ist erlaubt, dass dies aus Lichtjahren Entfernung nachweisbar ist. Man muss bedenken, nur ein Bruchteil der existierenden Planetensysteme ist mit dieser Methode nachweisbar, da deren Planeten genau zwischen uns und dem Stern vorbeiziehen müssen (geschätzt 0,5%<sup>135</sup>), um eine Verdunklung zu erreichen. Umso überraschender, dass Kepler über 2000 Exoplaneten in kürzester Zeit entdeckte. Sonnensysteme mit Planeten sind offensichtlich kosmischer Normalfall. 700 dieser Planeten werden als Supererden eingestuft, als Gesteinsplaneten, die mehr Masse besitzen als unsere Erde. Sie eignen sich ebenso gut oder sogar besser für Orte des Lebens, da sie Atmosphären besser halten können und eine höhere Tektonik aufweisen. 50 der Supererden Keplers weisen potenziell lebensfreundliche Bedingungen auf.<sup>136</sup> Das bedeutet: Von den 190.000 durch Kepler beobachteten Sternen können mit der Transitmethode nur bei fast 1000 Sternen Planeten überhaupt nachgewiesen werden. Da Kepler fast 2000 Exoplaneten fand, bedeutet dies, dass wir von mindestens fast zwei Planeten pro Stern ausgehen können. Ziemlich sicher aber von mehr, da entferntere Planeten, die für eine Umrundung der Sonne viele Jahre benötigen, entsprechend lange Beobachtungen benötigen, um detektiert zu werden.

Noch erstaunlicher: Unter den fast 2000 tatsächlich nachgewiesenen Planeten fanden sich 50 potenziell habitable Exoerden. Sollte dies dem Durchschnitt in der Milchstraße nahekommen, könnten wir den Faktor  $f_{\text{ex}}$  mit 0,05 angeben!<sup>137</sup> Wir wollen allerdings vorsichtig sein und gehen davon aus, dass wir nur bei jedem zehnten dieser Planeten auch tatsächlich habitable Bedingungen vorfinden. Das Universum ist ein gefährlicher Ort. Gammastrahlen können Planeten sterilisieren, zu

häufige Meteoriteneinschläge lebensfeindlich sein, eine taumelnde Rotationsachse des Planeten der Biologie im Wege stehen. Damit schätzen wir den Faktor  $f_{\text{ex}}$  mit 0,005.

**L (Existenzdauer der Exoerde):** Zur Abschätzung der Lebensdauer habitabler Planeten nehmen wir, dem kopernikanischen Prinzip folgend, die habitable Zeit auf unserer Erde als Durchschnitt, wohl wissend, dass Exoerden, die um masseärmere Sterne kreisen, für die Evolution einer Lebenswelt erheblich mehr Zeit haben. So erhalten wir für unsere vorsichtige Spekulation:

$$\begin{aligned} N (\text{Zahl der Exoerden}) &= 1 \text{ (günstiger Stern pro Jahr)} \times 0,005 \text{ (habitable Exoerden)} \times 7.000.000.000 \text{ Jahre} \\ &= 35.000.000 \text{ Exoerden in unserer Milchstraße} \end{aligned}$$

Die Zahl der Exoerden schätzen wir damit auf 35.000.000 allein in unserem Milchstraßensystem mit einem mittleren Abstand von etwa 78 Lichtjahren<sup>138</sup>! Gute Augen können bei sternklarer Sicht insgesamt rund 6000 Sterne sehen. Die bei Weitem meisten werden von Planeten umkreist. Nach unserer Schätzung etwa eine von ihnen auch von einer Exoerde!<sup>139</sup> Etwa jeder 6000. Stern besitzt demnach eine Exoerde.

**Sonnensysteme mit belebten Planeten:** Habitable Planeten müssen kein Leben oder gar komplexes Leben hervorgebracht haben. Wie können wir mit Argumenten eine Abschätzung vornehmen? Wir führen unsere Formel weiter:

$$\begin{aligned} N (\text{Leben tragende Exoerden}) \\ &= \\ N (\text{Exoerden}) \times f (\text{Funke des Lebens gezündet}) \times L (\text{Existenzdauer des Lebens}) \end{aligned}$$

So wie man noch vor wenigen Jahrzehnten die „Planeten-Faktoren“ der Drake-Gleichung nur spekulativ angeben konnte, so geht es uns heute mit dem Faktor  $f$  (Funke des Lebens gezündet). Es muss uneingeschränkt zugegeben werden, dass nach wie vor ungeklärt ist, wie der Übergang von einer präbiotischen Chemie zu ersten, allereinfachsten Lebensformen verstanden werden kann. Allerdings nähert sich die Astrobiologie sowohl vonseiten der Biologie (zum Beispiel mit der Erforschung extremophiler Mikroorganismen) als auch vonseiten der prä-



biotischen Chemie (zum Beispiel mit der Erforschung komplexerer Kohlenstoffverbindungen auf Kometen und der Klärung der Oberflächenverhältnisse auf der frühen Erde) dieser Frage.<sup>140</sup> Sollte es so sein, dass Leben entsteht, wenn nur die Lebensmöglichkeiten gegeben wären, dann könnten wir in den nächsten Jahrzehnten hierfür Belege finden. Denn wenn wir nicht irdisches<sup>141</sup> Leben auf dem Mars oder im vermuteten Ozean auf dem Jupitermond Europa finden würden, dann wäre es sehr wahrscheinlich, dass der Faktor  $f$  (Funke des Lebens gezündet) bei nahezu 1 liegt. Sollte dem nicht so sein, wäre es eine weltanschauliche Frage, wie dieser Faktor zu beziffern wäre. Wer Leben für ein extremes Zufallsprodukt hält, wird hier eine sehr kleine Zahl einsetzen, wer Leben für ein naturgesetzlich eintretendes Ereignis ansieht, das bis auf Ausnahmen dann eintritt, wenn die Bedingungen hinreichend günstig sind, wird hier gegen 1 gehen. Ein gewichtiges Indiz ist die Tatsache, dass wir schon sehr früh in der Erdgeschichte Spuren des Lebens gefunden haben. Bei uns zumindest ist Leben sehr schnell entstanden, nachdem sich habitable Bedingungen eingestellt hatten.

Es bleibt jedem überlassen, sich selbst in dieser Frage Rechenschaft abzulegen und entsprechend eine Abschätzung durchzuführen. Wir gewichten den Hinweis auf die sehr frühe Entstehung des Lebens auf der Erde hoch und setzen den Wert 0,5. Das heißt, auf jedem zweiten Planeten, der Leben beherbergen könnte, entsteht es auch, wenn auch vielleicht nur als „belebter Schleim“, jede zweite potenzielle Erde bliebe nach dieser Einschätzung unbelebt.

Für  $L$  (Existenzdauer des Lebens) der sowohl Planeten einschließt, die nur mikrobielles Leben hervorgebracht haben, als auch solche, auf denen darüber hinaus „höhere“ Lebensformen entstanden sind, nehmen wir – dem Modellfall Erde folgend – 4.000.000.000 Jahre. Wir verändern unsere „Drake-Gleichung“ entsprechend und erhalten:

$$\begin{aligned} N (\text{Leben tragende Exoerden}) &= \\ 1 (\text{günstiger Stern pro Jahr}) \times 0,005 (\text{habitable Exoerden}) \times 0,5 (\text{Funke} \\ &\quad \text{des Lebens gezündet}) \times 4.000.000.000 \text{ Jahre} \\ &= 10.000.000 \text{ belebte Exoerden in unserer Milchstraße} \end{aligned}$$

Das heißt, wir schätzen die Zahl belebter Exoerden in unserer Milchstraße auf 10.000.000, die in einem mittleren Abstand von 118 Licht-

jahren in unserer Milchstraße zu finden sind. Das bedeutet, jeden 20.000. Stern umkreist ein belebter Planet.

**Sonnensysteme, in denen komplexeres Leben entstanden ist:** Mit der Entstehung mikrobiellen Lebens beginnt nach unserem Verständnis auch ein Evolutionsprozess. Nicht zwingend ist allerdings, dass dabei auch „phanerozoisches“, will sagen makroskopisch sichtbares und entsprechend komplexes Leben entsteht. Auf unserer „Modellerde“ war hierfür zweierlei nötig: die Entwicklung eines auf der Sauerstoffnutzung basierenden effizienten Energiestoffwechsels und komplexe Endosymbiosen von Mikroben zu sogenannten Eucyten. Erdgeschichtlich fiel das Proterozoikum mit 2000 my relativ lang aus. Möglicherweise gibt es andere Evolutionswege, die komplexes Leben ermöglichen. In Anbetracht dieser Überlegungen wollen wir hier davon ausgehen, dass auf jedem vierten belebten Planeten auch komplexes, makroskopisch sichtbares Leben entstanden ist, in drei von vier Fällen nicht. In unsere „Drake-Gleichung“ müssen wir demnach einen neuen Faktor einfügen:  $f$  (komplexes Leben entwickelt), dem wir den Wert 0,25 zuweisen. Der Übergang zu mehrzelligem Leben hat auf der Erde vor etwa 1000 my stattgefunden, wenn es nicht zu einer gewaltigen Katastrophe kommen sollte, spricht nichts dagegen, dass es etwa die gleiche Zeit noch existieren kann. Wir können demnach für die Lebensdauer 2000 my einsetzen und erhalten:

$$\begin{aligned}
 & N (\text{Exoerden mit komplexem Leben}) \\
 & = \\
 & N (\text{Leben tragende Exoerden}) \times f (\text{komplexes Leben entwickelt}) \times L (\text{Existenzdauer komplexen Lebens}) \\
 & \text{Eingesetzt:} \\
 & N (\text{Exoerden mit komplexem Leben}) = 1 (\text{günstiger Stern pro Jahr}) \times 0,005 (\text{habitable Exoerden}) \times 0,5 (\text{Funke des Lebens gezündet}) \times 0,25 (\text{komplexes Leben entwickelt}) \times 2.000.000.000 \text{ Jahre} = 1.250.000
 \end{aligned}$$

Wir schätzen so die Zahl der Planeten in unserer Milchstraße, die aktuell mehrzellige, komplexere Lebensformen beherbergen, auf 1.250.000, das ist einer von 160.000 Sternen in unserer Milchstraße mit einem durchschnittlichen Abstand von 240 Lichtjahren.

**Sonnensysteme mit extraterrestrischen Zivilisationen:** Der letzte Teil der Drake-Gleichung ist wohl der spannendste: Wie steht es mit extraterrestrischen Zivilisationen oder gar der Möglichkeit einer Kommunikation mit ihnen? Wenden wir uns dem ersten Teil der Frage zu und betrachten zunächst wieder unsere Erde als Modellfall: Wie schon gesehen, traten mehrzellige Lebensformen erst in der zweiten Hälfte der habitablen Zeit der Erde auf, komplexere Spezies mit Nervengewebe, das Bewusstsein ermöglicht, noch später. Viele tierische Lebensformen zeigen hoch entwickelte psychische Leistungen. Man denke an Wale, die sich über eine differenzierte Gesangssprache verständigen, an die Kooperationen sozial lebender Tiere bei der Jagd, wie bei den Orkas, an Trauer, die Elefanten zeigen, und an den Spiegeltest für das Selbstbewusstsein, den einige, wenn auch wenige Spezies bestehen.

Der Mensch trennte sich evolutionär vor 7.000.000 Jahren von den Schimpansen, vor 2.500.000 Jahren begann er, Steinwerkzeuge herzustellen, und feilte diese Technik in vielen tradierten „Steinwerkzeugindustrien“ weiter aus. Er lernte, das Feuer zu beherrschen, und besiedelte in mehreren Wellen fast die ganze Erde. Vor etwa 50.000 Jahren entstanden Höhlenmalereien, vor rund 10.000 Jahren begann er, sesshaft zu werden, seit rund 2500 zeichnen sich bedeutende philosophische und technische Fortschritte ab<sup>142</sup> und seit 200 Jahren erleben wir eine rasante medizinisch-technische Entwicklung. Damit eröffnet sich die Diskussion darüber, wo man den Beginn der menschlichen Zivilisation ansetzt. Hier sei die Neolithische Revolution als Beginn der Zeit gesetzt, von der an die kulturelle Evolution an Tempo aufnahm. 10.000 Jahre: Das ist im Vergleich zu den bisher betrachteten Zeiträumen ein Wimpernschlag, fast nichts. Das heißt, Extraterrestrische, die unseren Planeten möglicherweise einmal – wie auch immer – untersucht haben, hätten fast die gesamte Zeit seiner bisherigen Existenz eine Biosphäre vorgefunden, die fantastischsten Tiere, Pflanzen oder Pilze beheimatete, aber keine Zivilisation.

Die erste „Drake“-Frage lautet nun, auf wie vielen mit komplexen Lebensformen besiedelten Exoplaneten eine kulturelle Evolution begonnen hat oder gerade beginnt. Um diese Frage zu beantworten, müssen wir uns ein Szenario ausdenken bezüglich der Lebensdauer unserer oder vielleicht noch folgender zivilisationstragender Arten.

Die Erde, als Modell betrachtet, legt nahe, dass Zivilisationen erst in der späten „Reifephase“ eines Durchschnittsplaneten auftauchen. Das hätte sich auch auf der Erde leicht so weit verzögern können, dass „wir“ ausgeblieben wären. Es hätte aber auch beispielsweise 100 Millionen Jahre früher geschehen können.<sup>143</sup> Ganz spekulativ gehen wir davon aus, dass jeder zweite von Mehrzellern bewohnte Planet im Laufe seiner Existenz auch eine kulturelle Evolution startet:  $f$  (kulturtragendes Leben) sei also 0,5.

Spannender wird es mit der Existenzdauer kulturtragender Zivilisationen  $L$  (Existenzdauer kulturtragenden Lebens). Die Green-Bank-Tagung fand in der heißen Phase des Kalten Krieges statt – man war damals wenig optimistisch und glaubte an eine möglicherweise baldige Selbstauslöschung. Nach oben begrenzt sich die Lebensdauer bei uns mit den 500 my, die uns noch auf dem Land als Lebensraum bleiben, möglicherweise länger, dann aber mit technischen Hilfsmitteln. Denkbar ist auch, dass nach einem Aussterben unserer Nachfahren andere Spezies – vielleicht Tintenfische, die an Land gehen – erneut eine kulturelle Evolution starten. Der Fantasie für Zukunftsszenarien auf unserem Planeten sind kaum Grenzen gesetzt.

Wir wollen hier annehmen, dass die durchschnittliche Existenzdauer kulturtragender Zivilisationen auf einem mit komplexen Lebewesen bewohnten Exoplaneten 100.000.000 Jahre beträgt, wahrlich ein optimistischer Wert! Analog der vorhergehenden Erweiterungen erhalten wir:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{N \text{ (Exoerden mit Zivilisationen)}} \\
 & = \\
 & \mathbf{N \text{ (Exoerden mit komplexem Leben)} \times f \text{ (kulturtragendes Leben)} \times} \\
 & \mathbf{L \text{ (Existenzdauer einer Exozivilisation)}} \\
 & \text{Eingesetzt:} \\
 & \mathbf{N \text{ (Exoerden mit Zivilisationen)} =} \\
 & 1 \text{ (günstiger Stern pro Jahr)} \times 0,005 \text{ (habitable Exoerden)} \times 0,5 \text{ (Funke} \\
 & \text{des Lebens gezündet)} \times 0,25 \text{ (komplexes Leben entwickelt)} \times 0,5 \text{ (kultur-} \\
 & \text{tragendes Leben)} \times 100.000.000 \text{ Jahre} = \mathbf{31.250 \text{ Exoerden mit Zivili-}} \\
 & \mathbf{sationen}
 \end{aligned}$$

Wir können auf diese Weise in unserer Galaxie 31.250 Zivilisationen in jedem 6.400.000. Sonnensystem vermuten mit einem mittleren Abstand von über 810 Lichtjahren.

Abschließend zur SETI-Frage: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass wir eine extraterrestrische Zivilisation aufspüren, von dieser aufgespürt werden oder gar mit ihr kommunizieren? Das geht nur, wenn die Zivilisation einen elektromagnetischen Fingerabdruck ausstrahlt. Dies tun wir unbeabsichtigt, seit wir im Radio-Bereich Nachrichten versenden. Diese Strahlung ist inzwischen in einem Kugelvolumen von rund 100 Lichtjahren um die Erde angekommen, denn so lange kommunizieren wir schon über Radiowellen. Die Radiosignale werden nach dem quadratischen Abstandsgesetz immer schwächer. Irgendwann ist dieses Signal, das nicht mit mehr Energie abgestrahlt wird, als dies für irdische Anwendungen nötig ist, so schwach, dass es sich nicht mehr vom Hintergrund-Rauschen abhebt. Spätestens nach 100 Lichtjahren ist dies so weit. Wir wären damit maximal im Abstand von 100 Lichtjahren für eine Exozivilisation erkennbar<sup>144</sup>. Umgekehrt gilt das Gleiche. Da mit fortschreitender Technik schwächere Signale für die Kommunikation auf der Erde ausreichen, wird sich das Kugelvolumen zukünftig sogar verringern. Entdeckt werden würden wir nur, wenn wir gezielte Botschaften mit hoher Sendeenergie in bestimmte Weltraumrichtungen senden und mögliche Empfänger zudem eine Empfangsantenne in unsere Richtung ausgerichtet haben, wenn die Botschaften den Planeten passieren. Eine Kommunikation – sollten wir eine sendebereite Zivilisation angetroffen haben – wäre sehr langatmig. Nehmen wir einen Abstand von 500 Lichtjahren: Auf eine Frage unsererseits käme nach 1000 Jahren eine Antwort!

Die SETI-Gemeinde ist trotz dieser Faktenlage bewundernswert optimistisch. Beispielsweise strahlte sie 1974 anlässlich einer SETI-Taugung am Arecibo-Observatorium, die Frank Drake mitorganisiert hatte, eine Nachricht ins All Richtung Kugelsternhaufen M13 im Sternbild Herkules.<sup>145</sup> Diesen wird sie um das Jahr 27.000 durchwandern und mit *sehr* viel Glück wird sie auch bemerkt und beantwortet werden. Wir sollten in den Jahrhunderten um das Jahr 54.000 unserer Zeitrechnung ständig auf Empfang sein, um die kosmische Antwort nicht zu verpassen!

Das ursprüngliche Anliegen Drakes war es, die Zahl kommunikationsbereiter Zivilisationen abzuschätzen. Konkret lauten die Fragen: Wie lange ist eine Zivilisation kommunikationsbereit? Wie viele Jahrhunderte finanziert sie SETI-Projekte, wie oft sendet sie in welche kos-

mische Richtung? Entwickelt sie vielleicht technische Errungenschaften, die einen elektromagnetischen Fingerabdruck hinterlassen, von denen wir bisher keine Ahnung haben? Hier öffnet sich ein weites Feld für Scifi-Spekulationen. Seriöse Argumente sind nur schwer zu formulieren.

Um aber doch eine Zahl zu produzieren, wollen wir einmal davon ausgehen, dass auf jedem Planeten mit einer kulturtragenden Zivilisation irgendwann eine ‚High-Tech‘ Entwicklung einsetzt.<sup>146</sup> Trotz des bewundernswerten Langmutes der SETI-Gemeinde ist nicht davon auszugehen, dass der Aufwand einer ergebnislosen Suche über Jahrtausende betrieben wird beziehungsweise teure Signale gesendet werden. Daher schätzen wir einmal, dass diese High-Tech-Kulturen durchschnittlich ein Tausendstel der Zeit ihrer kulturellen Evolution entweder Botschaften oder einen wie auch immer gearteten elektromagnetischen Fingerabdruck absenden, der in kosmischer Entfernung noch bemerkbar ist, das bedeutet 100.000 Jahre. Wir setzen in obige Gleichung ein:

**N (Exoerden mit kommunikationsbereiten Zivilisationen)**

$$= 1 \text{ (günstiger Stern pro Jahr)} \times 0,005 \text{ (habitable Exoerden)} \times 0,5 \text{ (Funke des Lebens gezündet)} \times 0,25 \text{ (komplexes Leben entwickelt)} \times 0,5 \text{ (kulturtragendes Leben)} \times 100.000 \text{ Jahre} = 31$$

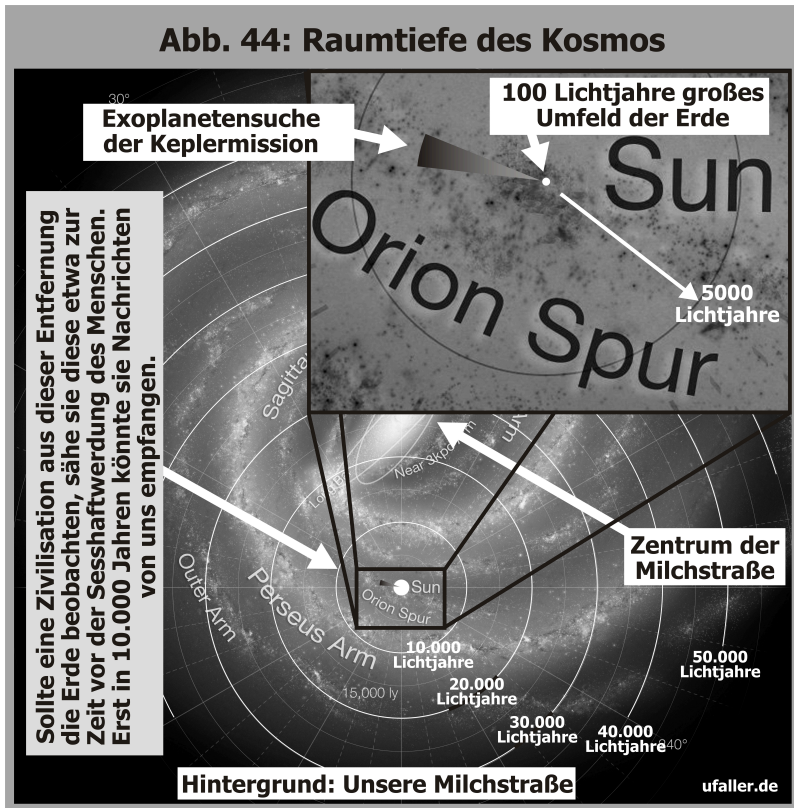
Damit fänden sich 31 aktuell durch einen elektromagnetischen Fingerabdruck erkennbare Zivilisationen in unserer Milchstraße mit einem mittleren Abstand von 8000 Lichtjahren. Für die SETI-Community mag dies keine allzu motivierende Perspektive sein. Sollten wir aber doch ein Signal auffangen, dann würden sich alle bisherigen Spekulationen als viel zu vorsichtig entpuppen. Genau diese Hoffnung hält die SETI-Forscher beim großen Lauschangriff an den Geräten.

**Ergebnis:** Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit werden wir die Frage, *wie* allein wir im Universum sind, nie auch nur annähernd sicher beantworten können. Wir stehen letztlich hilflos vor der unsere Vorstellung überfordernden Größe des Universums und der nicht minder schwer begreifbaren Zahl von Sternen und Galaxien. Hier zeigt sich der Wert der Drake-Gleichung, denn sie hilft, unseren

Wissenshorizont mit Argumenten zu verknüpfen und auf ihre Konsequenzen für unser Weltbild zu prüfen. Die unvorstellbare Größe und Vielfalt des Kosmos wird hierdurch vorstellbarer – wenn auch nur etwas.

Das kopernikanische Prinzip besagt, dass wir keine herausgehobene, besondere Stellung im Universum innehaben. Mit Sicherheit können wir inzwischen sagen, dass die Erde ein Planet unter vielen in unserem Sonnensystem ist und dass unsere Sonne eine durchschnittliche unter sehr vielen anderen darstellt. Auch unsere Milchstraße ist nicht die einzige Sterneninsel im Universum, sondern eine von unvorstellbar vielen. Sicher ist auch, dass wohl die meisten Sonnen von Planeten umkreist werden, viele von ihnen so, dass habitable Bedingungen auf diesen Planeten herrschen. So weit wurde das kopernikanische Prinzip schon bestätigt. Aber wie häufig zündet ein Lebensfunke, wenn die Bedingungen hierfür gegeben sind? Die nächsten Jahrzehnte könnten hierfür Anhaltspunkte geben: Präbiotische anorganische Moleküle haben wir außerhalb der Erde schon gefunden. Ob auf dem Mars, dem Jupitermond Europa oder dem Saturnmond Enceladus Leben entstanden ist, lautet die aktuelle Forschungsfrage. Zudem hofft man, Fingerabdrücke des Lebens in den Atmosphären von Exoerden künftig ausmachen zu können. Finden wir im Licht, das diese passiert hat, Spektrallinien von Methan und Sauerstoff, so ließe sich dies nur durch Leben als Quelle dieser Stoffe erklären. Hier ist nicht unmöglich, dass die Fortschritte in der beobachtenden Astronomie zukünftig Ergebnisse liefern. Wenn nicht, bleibt dieser Faktor offen, wird jedoch nicht nach 1 tendieren. Das kopernikanische Prinzip ist in dieser Frage aktuell auf dem Prüfstand. Höheres Leben oder Zivilisationen außerhalb der Erde ausmachen zu können, ist im Moment nicht in Reichweite der astronomischen Möglichkeiten, es sei denn, kommunikationsbereite Zivilisationen wären unerwartet sehr häufig und würden daher von der SETI-Forschergemeinde in absehbarer Zeit entdeckt. Sonst bleibt E.T. den Sci-Fi-Autoren überlassen.

Selbst wenn wir Kenntnis von einer Exozivilisation hätten: Ein Gedankenaustausch mit extrasolaren Welten würde den menschlichen Zeithorizont überstrapazieren, wie Abbildung 44 veranschaulicht.



Sollte sich aber herausstellen, dass die Entstehung von Lebensformen kein extremster Zufall wäre, und vieles spricht dafür, dann können wir mit einiger Sicherheit sagen, dass die Vorstellung, zum jetzigen Zeitpunkt eine einsame Zivilisation im Universum zu sein, genauso unwahrscheinlich ist wie die Vorstellung, dass die Zahl mit uns vergleichbarer technischer Zivilisationen in unserer Milchstraße in die Tausende geht.

Allerdings haben wir uns bisher nur gefragt, wie die SETI-Frage zum aktuellen Zeitpunkt zu beantworten ist.



## **Anthropozän: Auftakt zum Sapiezoikum oder apokalyptische Episode**

Kosmologie und Geologie haben den Blick in die Vergangenheit unserer Welt revolutioniert. Zeittiefen eröffneten sich, die unvorstellbar weit über die menschlich fassbaren, historischen Dimensionen zurückreichen. Noch viel mehr gilt dies für die Zukunft der Erde, unseres Sonnensystems, unserer Galaxie und unseres Kosmos insgesamt.<sup>147</sup> Sollte nicht eine unvorhersehbare kosmische Katastrophe das Leben auf der Erde vernichten oder stark beeinträchtigen, beispielsweise ein Komet auf der Erde einschlagen oder ein Gammablitz binnen Sekunden den halben Erdball sterilisieren, so stehen uns die Lebensräume unserer Erde noch viele Hundert Millionen Jahre zur Verfügung, das Meer als potenzieller Lebensraum noch viel länger. Dann allerdings wird es zu heiß, denn unsere Sonne strahlt ihrer Physik folgend von Jahrmilliarden zu Jahrmilliarden immer energiereicher. Doch selbst wenn unser Sonnensystem nicht mehr habitabel sein sollte, spricht nichts dagegen, dass in unserer Milchstraße noch über ein Vielfaches der Zeit, die unser Universum schon existiert (!), habitable Sphären entstehen und wieder vergehen. In kosmologischen Maßstäben hat die Ära, in der Leben in unserem Universum möglich ist, gerade erst begonnen. Auch wenn der Kosmos aus heutiger Sicht einen Anfang im „Urknall“ hatte und einem Ende entgegengeht, so liegt dieses Ende zeitlich ferner in der Zukunft als der Urknall in der Vergangenheit.

In historischen Zeitdimensionen brauchen wir uns über ein Weltende des Universums keine Gedanken zu machen, auch nicht über eine Apokalypse unserer Erde. Auf dem Spiel stehen lediglich die Traditionen der menschlichen Zivilisationen auf unserem blauen Planeten. Die Eingriffe menschlichen Handelns in das Klimasystem sind in aller Munde. Wir bewegen mehr geologisches Material als alle Flusssysteme der Erde zusammen. Menschliche Abfälle wie Plastik sedimentieren zu einer unverwechselbaren anthropogenen Erdschicht und – wohl der dramatischste Einschnitt – die Konsequenz unseres raumgreifenden wirtschaftlichen Handelns ist ein Artensterben, das die menschliche Zivilisation beeinträchtigen, wenn nicht gar beenden könnte und damit eine kulturelle Apokalypse darstellt. All dies führt dazu, dass Geologen dem gegenwärtigen Erdzeitalter die Bezeichnung „Anthropozän“ geben, „Zeitalter des Menschen“. Die historische Frage

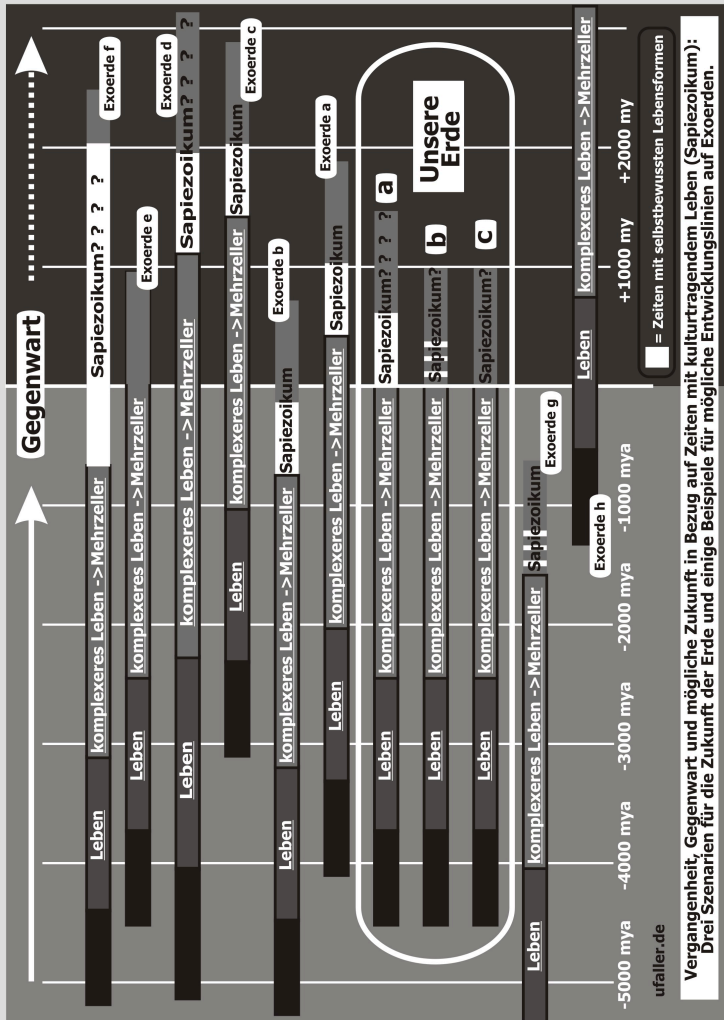
der nächsten Jahrhunderte wird sein, ob wir die Konsequenzen unseres technischen Handelns so meistern werden, dass wir Menschen mit einer lebensfähigen Biosphäre harmonisieren; mit anderen Worten, ob wir als Parasiten mit dem Leiden des Wirtes selbst sterben oder lernen, als Symbiont nicht nur das Wohl unserer Spezies, sondern auch das der belebten Mitwelt im Auge zu haben. Sollten wir dies schaffen, dann könnte die Evolution des Menschen einen für die gesamte Biosphäre gewinnbringenden Entwicklungsschritt darstellen, der die Erde langfristig positiv verändert. Aus dem Anthropozän könnte ein „Sapiezoikum“ werden, wie dies der Astrobiologe David Grinspoon in einem Artikel in der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“<sup>148</sup> formulierte. Das Proterozoikum begann mit einem dramatischen Artensterben durch die Giftigkeit des Sauerstoffs. In der Folge ermöglichte der energieeffiziente Stoffwechsel eine Formenvielfalt auf der Erde, die langfristig positiv zu bewerten ist. So könnte der evolutionäre Schritt dahin, dass *„kognitiv gesteuerte Vorgänge – Gedanken, geplante Handlungen und schöpferische Prozesse – das System Erde maßgeblich beeinflussen“*<sup>149</sup>, auf Dauer der Biosphäre mehr nützen als schaden; schon dadurch, dass der Mensch historisch für ein Plus an Artenvielfalt verantwortlich war, da er durch seine Siedlungstätigkeit die Biotopvielfalt eines Lebensraumes erhöhte. Sollte dem so sein, würde ein neues erdgeschichtliches Äon eingeleitet, ein „Sapiezoikum“, wie es der zitierte Astrobiologe nennt.

Wie einst mit der Entdeckung der Tiefenzeit eröffnen sich mit diesem Gedankengang weltanschaulich bedeutungsvolle Perspektiven. Nicht jeder allerdings wird sie begrüßen. Denn so, wie die Vorstellung von der Schöpfung in historischer Zeit Voraussetzung dafür ist, unsere Spezies als Sinn und Ziel des Kosmos zu begreifen, so braucht es hierfür ein historisch fassbares Ende, eine Apokalypse. Denn das Weltende ist Voraussetzung für die Transformation der Welt ins Transzendente, ist Zeitpunkt des Weltgerichtes, das Ende der Geschichte und der Beginn des „Reiches Gottes“. Das Finale der Bibel in der Offenbarung des Johannes malt dieses Bild, genauso wie die Endzeiterwartung des christlichen Gottessohnes. Kein Wunder, dass die Geschichte des Christentums auch eine „Geschichte verpasster Weltuntergänge“<sup>150</sup> darstellt.

Im weitesten Sinne kommt auch hier das „kopernikanische Prinzip“ zum Tragen: Das „Hier und Jetzt“ reiht sich ein in eine unvorstellbar lange Folge menschlicher Generationen. Auch geschichtlich sind „wir“ nicht im Fokus des Weltgeschehens. Es sei denn im katastrophalen Sinne, dass wir uns und unsere Existenz so infrage stellen, dass die Werte unserer Kultur, die wir uns selbst geben, sich nicht als überlebensfähig herausstellen würden und wir deshalb verschwinden und verhallen. Das Anthropozän wäre dann ein Wimpernschlag, von dem eine dünne, eigentümliche Sedimentschicht und ein gewaltiger Faunenschnitt übrig bleiben würden. Allerdings ohne den Beginn eines „Gottesreiches“. Sollte dies geschehen, bliebe genügend Zeit, um auf unserer Erde aus einem anderen evolutionären Zweig den Funken kultureller Evolution zu zünden, möglicherweise auch mehrfach. Diese drei Alternativen der Zukunft unserer Biosphäre sind in der nachfolgenden Grafik angedeutet. Wir haben es selbst in der Hand, aus dem „Experiment intelligente Zivilisation“ ein positives oder negatives Ergebnis werden zu lassen.

Doch blicken wir zum Abschluss dieses Kapitels erneut über den Tellerrand unserer Erde hinaus. Die Vorstellung, dass es allein in unserer Milchstraße viele Millionen potenziell für Leben geeignete Habitate gibt, die alle außer auf unserer Erde ungenutzt über Äonen ihre Kreise ziehen, um dann im Feuer ihrer Sterne zu vergehen, ist erschreckend und trist und weit entfernt von dem Bild eines Kosmos, dem man Loblieder singt. Es würde nicht passen zu der Vielfalt des Lebens, die unsere Erde im Laufe ihrer Lebensgeschichte hervorgebracht hat. Auch aus diesem Blickwinkel ist es berechtigt, von vielen, sehr vielen Planeten auszugehen, auf denen der Funke des Lebens gezündet hat und noch zündet, und von vielen, die auch den Schritt zu „höherem“ Leben gegangen sind. Nur folgerichtig ist, dass es wohl immer noch viele Planeten allein in unserer Milchstraße sein werden, in denen auch ein „Sapiezoikum“ gezündet hat – und noch viel mehr noch zünden werden. Abbildung 45 zeigt, dass die meisten ihre Entwicklungsschritte zeitversetzt und in unterschiedlich langen Perioden machen werden.

### Abb. 45: Mögliche Entwicklungsabschnitte einiger hypothetischer Exoerden



Schon deshalb, weil der lebensfreundliche Abschnitt, der den Exoerden zur Verfügung steht, mit der Abnahme der Masse ihrer jeweiligen Sonne erheblich länger wird. Mögliche lebensgeschichtliche Szenarien sind in der Grafik angedeutet: Exoerden, die noch in einem früheren Abschnitt ihrer Evolution stecken (Exoerde d, c, h und a), solche, auf

denen es nicht zu einem Sapiezoikum kommt (Exoerde e), solche, auf denen nur kurze Perioden mit kulturtragenden Zivilisationen sich verwirklichen (Exoerde g) oder sehr lang andauernde (Exoerde f). Die Geschichten, die das Leben dieser Planeten schreibt, werden zahlreich und von uns kaum imaginierbar sein. Dass aber Geschichten dieser Art vielleicht häufiger, vielleicht seltener, gelebt werden, ist vor dem Hintergrund der Kosmologie der Gegenwart nur vernünftig anzunehmen. Weiten wir den Blick in die Zukunft der nächsten Jahrmilliarden und über die Zahl aller in unserem Universum vorkommenden Galaxien, so ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass Lebensformen, die staunend dem kosmischen Geschehen gegenüberstehen und es fragend begreifen wollen und ihre Kulturen nach den Antworten ausrichten, die sich ihnen ergeben, die Regel sind. Wir also sind demnach eine Kultur unter sehr, sehr vielen, die unser Universum hervorgebracht hat und noch hervorbringen wird. Es wäre vermessen, dem kopernikanischen Prinzip der Durchschnittlichkeit unseres Daseins hier nicht zu folgen.

# Warum der Dialog zwischen Naturwissenschaft und Religion unwissenschaftlich, der zwischen Naturwissenschaft und der Philosophie umso wichtiger ist

*„Den Kern einer jeden wissenschaftlichen Forschung bildet eine tiefe spirituelle Sehnsucht: zu begreifen, zu erkennen, sich durch das Eindringen in die Geheimnisse der Natur mit dieser verbunden zu fühlen und im größeren Ganzen aufzugehen.“*  
Carolyn C. Porco<sup>151</sup>

## Naturwissenschaft und Religion

„Am Anfang schuf Gott Himmel und Erde.“ Der Beginn des Alten Testaments ist wohl fast jedem Mitteleuropäer bekannt. Doch handelt es sich keineswegs um den einzigen Schöpfungsmythos, der erzählt wird. So entstand beispielsweise nach daoistischer Vorstellung aus einem chaotischen Nebel das weiblich-männliche Kräftepaar Yin und Yang, das Sonne, Mond, die Jahreszeiten, die fünf Elemente und zuletzt alles Leben und den Menschen hervorbrachte. Auch bei Hesiod stand am Anfang das Chaos, aus dem als eine der ersten Gottheiten Gaia mit ihren göttlichen Geschwistern hervorging, die eine komplexe Göttergenese einleitete, die letztlich auch Welt und Menschen entstehen ließ. Die Germanen erzählten sich vom Riesen Ymir und der Weltenesche Yggdrasil, in Borneo ist es eine Spinne, die in der ewigen Dunkelheit Silberfäden spinnt, und Indianermythen berichten von einem Kojoten, dessen Heulen die Stille durchbrach.<sup>152</sup>

Vorwissenschaftliche Schöpfungsmythen malen den Hintergrund, vor dem die jeweiligen Religionen dem endlichen Leben eine überzeitliche Orientierung geben. Sie sind mit dem Glauben, der religiösen Praxis und den Weltdeutungen der jeweiligen Religion fest verwoben

und lassen sich nicht so einfach austauschen. Auch die moderne Kosmologie entwirft ein Bild von der Genese des Universums. So bleibt nicht aus, dass sie mit religiösen Weltbildern in Konkurrenz tritt. Die Geschichte, die aufgrund astrophysikalischer Forschung von der Entstehung des Universums erzählt wird, hat Konsequenzen über den Tellerrand naturwissenschaftlicher Forschung hinaus. Neben der Evolutionsbiologie ist es besonders die Kosmologie, die religiöse Weltbilder herausfordert und irritiert. Das darf man bei aller Begeisterung für kosmologische Detailfragen nicht vergessen. So wird die Diskussion über das Verhältnis von Religion und Naturwissenschaft, von Glauben und Vernunft vielerorts geführt, mal versöhnlich, ein anderes Mal kontrovers oder kämpferisch.<sup>153</sup> Dieser Diskurs ist schon deshalb wichtig, weil Weltbilder, egal welchen Ursprungs, für das politische und gesellschaftliche Handeln mehr Konsequenzen haben, als es uns zumeist bewusst ist; sei es bildungspolitisch, sei es in Bezug auf die ethischen Grundlagen politischer Entscheidungen.

Die Frage ist nur, ob sich naturwissenschaftliche und religiöse Weltdeutungen insofern auf Augenhöhe begegnen, als sie beide auf ihre Weise zu Erkenntnissen führen und den Anspruch erheben können, rational belastbare Aussagen über die Beschaffenheit der Welt und ihre Bedeutung für uns Menschen machen zu können. Die einen bestreiten dies, wie der italienische Mathematiker und Wissenschaftshistoriker Piergiorgio Odifreddi in seinem 2007 erschienenen Buch *„Warum wir keine Christen sein können“*<sup>154</sup>. Odifreddi spricht den damaligen Papst Benedikt XVI. an, der als katholischer Garant vernünftigen Denkens gilt, und zeigt auf, inwiefern Theologie keine Wissenschaft, sondern Science Fiction sei. In einem offenen Brief erwidert Benedikt 2013, dass *„Theologie dafür zu sorgen habe, dass die Religion mit der Vernunft und die Vernunft mit der Religion verbunden bleibe“*<sup>155</sup>. Aus innerreligiöser Perspektive ist das sicher wünschenswert. Die Frage ist nur, wie weit Theologie dabei gehen kann, ohne sich selbst aufzulösen. Hat der Glaube aber auch Aufgaben der Wissenschaft gegenüber, wie Benedikt behauptet? Denn es gäbe eine *„Pathologie der Religion und – nicht minder gefährlich – eine Pathologie der Vernunft“*<sup>156</sup>. Damit will Benedikt XVI. seiner Religion ein wissenschaftliches Mitspracherecht verschaffen.

Beim naturwissenschaftlichen Forschen muss man zwei Anliegen unterscheiden: Das eine ist pragmatischer Natur. Bei diesem Anliegen geht es darum, neue Techniken und medizinische Möglichkeiten zu entwickeln. Das andere – meist als „Grundlagenforschung“ bezeichnet – entspringt dem Erkenntnisinteresse des Menschen. Der Mensch ist eine Spezies, die sich ihrer Endlichkeit bewusst ist und die mit diesem Bewusstsein umgehen muss. Damit ist dem Menschen in die Wiege gelegt, sein Leben und die Welt, in der er lebt, zu hinterfragen. Er möchte wissen, wie es um ihn und die Welt bestellt ist, er sucht trostreiche Antworten, um mit der Absurdität des Lebens, mit seiner bedrohlichen Seite – Krankheit, Tod, Trauer, Leid – zurechtzukommen. Genau dies aber ist der Punkt, an dem sich Wissenschaftlichkeit entscheidet: Was ist, wenn die Realität nicht so tröstlich ist, wie es sich der verletzte Mensch wünscht?

Auf dem Weg zur modernen Kosmologie hat der Mensch lernen müssen, von Wunschvorstellungen Abstand zu nehmen. Das christlich-geozentrische Bild vom Kosmos entsprach menschlichen Dimensionen. Das erlebte Diesseits war zwar mit dem Makel der Sünde und Vergänglichkeit behaftet, aber das erwartete Heil im „neuen Jerusalem“ war zeitlich greifbar und das göttlich ideale Firmament zeigte sich allabendlich. Nun steht der Christ, der seine Religion ernst nimmt, vor der Herausforderung, die alles bestimmende Heilsgeschichte, von der die Bibel berichtet, mit den Vorstellungen eines zeitlichen und räumlichen Ozeans in Verbindung zu bringen, in dem die Erde und die historische Dimension menschlicher Geschichte zwar eine kostbare und besondere Insel darstellt, aber in Bezug auf eine übergeordnete Dimension im raumzeitlichen Materiegeschehen untergeht. Keinen, der Wissenschaft ernst nimmt und ein echtes Erkenntnisinteresse hat, kann die kosmologische Verortung von Erde und Menschheit kalt lassen: Die räumliche und zeitliche Tiefe des Universums stellt eine Herausforderung an die menschliche Psyche dar.

Was bedeutet es aber, angesichts dieser Dimension den wissenschaftlichen Boden nicht zu verlassen, sich den Vorwurf nicht machen zu müssen, in einer persönlichen Fantasy-Welt zu leben? Hier ist nicht der Ort für lange wissenschaftstheoretische Ausführungen. Das ist auch nicht nötig. Der Mainzer Philosoph Thomas Metzinger hat in den letzten Jahren einen Begriff geprägt, der als Messlatte wissen-



schaftlichen Handelns dienen kann: Den Begriff der „intellektuellen Redlichkeit“. Wegen seiner Bedeutung sei Metzinger hier ausführlicher zitiert:

*„Intellektuelle Redlichkeit bedeutet, dass man einfach nicht bereit ist, sich selbst etwas in die Tasche zu lügen. Sie hat auch etwas mit sehr altmodischen Werten wie Anständigkeit, Aufrichtigkeit und Ehrlichkeit zu tun, mit einer bestimmten Form von ‚innerem Anstand‘. [...] Intellektuelle Redlichkeit ist möglicherweise aber auch gleichzeitig genau das, was Vertreter der organisierten Religionen und Theologien aller couleur einfach nicht haben können, auch wenn sie es gerne für sich in Anspruch nehmen würden. Intellektuelle Redlichkeit bedeutet ja gerade, dass man nicht vorgibt, etwas zu wissen oder auch nur wissen zu können, was man nicht wissen kann, dass man aber trotzdem einen bedingungslosen Willen zur Wahrheit und zur Erkenntnis besitzt, und zwar selbst dann, wenn es um Selbsterkenntnis geht, und auch dann, wenn Selbsterkenntnis einmal nicht mit schönen Gefühlen einhergeht oder der akzeptierten Lehrmeinung entspricht.“<sup>57</sup>*

Bei genauerem Hinsehen muss der Text irritieren, denn dem vielerorts erhofften Bild vom Dialog zwischen Naturwissenschaft und Religion, zwischen Vernunft und Glauben entspricht er nicht. Um dies zu verstehen, müssen wir genauer hinterfragen, was man unter Glauben versteht.

Welche Bedeutungen werden mit dem Wort „glauben“ in Verbindung gebracht? Der diffuse Sprachgebrauch dieses Wortes führt im Dialog zwischen Gläubigen und Nichtgläubigen zu vorprogrammierten Missverständnissen und gibt Glaubensvertretern mehr oder minder bewusst die Gelegenheit für Verbalstrategien, welche die Kultivierung religiösen Glaubens als legitimen Erkenntnisakt erscheinen lassen.

Zunächst muss die Alltagssprachliche Bedeutung von der religiösen unterschieden werden: „Ich glaube, dass es morgen regnen wird.“ Glauben steht hierbei für eine begründete Vermutung. Man wird nie mit absoluter Sicherheit wissen, was in der Zukunft liegt, aber wenn jemand diese Aussage macht, kann er diese Glaubensaussage mehr oder minder gut begründen (Wetterbericht, typische Wolkenformationen). Entsprechend vertrauenswürdig ist dann seine Glaubensaussage. Glauben steht hier für „nicht sicher wissen, aber begründet vermuten“. Oder auch unbegründet, wenn man wider alle Anzeichen mit grenzenlosem Pessimismus „glaubt, dass es morgen regnet“. Wenn man unter

freiem Himmel steht, hat die Aussage „Ich glaube, dass es jetzt regnet“ keinen Sinn. Denn man erfährt ja unmittelbar, ob es regnet oder nicht. Das braucht man nicht zu glauben. In diesem Sinne steht „glauben“ in diesem Kontext auch für „nicht sicher wissen“.

Eine zweite umgangssprachliche Bedeutung des Wortes „glauben“ wird in der Aussage „Ich glaube an dich“ oder „Ich glaube dir“ deutlich. Hier spricht man einem Menschen sein Vertrauen aus, was eine besondere Bedeutung hat, wenn dieses Vertrauen durch eine missliche Lebenssituation infrage gestellt ist. Glaube als Ausdruck eines Vertrauens spielt natürlich auch im Wissenschaftsbetrieb eine wichtige Rolle. Man kann nicht alle empirischen Erfahrungen selbst machen. Man ist darauf angewiesen, den Ergebnissen der jeweiligen Forschungsteams zu vertrauen. Daher ist verständlich, dass Datenfälschungen und ein leichtfertiger, unkritischer Umgang mit der Interpretation von empirischen Befunden von der Wissenschaftscommunity geächtet werden. Dieser Vorbehalt, im Besonderen, wenn es um Ergebnisse geht, die Grundlagen infrage stellen, wird von Außenstehenden gerne mit religiösem Dogmatismus verwechselt. Im Gegensatz zu religiösen Dogmen kennt der wissenschaftliche Fortschritt Umbrüche und Paradigmenwechsel, bei denen auch die Grundvorstellungen, von denen man im wissenschaftlichen Diskurs bis dato ausgegangen war, infrage gestellt und neu gefasst werden. Die kopernikanische Wende von der aristotelisch-christlichen zur modernen Kosmologie ist hierfür ein Paradebeispiel. In diesem Sinne kann „Glaube“, also Vertrauen in die Ergebnisse wissenschaftlichen Forschens, entstehen. Mit dem Vorwurf, auch Wissenschaft sei ein quasireligiöses Glaubenssystem, das Menschen zur „Wissenschaftsgläubigkeit“ erziehen würde, hat dies allerdings nichts zu tun.

Was ich für glaubwürdig im Sinne von vertrauenswürdig erachte, entspringt zunächst nicht rationalen Begründungen. Oftmals erscheint das, woran „die meisten in meiner Gemeinschaft glauben“, als vertrauenswürdig; oder auch eine von mir verehrte Persönlichkeit besonderen Charismas. Wenn es um Fragen der Erkenntnis geht, sollte ein wesentliches Kriterium der Vertrauenswürdigkeit sein, ob es möglich ist, sich „hinaufzuirren“. Ist man in der Lage, Grundüberzeugungen, von denen man bei jeder Erkenntnistätigkeit ausgehen muss, aufzugeben oder zumindest zu hinterfragen, wenn sie widersprüchlich erscheinen

oder inkompatibel mit neuen Erkenntnissen sind? Genau dies aber können Offenbarungs-Religionen nicht. Am Fundament ihrer jeweiligen „göttlichen Offenbarung“ können sie nicht rütteln, ohne sich selbst aufzugeben. Allein die Auslegung dessen, was sie für Offenbarungen halten, versuchen sie dem aktuellen Zeitgeist anzupassen. Dies ist das Kerngeschäft der jeweiligen Theologie.

Damit kommen wir zur religiösen Bedeutung des Wortes Glauben. Der Religionspsychologe Sebastian Murken beantwortet die Frage, was das Wort Glauben bedeutet, folgendermaßen: *„Das Wort Glaube hat im Deutschen eine emotionale und eine kognitive Bedeutung. Die emotionale Bedeutung ist eher ein Gefühl von Zuversicht, von Vertrauen, von sich aufgehoben fühlen, während die kognitive Bedeutung eher auf einen Inhalt geht, ein für wahr halten, eine Überzeugung in Bezug auf bestimmte Inhalte.“*<sup>58</sup> Religiöser Glaube entsteht nach Murken dann, wenn die grundlegenden Bindungserfahrungen des Menschen in der frühen Kindheit verknüpft werden mit der Erfahrung gelebten Glaubens: *„Glaube ist etwas, was sehr tief in der Seele verwurzelt in der frühen Kindheit entsteht und sich in seiner Entstehung aus verschiedenen Dimensionen speist. Da ist zum einen die grundlegende Erfahrung von in der Welt sein und Beziehung. Denn im Glauben reproduzieren sich die Dimensionen, die auch in der kindlichen Entwicklung wichtig sind, nämlich gehalten werden, vertrauen können, gesehen werden, Zuversicht bekommen. All das sind Dinge, die erst mal unabhängig von der Religion für den Menschen wichtig sind. Und wenn das noch zusammen kommt mit einer religiösen Erziehung, vielleicht sogar in einer religiösen Gemeinschaft, entsteht religiöser Glaube.“* Murken bezweifelt, dass, abgesehen von Ausnahmen, jemand, der diese frühkindliche Verknüpfung zwischen Bindungserfahrungen und religiösem Glauben nicht in die Wiege gelegt bekommen hat, zu einem Menschen werden kann, für den religiöser Glaube lebensbestimmend wird.

Für unsere Fragestellung wiegt noch schwerer: Das Umgekehrte gilt natürlich ebenso. Ist einmal ein religiöses Weltbild mit elementaren Bindungserfahrungen biografisch verknüpft, wird es sehr schwer, dieses Weltbild fundamental infrage zu stellen. Es ist ein mühsamer Weg, sich nicht „in die Tasche zu lügen“, wenn es darum geht, sich von religiösen Vorstellungen deshalb zu trennen, weil sie vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Erkenntnis nicht standhalten. Für das wis-

senschaftliche Arbeiten in Detailfragen ist dies auch kein Problem, solange der persönliche religiöse Lebensentwurf aus dem wissenschaftlichen Diskurs herausgehalten wird, wie dies wohl meist der Fall ist. Probleme entstehen erst, wenn eingefordert wird, Glaube hätte im Erkenntnisprozess mitzureden.

Geht man davon aus, dass ‚der religiöse Glaube‘ von etwas wissen kann, von dem die Naturwissenschaften nichts wissen oder aufgrund ihrer Methodik nichts wissen können, dann muss natürlich die Frage gestellt werden, wo die ‚Wissensquellen‘ des Glaubens liegen und wie seriös, also intellektuell redlich, diese Quellen sind. Die Erkenntnisse der Naturwissenschaft haben zwei Wissensquellen: die Empirie, also das, was mit und ohne Hilfsmittel beobachtet oder experimentell bestätigt werden kann einerseits, und die gedankliche, ggf. mathematische Durchdringung der empirischen Befunde, d. h. die Vernunft, genauer die Verknüpfung von beiden Erkenntnistätigkeiten. Die naturwissenschaftliche Empirie hat Grenzen, vorläufige, technisch überwindbare und prinzipielle. Der Kosmologe Gerhard Börner drückt dies in einem in der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ abgedruckten Gespräch mit dem Theologen Hans Küng so aus: *„Tatsache ist doch, dass das naturwissenschaftliche Weltbild dieses Manko hat, dass das denkende Subjekt, also der Geist, darin nicht vorkommt.“*<sup>59</sup> Schon die Tatsache, dass an dieser ‚Grenze empirischen Forschens‘ Theologen an den Diskussionstisch gebeten werden, suggeriert, dass diese methodisch quasi einen „dritten Weg“ zur Realität hätten.<sup>60</sup> Im gerade zitierten Spektrum-Gespräch nennt Hans Küng diesen Weg auch explizit, indem er sagt: *„Die Methodik [der Theologie] ist dabei [gegenüber der naturwissenschaftlichen] grundverschieden. Wir gehen immer von einem Zentrum aus, der religiösen Botschaft, der Offenbarung. Von diesem Zentrum aus betrachtet der Theologe die Wirklichkeit, und das ist doch dieselbe Welt, die der Physiker vor sich sieht.“* Als christlicher Theologe meint Küng hiermit in erster Linie die Bibel.

So dachte auch Galileo Galilei, als er davon sprach, dass sich Gott im Buch der Offenbarung und im Buch der Natur mitteilt. Vor 400 Jahren mag diese Ansicht noch eine gewisse Berechtigung gehabt haben: In der scholastischen Denktradition waren Philosophie und Theologie eng verschwistert,<sup>61</sup> als mögliche Offenbarungsquellen waren im Wesentlichen die der drei monotheistischen Religionen be-

kannt, wobei die jüdische über das Alte Testament in die Bibel Eingang gefunden hat und damit lediglich der Koran als legitime göttliche Offenbarung abgelehnt wurde.

Das ist heute im Zeitalter kultureller Globalisierung anders. Es gibt nicht nur eine Schrift, die mit dem Anspruch auftritt, eine Offenbarung transzendenter Wirklichkeit darzustellen und Antworten auf die großen Fragen des Lebens geben zu können, sondern deren viele und vor allem grundverschiedene. Man vergleiche nur einmal das Weltbild der katholischen oder protestantischen Theologie mit dem theosophischen (Offenbarungen der Helena Blavatsky) bzw. anthroposophischen (Offenbarungen Rudolf Steiners) oder mit den Gottesoffenbarungen des Baha'ullah der Bahai, ganz zu schweigen von der Offenbarungsflut der esoterischen Literatur. Religiösen „Glauben“ als seriöse Erkenntnismöglichkeit zu sehen, bedeutet konkret zu akzeptieren, dass sich eine transzendente göttliche Realität nicht oder nicht nur via Vernunft und Empirie, sondern auch durch Offenbarungen mitteilt. Für den Gläubigen mag dies selbstverständlich sein. Rituelles Rezipieren der religiösen Texte steht im Zentrum der Glaubenspraxis in den Buchreligionen. Für den Glaubenden teilt sich auf diese Weise „Gott“ täglich mit, was er ebenso wenig anzweifeln würde wie der Naturwissenschaftler den Zugang zur Realität über die Empirie.

Ehe man diese oder jene Offenbarungsschrift als Wissensquelle akzeptiert, muss man allerdings über einige Fragen Rechenschaft ablegen. Ist es überhaupt vernünftig zu meinen, dass sich „Gott“, wenn es ihn denn gibt, nur einzelnen Personen offenbart, damit diese in Erzähl- und Schrifttraditionen die Offenbarungsinhalte dem Rest der Menschheit weitergeben. Nach Ableben der Propheten bleibt den allermeisten Menschen nur, sich glaubend zu der jeweiligen Offenbarung zu bekennen und, wie Küng es zu Recht ausdrückt, im Denken von diesen Offenbarungen auszugehen – oder nach Galilei im Buch der Offenbarung zu lesen. Überzeugend wäre dieses Argument, wenn die „Gottesoffenbarungen“, die der Menschheit vorliegen, wenigstens in ihren Grundzügen zu vergleichbaren Aussagen kämen. In dieser Inter-subjektivität liegt die Überzeugungskraft des empirischen Vorgehens. Wer den Mond beobachtet, kommt zu den gleichen Beobachtungsergebnissen wie andere Beobachter; sollte er Neues entdecken, wäre dies für alle Mondforscher von Interesse. Glaubensinhalte hingegen werden

im Wesentlichen tradiert oder durch mehr oder weniger friedliche Mission anderen aufgedrängt. Ihre Unvereinbarkeit führt zur „Glaubensbindung“ der Theologie<sup>162</sup> und daher zur Tatsache, dass jede Glaubensrichtung, ist sie nur quantitativ ausreichend repräsentiert, ihre eigene theologische Fakultät hat, genauso, wie jede Konfession ihren eigenen Religionsunterricht bestreitet.

Vor einem Dialog mit der Naturwissenschaft gälte es daher zu klären, welche der vorliegenden Offenbarungsschriften den Anspruch erheben können, authentische Offenbarungen göttlicher Mächte darzustellen, und welche nicht.<sup>163</sup> Wenn dies entschieden ist, muss angesichts der Jahrhunderte, die zum Beispiel seit Niederschrift der Bibeltexte ins Land gegangen sind, entschieden werden, welche Textpassagen ursprünglich sind, das heißt sich auf tatsächlich stattgefundene Begebenheiten und Offenbarungen beziehen, und was im Laufe der Textweitergabe hinzukam. Die historisch-kritische Bibelforschung hat dies für die christlichen Schriften auch getan. Das hat allerdings, wenn man die Ergebnisse ernst nimmt, zu einer weitgehenden Entzauberung der Offenbarungstexte des biblischen Kanons geführt. Letzteres einzugestehen, dann aber ungehindert weiterhin theologische Dogmensysteme auf diesen aufzubauen, führt für den unbefangenen Outsider zu eigentümlichen Glaubenskonstrukten, die der studierte Theologe Heinz-Werner Kubitza mit gutem Grund als „Dogmenwahn“<sup>164</sup> bezeichnet.

Es ist nicht zu erwarten, dass eine christliche Theologie von der Bibel oder eine islamische Theologie vom Koran Abstand nimmt. Nicht nur, dass sie sich damit selbst auflösen würde. Der gläubige Christ sichert sich sein Zutrauen zu seinem Glauben dadurch, dass für ihn der Glaube *„nichts [ist], was man sich selbst gemacht hat, sondern ein Geschenk, das man durch eine lange Traditionskette hindurch aus Gnade erhalten hat“*, so der Theologe Christian Trapp in seinem Spektrum-Artikel<sup>165</sup>. Solche Selbstimmunisierungs-Strategien sind mit wissenschaftlichem Forschen unvereinbar. Innerreligiös mögen sie ihre Berechtigung haben, eine solide Basis für einen intellektuell redlichen Dialog auf Augenhöhe mit naturwissenschaftlicher Erkenntnissuche stellen sie sicher nicht dar.

## ... und Philosophie?

Bedeutet obige Abgrenzung der Naturwissenschaft gegenüber religiösen Weltinterpretationen und ihren Vertretern, dass naturwissenschaftliche Ergebnisse inhaltlich und methodisch sich selbst genügen? Entschieden nein!

Wir reden jetzt nicht von Wissenschaften, deren Ziel es ist, technologisches Anwendungswissen bereitzustellen. Wir reden von Wissenschaft, die darauf zielt, die Welt zu verstehen, in der wir leben, und unsere Rolle in dieser Welt zu begreifen, um uns in der Welt zu orientieren. Seit den letzten großen Universalgelehrten haben sich die Forschungsgebiete hoch spezialisiert und als Teildisziplinen aus der allgemeinen Erkenntnissuche mit je eigener Methodik ausgegliedert. In diesem Sinne ist es berechtigt, die Physik als ‚Kind der Philosophie‘ zu bezeichnen, wie dies der Philosoph Nida-Rümelin tut<sup>166</sup>. Die notwendigerweise hochgradige Spezialisierung naturwissenschaftlicher Teildisziplinen hat zur Folge, dass die ‚Spezialisierung darauf, nicht spezialisiert zu sein‘, kein ausgewogenes Gegengewicht zum naturwissenschaftlichen Fokus bildet. Hier liegt nun eine der Aufgaben der gegenwärtigen Philosophie im Besonderen und der Geisteswissenschaften im Allgemeinen.

In einer 2014 ausgestrahlten „Scobel“-Sendung mit dem Thema „Wissenschaft in der Krise“ drückt dies Nida-Rümelin folgendermaßen aus: *„Wir brauchen die Geistes- und Kulturwissenschaften, weil jede Gesellschaft sich auch vergewissern will über Werte, Normen, kulturelle Inhalte, Zukunftsperspektiven, das wissenschaftliche Weltbild. Wir sind in einem permanenten Prozess der Selbstvergewisserung. Und wenn die Geistes- und Kulturwissenschaften da nicht mitreden, dann übernehmen das Esoterikbücher oder Weltanschauungsgemeinschaften, Ideologien oder Religionsgemeinschaften, was wir international gegenwärtig zunehmend erleben. Also sind die Geistes- und Kulturwissenschaften auch ein Beitrag zur Aufklärung der Gesellschaft, der Kultur über sich selbst, und zwar nicht nur national, sondern global.“*<sup>167</sup> Ein wesentlicher Aspekt der in dieser Sendung attestierten Krise der Wissenschaften besteht darin, dass (Natur-)Wissenschaft an den Universitäten ganz wesentlich von ihrem volkswirtschaftlichen Nutzen her gesehen und finanziert wird. Sowohl für Studierende wie Lehrende schwinden die Freiräume,

sich dem Erkenntnisgewinn um seiner selbst willen zu widmen. Diese Lücke nutzen religiöse Akteure, deren finanzielle Spielräume andere Wurzeln haben.

Naturwissenschaftler wären gut beraten, wenn sie sowohl in ihrer Ausbildung als auch in der Forschung einen intensiven Dialog mit modernen Philosophen suchen würden. Folgen wir Nida-Rümelin im schon zitierten Spektrum-Artikel, so hat die Philosophie drei wesentliche Aufgaben: Sie ist Residual-<sup>168</sup>, Integrations- und Orientierungswissenschaft. *„Es gibt Grundfragen, die sich nicht in das methodische Korsett einer Einzeldisziplin zwingen lassen. [...] Was ist ein gutes Argument für etwas? Das kann kein Thema sein für eine Einzelwissenschaft, und deshalb bleibt sie der Philosophie erhalten. Dasselbe gilt für metaphysische und ontologische Fragen.“*<sup>169</sup> Gerade wenn man die berühmten Grenzen der Naturwissenschaft überschreitet, an denen eine empirische Absicherung seiner Annahmen nicht mehr möglich ist, muss man sich in besonderer Weise darüber Rechenschaft ablegen, wie solide und gut begründet die Aussagen sind, die man macht, und wie transparent, nachvollziehbar und in verschiedensten Kontexten haltbar die Schlussfolgerungen sind, die man zieht. Saubere Begriffsbildung und sorgfältiges Argumentieren sichern intellektuelle Redlichkeit auch dann, wenn man den Boden der Empirie verlassen muss.

Katechismen, die Glaubensantworten präsentieren, wird man so nicht erstellen können. Dafür werden die Fragen klarer und verständlicher, die man stellt. Noch klingt mir ein Wort eines meiner Lehrer im Ohr, dass *„eine gute Frage mehr Wert sei als ein Bündel Antworten“*. Ich kann ihm nur Recht geben: Fragen schließen auf, wecken Neugier, lassen weiterfragen und forschen, machen beweglich und sind das Gelände, an dem wir uns entlanghangeln. Der „volksnahe“ Philosoph Richard David Precht drückt diese Haltung zu Beginn seiner Trilogie zur Geschichte der Philosophie folgendermaßen aus: *„Alle großen philosophischen Fragen sind offene Fragen; und jede Antwort treibt sofort wieder neue Fragen hervor.“*<sup>170</sup>

Philosophie ist ganz wesentlich eine Integrationswissenschaft. Hierzu erneut Nida-Rümelin: *„Sie sollte dazu beitragen, die verschiedenen Befunde aus den Einzelwissenschaften zu einem kohärenten wissenschaftlichen Weltbild zusammenzuführen. Ich glaube nicht, dass die wissenschaftlichen Disziplinen jeweils ihr eigenes Weltbild haben können,*



*sondern nur alle Gebiete zusammen eines.*<sup>71</sup> Wie alle Teildisziplinen der Naturwissenschaft haben auch die Befunde der modernen Kosmologie ihren Einfluss auf die Handlungsorientierung auf allen Ebenen persönlichen und gesellschaftlichen Handelns. Die Tatsache, dass die astronomischen Parameter für die Lebensbedingungen auf unserer Erde aller Wahrscheinlichkeit nach für noch Hunderte von Millionen Jahren günstig sein werden und kulturelles Leben für unsere Nachkommen ermöglichen könnten, ist eine ganz andere Prämisse als das von manchen Zeitgenossen geradezu herbeigesehnte Ende der Welt, das sie mit einem transzendenten Neuanfang verbinden. Der Orientierungsrahmen für gesellschaftliches Handeln ist hier ein ganz anderer. Wie aber lassen sich daraus gute Argumente im problembelasteten 21. Jahrhundert ableiten? Hier ist geschultes philosophisches Denken gefragt.

Vielfach aber hat die Philosophie mit ähnlichen Vorbehalten zu kämpfen wie die Theologie. Nicht ohne Grund. Bei der Besprechung der Aristoteles-Rezeption im Mittelalter haben wir gesehen, wie sich die katholische Lehramtstradition von der vernunftorientierten Erforschung der Natur distanzierte, für die *der* Philosoph Aristoteles stand. Dies änderte sich durch die Verinnerlichung zweier Motive, die bis heute angeführt werden, um die Vernunftnähe des katholischen Glaubens zu belegen. Derselbe Gott, so das erste Motiv, der sich dem katholischen Glauben offenbart, zeigt sich auch in der Natur. Als Ebenbild Gottes ist dem Menschen mit seiner Vernunft ein Werkzeug gegeben, die Offenbarung Gottes in der Natur zu verstehen. Der Ursprung von beidem ist derselbe Gott, daher können sich Glaube und Vernunft nicht widersprechen. Allerdings hat die Vernunftserkenntnis ihre Grenzen. Hier ergänzen geoffenbarte Glaubenswahrheiten, was der Vernunft zu erfassen nicht gelingt. Daher steht der Glaube über der Vernunft, so das zweite Motiv, und vernunftorientiertes Philosophieren behält seine Glaubensbindung. Die Philosophie bleibt im Selbstverständnis katholisch Glaubender somit im Einflussbereich der Theologie.

Dieser Vereinnahmungs-Strategie der Philosophie vonseiten der Theologie begegnet man vielfach. Sie ist Signum eines noch nicht abgeschlossenen Emanzipationsprozesses der Philosophie von der ehemals das gesamte universitäre Denken bestimmenden Theologie. Kon-

kordatslehrstühle, über deren Besetzung kirchliche Vertreter mitbestimmen dürfen, und beispielsweise die „Hochschule für Philosophie München“ in der Trägerschaft der „Gesellschaft Jesu“ (Jesuitenorden)<sup>172</sup> sind Beispiele dafür, wie sehr Philosophie auch heute noch im Einflussbereich religiöser Akteure sein kann. Ich möchte dafür plädieren, die Grenze zwischen Theologie und Philosophie jederzeit klar und deutlich erkennbar zu machen. Das ist die Voraussetzung für einen fruchtbaren und intellektuell redlichen Dialog zwischen Naturwissenschaft und Geisteswissenschaften.

Gemeint ist kein Denkverbot in Fragen nach „Gott“ oder „dem Transzendenten“! Fragen dieser Art ordnet man der Metaphysik zu. Doch gerade in diesen Themenbereichen gilt das soeben Ausgeführte in ganz besonderem Maße. Eine saubere Begriffsbildung und eine gute, weit abgesicherte Argumentation sind in höchstem Maße gefordert, wenn es um metaphysische Fragen geht. Und Ehrlichkeit sich selbst gegenüber, was „Antworten“ anbelangt. Der „Gott der Philosophen“, über den man in dieser Weise nachdenken kann, eignet sich sicherlich kaum für eine religiöse Lebenspraxis, genauso wenig wie einer der „Götter“ der Religionen für die aufrichtige Suche nach Antworten auf große Fragen des Lebens. Daher ist der Dialog zwischen Naturwissenschaft und Religion unwissenschaftlich, der zwischen den Naturwissenschaften und der Philosophie bzw. den Geisteswissenschaften umso wichtiger.



# Kränkung und Katharsis

## Sigmund Freud und die kosmologische Kränkung des Menschen

1917: In nie da gewesener Brutalität zerfleischen sich die europäischen Mächte in einem Krieg, in den die Völker nur zu oft mit Euphorie gezogen sind. Die führenden Eliten genauso wie die breite Masse. Man fragt sich, warum?

In Wien schreibt Sigmund Freud, dessen Name seit zwei Jahrzehnten für die wissenschaftliche Erforschung seelischer Abgründe steht, an einem Aufsatz, der den Topos von der „narzisstischen Kränkung der Menschheit“ durch wissenschaftliche Fortschritte in die Welt setzt. Der Titel des Aufsatzes: *„Eine Schwierigkeit der Psychoanalyse“*<sup>73</sup>.

Es fällt schwer, so Freud, zu akzeptieren, dass *„seelische Vorgänge an sich unbewusst sind und nur durch eine unvollständige und unzuverlässige Wahrnehmung dem Ich zugänglich werden“*, weshalb wir von unbewussten Vorgängen unserer Psyche beeinflusst sind. Das Ich ist damit *„nicht Herr in seinem eigenen Haus“*. Dies kränkt die narzisstische Eigenliebe des Menschen, der sich *„souverän in seiner eigenen Seele“* wähnt. Die Psychoanalyse macht ihm dies bewusst, was ihre Akzeptanz behindert. Dies sei, so führt Freud aus, die dritte große narzisstische Kränkung im Zuge des Fortschrittes der Wissenschaften. Die zweite ist mit dem Namen Darwins verbunden: *„Der Mensch ist nichts anderes und nichts Besseres als die Tiere, er ist selbst aus der Tierreihe hervorgegangen, einigen Arten näher, anderen ferner verwandt.“*

Die erste Kränkung muss uns genauer beschäftigen, denn sie ist nach Freud mit dem Namen Kopernikus verbunden. Im Wortlaut heißt es:

*„Nach dieser Einleitung möchte ich ausführen, daß der allgemeine Narzissmus, die Eigenliebe der Menschheit, bis jetzt drei schwere Kränkungen von Seiten der wissenschaftlichen Forschung erfahren hat.*

*a) Der Mensch glaubte zuerst in den Anfängen seiner Forschung, daß sich sein Wohnsitz, die Erde, ruhend im Mittelpunkt des Weltalls befinde, wäh-*

*rend Sonne, Mond und Planeten sich in kreisförmigen Bahnen um die Erde bewegen. Er folgte dabei in naiver Weise dem Eindruck seiner Sinneswahrnehmungen, denn eine Bewegung der Erde verspürt er nicht, und wo immer er frei um sich blicken kann, findet er sich im Mittelpunkt eines Kreises, der die äußere Welt umschließt. Die zentrale Stellung der Erde war ihm aber eine Gewähr für ihre herrschende Rolle im Weltall und schien in guter Übereinstimmung mit seiner Neigung, sich als den Herrn dieser Welt zu fühlen. Die Zerstörung dieser narzisstischen Illusion knüpft sich für uns an den Namen und das Werk des Nik. Kopernikus im sechzehnten Jahrhundert. Lange vor ihm hatten die Pythagoreer an der bevorzugten Stellung der Erde gezweifelt, und Aristarch von Samos hatte im dritten vorchristlichen Jahrhundert ausgesprochen, daß die Erde viel kleiner sei als die Sonne und sich um diesen Himmelskörper bewege. Auch die große Entdeckung des Kopernikus war also schon vor ihm gemacht worden. Als sie aber allgemeine Anerkennung fand, hatte die menschliche Eigenliebe ihre erste, die kosmologische, Kränkung erfahren.“*

Die von Freud postulierte „Kränkung“ intellektuell zu verstehen, ist das eine. Ein ganz anderes ist es, sie innerlich nachzuvollziehen und auf diese Weise die unbewussten Tiefen der Psyche zu verändern. Die „Kränkung der Eigenliebe“ des Menschen wird so eine „Katharsis der Eigenliebe“. Eine Selbstverordnung, die sich durch ein erheblich größeres Maß an Bescheidenheit darüber auszeichnen könnte, wie der Mensch seine Rolle auf unserem Planeten Erde sieht. Dass dies ein Gebot der Stunde ist, muss wohl nicht besonders betont werden.

Um den emotionalen Gehalt der „kosmologischen Katharsis“ erfahrbarer zu machen, werfen wir zwei kosmologische Schlaglichter: Ein erstes vergegenwärtigt uns die Harmonie des mittelalterlich-geozentrischen Weltbildes und ein zweites im Kontrast hierzu unser gegenwärtiges Verhältnis zum Universum.

## **1574: „Loblied auf die himmlischen Wissenschaften“ des Tycho Brahe**

Tycho Brahe zählte als fast 30-jähriger zu den astronomischen Berühmtheiten seiner Zeit. Mit 13 Jahren packte ihn mit der Beobachtung einer Sonnenfinsternis die Begeisterung für die Himmelsbeobachtung. Seine universitäre Ausbildung erfuhr er in Leipzig, Wittenberg und Augsburg. Obwohl sein Ziehvater ihm ein Jurastudium abverlangte, galt seine Leidenschaft der Astronomie. Daher schrieb er

sich 1566 für ein Studium der Mathematik und Astronomie in der Rostocker Universität ein. Zu seinen Lehrern gehörte der Mediziner und Astronom Heinrich Brucaeus. Unter seiner Leitung verdiente sich Brahe erste Achtungserfolge durch die Vorhersage einer Mondfinsternis und durch das Erstellen von Horoskopen. Die Verknüpfung von Medizin und Astrologie war damals üblich, um die besten Zeiten für eine medizinische Behandlung zu ermitteln.<sup>174</sup> In Rostock wurde Brahe mit den Lehren des Kopernikus bekannt, die er wegen ihrer mathematischen Leistungen sehr schätzte, auch wenn er dem Kern, dem Heliozentrismus, skeptisch gegenüberstand.<sup>175</sup>

1571 kehrte Brahe nach Dänemark zurück, wo er im folgenden Jahr den „neuen Stern“ im Sternbild Kassiopeia sichtete, wie wir schon besprochen haben. Seine Veröffentlichung hierzu machte ihn weithin bekannt. So kam es, dass der dänische König Frederik II. Brahe ersuchte, Vorlesungen zur Astronomie an der Kopenhagener Universität zu halten. Seine Antrittsvorlesung ist als „Loblied auf die himmlischen Wissenschaften“ noch heute überliefert.<sup>176</sup> In Brahes Gedankengängen kann man die Sichtweise des Geozentrikers erleben. Es wird deutlich, warum sich für den Renaissance-Astronomen die Astronomie noch nicht von der Astrologie emanzipiert hat und das Anfertigen von Horoskopen ohne Bruch zum Handwerk eines Astronomen dieser Zeit dazugehören konnte, auch wenn die Kirche das astrologische Handwerk ablehnte.<sup>177</sup> Für die geozentrische Sichtweise waren der „Mikrokosmos Mensch“ und der Kosmos der Welt eng miteinander verknüpft und aufeinander bezogen.

*„Nicht nur von einigen von euch, sondern auch von unserem allergnädigsten König bin ich gebeten worden, einige öffentliche Vorträge über die mathematischen Wissenschaften zu halten. [...] Mich beseelt von Jugend an eine solche Neigung zu diesen Wissenschaften, dass ich nicht nur auf die Erlangung derselben viel Zeit und Arbeit verwandte, sondern auch andere zu gleichem Tun eifrig ermunterte und ihre Versuche nach Kräften unterstützte. [...] Aus diesen beiden, der Geometrie und Algebra, entstammt jene den Niederungen dieser Erde weit entrückte Wissenschaft, die Astronomie genannt ist. Sie ist nicht damit zufrieden, in den engen Grenzen der Erde, der Meere und übrigen Elemente eingeschlossen zu werden, sie schreitet hin über den hohen und weiten Äther, über die leuchtende Sonne, den weißen, formenreichen Mond und über alle anderen, die wandelnden wie die festen Gestirne; alle ihre Bewegungen, Harmonien, Bahnen, Verhältnisse und Größen erforscht sie in erhabener Betrachtung.“*

Was brauche ich viel von dem Nutzen der Astronomie zu sagen? Kann doch ohne die Zeiträume der Jahre, Monate und Tage und ihrer genauen Abgrenzung, welche von der Astronomie ausgeht, keine Gemeinde und kein Staat bestehen, um nichts anzuführen von anderem offensichtlichem Nutzen, den die Kenntnis der Astronomie im öffentlichen Leben bringt. Wenn jedoch diese Kunst weiterhin keinen Vorteil böte, so ist sie doch an und für sich so beschaffen, dass ihre Kenntnis mit Recht von edlen Geistern verlangt werden muss. Denn sie erfüllt des Menschen Geist mit einem unerhörten und wohl-tuenden Entzücken, schärft ihn, lenkt die Gedanken, aus denen sein Leben besteht, von diesen irdischen, lächerlichen und nichtigen Dingen zu den himmlischen, ernsten und bleibenden Betrachtungen und erfüllt und erquickt den Menschen mit wahrer Lust, die einigermaßen der Seligkeit der Himmelsbewohner gleicht, und erhebt ihn über sein sterbliches Los.

Wozu hätte der weise und fürsorgliche Schöpfer des Weltalls so bewundernswerte, ewige Gesetze der himmlischen Bewegung in solcher Mannigfaltigkeit und doch so übereinstimmende Harmonie geschaffen, wenn er sie nicht erforscht haben wollte durch die Menschen, um derentwillen er größtenteils die sichtbare Welt gemacht? Vielmehr wollte er, dass sie in unermüdlicher Arbeit genau durchforscht werden, damit die Größe seiner Majestät und Weisheit auch hieraus von den Menschen erkannt und gepriesen werde. Nach der wahren und zutreffenden Erkenntnis Gottes, die uns durch das von ihm gegebene Wort offenbart wurde, entspricht deshalb nicht der menschlichen Natur und dem Zweck, für den der Mensch auf die Erde, den Mittelpunkt der Welt, gestellt wurde, mehr, als dass er von da wie vom Mittelpunkt aus das durchschaue, was in der ganzen Werkstätte der Welt, sondern aber in jener himmlischen Strahlenwelt so viele ewiger Sterne leuchtet, und dass er in dieser köstlichen und sinnigen Betrachtung sein Leben angenehm verbringe, Gott den Schöpfer in seinen weisesten und mannigfaltigsten Werken erkenne und ihm die geschuldete Verehrung und Lobpreisung darbringe.

Zu den ersten und vorzüglichsten Vorteilen der Astronomie muss das folgende gerechnet werden [...]: dass es möglich ist, aus den durch die Astronomie erkannten Bewegungen der Gestirne [...] über die menschlichen Schicksale, insofern diese von den Gestirnen abhängen, ein Urteil zu fällen und vieles vorauszusehen. Denn es ist nicht zweifelhaft, dass diese untere Welt von der oberen beherrscht und befruchtet wird.

Die Kräfte und den Einfluss der Gestirne leugnen, heißt die göttliche Weisheit und Klugheit mindern und der offensichtlichen Erfahrung widersprechen. Gäbe es einen schiefen und absurden Gedanken von Gott als den, dass er dieses unermessliche und bewundernswerte Schauspiel so vieler glänzender Sterne vergebens und zu keinem Nutzen geschaffen habe, während doch kein Mensch auch nur das geringste Werk ohne bestimmten Zweck verrichtet? Wenn wir nämlich die Dauer der Jahre, Monate und Tage am Himmel wie an einer ewigen, unermüdlichen Uhr messen, so erklärt dies Nutzen und Zweck der himmlischen Maschine nicht befriedigend. Was sie nämlich zum Messen der Zeit tut, hängt nur vom Umlauf der Lichter

*und der Umdrehung der Fixsternsphäre ab. Wozu kreisen dann die fünf anderen Planeten in eigenen und voneinander verschiedenen formenreichen Bahnen? [...] Sollten alle diese Sterne mit ihren mannigfaltigen und verblüffenden Bewegungen umsonst gegründet sein? Wozu ist außerdem die ganze sogenannte achte Sphäre erfüllt mit so unzähligen leuchtenden Sternen in ihrer abwechslungsreichen Anordnung und ihren so langsamen Bewegungen? Sollten auch sie alle [...] untätig und nutzlos sein? Das würde nämlich notwendig daraus folgen, wenn der Himmel und alle die leuchtenden und ewigen Körper, die er enthält, nur der Unterscheidung der Zeit dienen sollten.*

*Hat Gott also etwas ins Blaue hinein geschaffen? Hat Gott keinen Zweck und Nutzen für ein so großes Kunstwerk und eine so gewaltige Maschine vorausgesehen? Wie absurd ist es, dies zu denken, geschweige denn zu glauben, wird aus der vollkommensten Weisheit selbst bewiesen und kann aus jeden allerkleinsten Geschöpfen dieser niedrigen Natur deutlich erkannt werden. [...]*

*Wenn also die himmlischen Körper von Gott aufgebaut sind, damit sie Zeichen seien, dann bedeuten sie notwendig etwas, und das für die Menschen, um deren Willen sie großenteils geschaffen sind.“*

## Seit 1970: Die Voyager-Mission

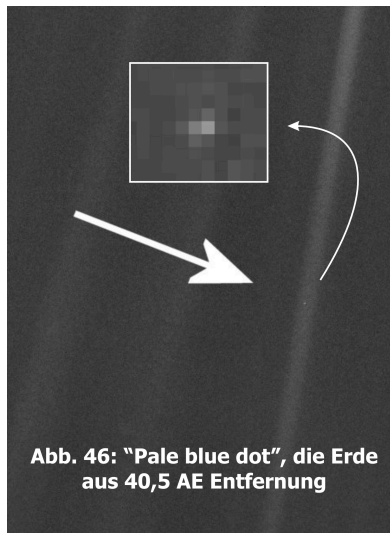
Am 5. September 1977 startete die Raumsonde Voyager 1 von Cape Canaveral, 16 Tage nach ihrer baugleichen Schwestersonde Voyager 2, auf eine Reise zu den äußeren Planeten unseres Sonnensystems. Beide nutzten eine günstige Planetenkonstellation, die sich nur alle 176 Jahre wiederholt, um die Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun im Vorbeiflug zu untersuchen. Es sollte einer der aufsehenerregendsten und erfolgreichsten Weltraummissionen werden.

Beide Sonden sendeten spektakuläre Bilder zur Erde, die Grundlage der kollektiven Vorstellung von den Planetenwelten mit ihren Monden geworden sind. Neben der Kamera haben die Sonden zehn weitere wissenschaftliche Instrumente an Bord, deren Messergebnisse sie mittels eines Radiosenders Richtung Erde sendeten und immer noch senden. Voyager 1 erreichte am 5. März 1979 den Jupiter, der etwa fünf Mal weiter (5 astronomische Einheiten, 5 AE, siehe oben) von der Sonne entfernt ist als wir. Am 11. November 1980 passierte Voyager 1 den Saturn mit einem Sonnenabstand von etwa 10 AE. Während Voyager 2 nach dem Ringplaneten noch an Uranus und Neptun vorbeiflog, ließ



sich Voyager 1 durch den Saturn aus der Ekliptik-Ebene herauskatalpultieren. Auf zwei Wegen sollten die Voyagersonden den äußersten Einflussbereich der Sonne ausloten.

Bevor die eigentliche „Voyager Interstellar Mission“ begann, wurde im Februar 1990 Voyager 1 auf Anregung des bekannten Astronomen Carl Sagan zurückgeschwenkt, um aus einer Entfernung von 40,5 AE eine Fotoserie als „Familienporträt“ der Planeten unseres Sonnensystems zu erstellen. Diese „Familienfoto“-Collage der Voyager 1 war wissenschaftlich nicht von Belang, für unsere Vorstellung von der Stellung unserer Erde im Universum umso mehr. Eines der Fotos zeigt die Erde, aufgrund der großen Entfernung von über 6000 Millionen km bzw. 40,5 AE, sehr nahe bei der Sonne. Es zeigt die Erde aus der größten Entfernung, aus der jemals ein Foto von ihr geschossen wurde. Die Kamera war für „Gegenlichtaufnahmen“ wie diese nicht gemacht, daher streut das Sonnenlicht durch die Kameraoptik als Streifen durch das Bild. Die Erde selbst ist auf einen winzigen, leicht blauen Punkt geschrumpft, auf Pixelgröße. Daher ist das Foto als „Pale Blue Dot“, als „fahlblauer Punkt“, bekannt geworden (Abbildung 46<sup>178</sup>).



Ein winziger Punkt neben einer schon aus dieser Entfernung kleinen Sonne, inmitten der schwarzen Leere des Weltalls. Ein Punkt, auf dem sich alles abspielt, was unser Leben ausmacht.

Dabei war Voyager zum Zeitpunkt der Fotografie, selbst wenn wir nur die kosmologisch nähere Umgebung der Sonne ins Auge fassen, eigentlich noch nahe bei der Erde: So finden wir den der Erde nächsten Stern, Proxima Centauri, in 270.000 Astronomischen Einheiten Entfernung. Voyager würde hierhin 72.500 Jahre fliegen, obwohl sie in jeder Minute über 1000 km zurücklegt. Zum Vergleich: vor 72.000 Jahren lebten die Menschen noch als Jäger und Sammler. Die Liste der sonnennächsten Sterne, die bis zu 16 Lichtjahre entfernt sind, umfasst etwas über 50 Sterne, von denen einige ein Doppel- oder Dreifachsternsystem bilden. Um diesen Raum zu durchfliegen, würde Voyager fast 300.000 Jahre benötigen.

Und Voyager reist weiter. Im Februar 1998 überholte Voyager 1 die fünf Jahre früher gestartete Raumsonde Pioneer 10, die nach ihrem letzten Funkkontakt im Januar 2003 in Richtung Aldebaran im Sternbild Stier unterwegs ist, den sie in ca. 2 Millionen Jahren erreichen wird. Voyager 1 ist seitdem das am weitesten von der Erde entfernte menschliche Produkt mit der schnellsten Entfernungsgeschwindigkeit. Diese beträgt ca. 63.000 km/h: Das heißt, in der Zeit, in der sie diese Zeilen über Voyager gelesen haben, hat sie sich erneut über 2000 km weiter von der Erde entfernt. Im August 2012 erreichte Voyager endgültig den interstellaren Raum in einem Sonnenabstand von 121 AE. Doch noch in 10.000 bis 50.000 AE in den Raum hinaus bindet die Gravitation der Sonne Milliarden von Kometenkernen in der sogenannten Oortschen Wolke. Erst jenseits dieses Bereiches wird Voyager den Einflussbereich unseres Sonnensystems verlassen. Sollte der Kontakt zu Voyager 1 aufrechterhalten werden können, so werden wir noch bis ca. 2025 mit ihr in Kontakt bleiben. Dann wird sie allein ihren Weg ins All fortsetzen mit 1000 km pro Minute, dem 3,7-fachen Abstand der Erde von der Sonne jedes Jahr. Sie wird alle rund 17.100 Jahre eine Entfernung zurücklegen, für die das Licht ein Jahr benötigt. Könnten wir sie orten, fänden wir sie im Bereich des Sternbildes Schlangenträger, zwischen dem Sternbild Skorpion und Waage, während Voyager 2 in 300.000 Jahren das Umfeld des Sternes Sirius im großen Hund passieren wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass

sie im All mit einem größeren Himmelskörper kollidiert, liegt nahezu bei null. In etwa 1500 Millionen Jahren wird sie den Halo unserer Milchstraße verlassen und die Tiefen des Universums durchmessen, bis sie, wer weiß, in eine weitere Galaxie eindringt. Sie wird ihre Reise auch dann weiterführen, wenn die Erde aufgehört hat zu existieren.

Und sie trägt in Gold verewigte Botschaften an „unbekannt“ mit sich. „*The Sounds of Earth*“: Grußworte in vielen Sprachen, Musik, die die Menschen der 70er bewegte, und Bilder aus dem Leben der Menschen auf unserem Heimatplaneten. Eingraviert in eine „Schallplatte“ mit Bedienungsanleitung für die Entschlüsselung (Abbildung 47).



Wahrscheinlich wird sie nie gehört werden, aber sie wird existieren, selbst wenn alle Spuren unserer Kultur auf dieser Erde vom Winde verweht sein werden.

„Der Weltraum – unendliche Weiten“: Es sind schon viele Versuche unternommen worden, die eigentlich nicht vorstellbaren Größenverhältnisse im Universum vorstellbar zu machen. Auch wir wollen dies nicht unversucht lassen. In unserer Vorstellung möge die Erde auf jenen

Pale Blue Dot schrumpfen, auf einen gerade noch wahrnehmbaren Punkt ( $<0,1$  mm). Auf Pixelgröße. Die Entfernung Erde-Sonne, beträgt in diesem Modell 1 Meter; die Sonne selbst hätte einen Durchmesser von 9 mm. Das Foto des Pale Blue Dot wurde in diesem Modell im Abstand von 40 Metern aufgenommen, Voyager 1 befindet sich 2014 in ca. 128 Metern Entfernung von der Sonne. Proxima Centauri müssten wir uns 268 km (!) Luftlinie von der Sonne entfernt vorstellen. Die etwa 50 sonnennächsten Sterne – Größenordnung 1 Zentimeter – befänden sich in einer Kugel mit Radius von über 1000 km! Die etwa 6000 mit bloßem Auge sichtbaren Sterne können bis zu 500 Lichtjahre von

uns entfernt sein, selten mehr. Im Modell würden sie sich in einer Raumkugel verteilen, die den 2,5-fachen Erdradius hätte. In diesem Bereich sehen wir allerdings sehr viele Sterne nicht mit bloßem Auge, da sie zu leuchtschwach sind. Im Hintergrund leuchtet unsere Milchstraße. Ihr Zentrum ist 26.000 Lichtjahre von uns entfernt, im Modell etwa vier Mal so weit wie der Mond von der Erde.

Das Modell der gesamten Milchstraße – immer noch mit einem Erd-Sonnenabstand von einem Meter – würde eine Scheibe umfassen, die acht Mal den Durchmesser der Mondumlaufbahn einnehmen würde. Die 2,5 Millionen Lichtjahre entfernte Andromedagalaxie wäre im Modell etwas weiter entfernt als die Sonne von uns. Für den imaginationsstarken Leser sei angemerkt, dass die kosmische Hintergrundstrahlung im Pixelmodell als etwa ein Zehntel Lichtjahr von uns entfernt vorzustellen ist.

Das Universum ist also vor allem eins: Unglaublich leer. Wegen seiner enormen Größe allerdings finden sich in dieser Leere als Inseln eingebettet unvorstellbar viele Sterne, allein in unserer Milchstraße schwanken die Schätzungen zwischen 100 und 300 Millionen! Man schätzt die Zahl der Milchstraßensysteme etwa als ebenso groß ein. So können wir sagen: Das Universum ist einerseits ungeheuer groß und leer, andererseits findet sich eine riesige, die menschliche Vorstellungskraft nicht minder übersteigende Anzahl von Sterneneinseln.

Diesen Raum durchmessen die Voyagersonden. Seit sie die Zeilen über ihre Mission lesen, sind sie – je nach Lesegeschwindigkeit – annähernd um einen Erdradius weitergezogen. In sechs Stunden wird sie sich um den Abstand zum Mond entfernt haben, morgen um das Vierfache. Unaufhaltsam.

## Warum „narzisstische Kränkung“?

Wenn Sigmund Freud von einer kosmologischen Kränkung spricht, meint er den durch das Werk Nikolaus Kopernikus' angestoßenen Niedergang des geozentrischen Weltbildes und dessen Ablösung durch die moderne Kosmologie. Hierin eine Kränkung zu erkennen, bedeutet, dass es sich um Einsichten handelt, die über die astronomische Forschung hinaus von Bedeutung sind. Neue Einsichten können erst dann

„kränken“, wenn sie umfassend die kulturelle Identifikation des Menschen verändern. Im 21. Jahrhundert werden Geozentriker rar sein angesichts der Präsenz astronomischer Themen in den Medien. Von den faszinierenden „Weiten des Universums“ hören wir oft. Ist uns aber bewusst, dass die kosmologischen Vorstellungen Konsequenzen haben für die Rolle, die wir uns Menschen in der Welt zusprechen? Im Kollektiv<sup>179</sup> wohl kaum, denn es hätte uns längst von dem Thron gestoßen, auf dem wir immer noch zu sitzen meinen. Die „kosmologische Kränkung“, von der Freud spricht, müssen wir uns als kulturellen Evolutions-Prozess vorstellen, der für die abendländische Geschichte von Nikolaus Kopernikus angestoßen wurde und heute keineswegs abgeschlossen ist. Es ist der lange Schatten des Kopernikus.

Als „narzisstische Illusion“ entpuppt sich das geozentrische Weltbild erst in der Rückschau. Der Geozentriker hatte guten Grund zur Annahme, sich *„als den Herrn dieser Welt zu fühlen“*<sup>180</sup>. Die „narzisstische Kränkung“ besteht gerade darin, dass das Gefühl der prinzipiellen Überlegenheit und Auszeichnung vor der übrigen Welt, das der Mensch im abendländischen Kulturstrom zweifelsohne und oft bis heute hat, eine wichtige Grundlage verliert.<sup>181</sup> Dies kränkt sein Selbstwertgefühl. Doch einer Krankheit folgt Genesung, und die Frage ist, ob es zu einer Katharsis, einer Läuterung, kommen kann und wie sich diese anfühlt.

Doch zunächst sei eine genauere „Diagnose“ der kosmologischen Kränkung versucht. Denn sie umfasst wesentlich mehr, als dass die Planeten nicht mehr unser Haupt umkreisen.

**„Wir sind nicht der Mittelpunkt des Kosmos und damit sehr wahrscheinlich weder einzigartig noch Fokus der Seinsgeschichte“:** Doch anfangs ist es genau diese Dezentralisierung des menschlichen Lebensraumes, die unser Selbstbild erschüttert. Die Mittelstellung der Erde im damaligen Universum zeichnete die Welt, in der wir leben, als besonderen Ort aus, der prinzipiell keinen weiteren vergleichbaren Ort zuließ. Denn der übrige Kosmos war in ewiger, idealer, gleichförmiger und damit göttlicher Bewegung begriffen und scharf von der ruhenden, vergänglichen sublunaren Welt getrennt. Gewiss, die Erde durch die heliozentrische Weltsicht in den Status eines Planeten zu erheben und ihr damit ebenfalls göttliche Qualitäten zuzusprechen, kann auch

als Aufwertung verstanden werden. Dies wird gerne gegen Freuds Topos von der kosmologischen Kränkung ins Feld geführt. War doch für den christlichen Kosmos die Erde der Bereich der „gefallenen Schöpfung“, der „Sünde“, ja die Oberfläche der „Hölle“ – man denke an Dantes „göttliche Komödie“. Doch den Menschen als sündhaft und gefallen anzusehen, ist ein Spezifikum christlichen Denkens, das den antiken Menschenbildern fremd war und mit der Renaissance auch in Europa relativiert wurde. Und selbst aus christlicher Sicht ist der Einwand gegen Freud unberechtigt. Denn die „frohe Botschaft“ des Christentums besteht gerade in dem Glauben, dass der Zustand der Sündhaftigkeit zumindest nicht für alle Menschen das letzte Wort ist. Denn der „Heilswille Gottes“ hat durch das „Mysterium von Golgatha“ die Erlösung der gefallenen Welt des Menschen möglich gemacht, um die „Schöpfung“ durch die Zuwendung der Menschen zu Gott zu erlösen. Auch wenn sich der mittelalterliche Christ auf der Erde nicht auf dem von den himmlischen Heerscharen umkreisten Thron empfand, so konnte er sich doch als „Dreh- und Angelpunkt“ des kosmischen Heilsgeschehens Gottes verstehen. Das tägliche Erleben himmlischer Bewegungen führte ihm dies eindrucksvoll vor Augen. Das kosmische Geschehen zeugt von einer Geschichte, in der es um das Heil des Menschen geht: um uns!

Doch wenn unsere Erde nur ein Planet ist unter anderen? Unter vielen? Vielleicht unter sehr vielen? Belebten? Von anderen Kulturen bevölkerten? Gibt es extraterrestrische Intelligenzen? Uns vielleicht überlegene? Mit einer gänzlich anderen Geschichte? Sind diese extraterrestrischen Intelligenzen ebenfalls gefallene Geschöpfe? Oder nicht? Geht es „Gott“ auch um diese „Spezies sapiens“? Vielleicht mehr noch? Welche Stellung haben wir Menschen für ihn? Müssen wir uns seine Gunst teilen? Müssen wir uns einreihen? Unterordnen? Geht es in diesem neuen Universum wirklich nur um uns? – Wohl kaum!

**„Wir gleichen einem Staubkorn im All“:** Die Schwierigkeiten, die wir haben, uns die Größenverhältnisse im Universum vorzustellen, sagen etwas ganz Entscheidendes aus: Das Universum ist menschlichen Maßstäben kolossal fremd. Weder die menschliche Sinneserfahrung noch das am Lebensalltag geschulte Vorstellungsvermögen können sie angemessen erfassen. Vor dem Einsatz technischer Beobachtungshil-

fen, vom einfachen Teleskop zum Hightech-Weltraumdetektor, war es nicht möglich, die Dimensionen des Universums zu erforschen. Kopernikus ahnte etwas von der Größe der Fixsternsphäre, für ihn ergab sich dies aus seinem Festhalten am heliozentrischen Weltbild trotz der fehlenden Fixsternparallaxe. Für Tycho Brahe war gerade die fehlende Wahrnehmbarkeit der Sternenparallaxe der Grund, sein Kompromissmodell auszuarbeiten. Für den mittelalterlichen Christen, für den jenseits des Mondes alles einer idealen himmlischen, also göttlichen Physik gehorchte, war der Kosmos im Vergleich zur lebensweltlichen Vergänglichkeit der Erde auch fremd, aber Ausdruck seines göttlich-transzendenten Lebensziels. Lebenssinn war für ihn, jenseits des Todes, nach dem jüngsten Tag, dieser göttlichen Sphäre teilhaftig zu werden – ein Ziel, das sich für die Heiligen schon erfüllt hat. Damit war der vom mittelalterlichen Menschen wahrgenommene Kosmos zwar auch groß, aber diese Größe hatte mit menschlichen Maßstäben zu tun. Mit unserer Geschichte, unserem Sehnen, unserem Hoffen, mit, wenn alles gut lief, unserer Zukunft. Eine Ahnung der Glückseligkeit, die Gottes Barmherzigkeit für uns vorgesehen hat. Denn ihm geht es nur um eines: um uns.

Mit den Dimensionen, mit denen sich das Universum zu Beginn des 21. Jahrhunderts präsentiert, ist dies radikal anders. Auch unser Versuch, die Größen im Pixel-Erde-Modell zu realisieren, ist kläglich und zum Scheitern verurteilt. Schon die Entfernung zum Mond stellen wir uns in aller Regel zu klein vor, dies gilt erst recht für die Entfernung zur Sonne und zu den Nachbarsternen. Die Dimensionen in der modernen Kosmologie übersteigen das menschliche Maß und sind dem Menschen fremd. Unsere Vorstellungswelt umfasst einen Mesokosmos zwischen den astronomischen Größen und den Dimensionen quantenphysikalischer Prozesse. Dementsprechend ist es auch nicht die unmittelbare Sinneserfahrung, sondern eine Empirie, die sich auf hochsensible technische Messinstrumente stützt, die uns diesen Bereich zugänglich macht. Auch die menschengebundene Vernunft benötigt hierzu Hilfe: von Computern, die eine Rechenleistung ermöglichen, die auch eine ganze Menschheit voller mathematischer Freaks zu Lebzeiten niemals vollbringen könnte. Detektoren und Computer schieben sich so zwischen den Menschen und die kosmische Realität und machen das dem Menschen radikal Fremde zugänglich. Sollte es

einem Schöpfer wirklich um uns gehen – warum sollte er mehrere Sonnensysteme erschaffen, ja deren viele – unvorstellbar viele? Warum mehr als eine Galaxie, ja deren viele – unvorstellbar viele? Warum die unermessliche Leere des Raums? Warum bedeutet fast das gesamte Weltall, von dem wir Kenntnis haben, nicht mehr für uns als die Tatsache, dass wir in ihm leben? Selbst das Licht unserer Nachbargalaxie – die schnellste Wirkung, die uns von ihr erreichen kann – wurde vor 2.500.000 Jahren, zu Beginn der Eiszeiten, abgestrahlt. Alles, was sich hier in menschengeschichtlicher Zeit abspielt, wird uns als nicht weiter entzifferbare Photonen in ebendieser Zeit erreichen. Und Andromeda ist nur die kosmische Nachbargalaxie. Dieses Universum soll für den Menschen erschaffen sein? Von einem Schöpfer, dem es vornehmlich um uns geht? – Wohl kaum!

**„Das historische Zeitmaß des Menschen ist ein unbedeutendes Randphänomen der kosmologischen Geschichte des Universums“:** Wir haben mit unserem Blick in die „Schedelsche Weltchronik“ gesehen, wie im christlich-geozentrischen Weltbild das Zeitmaß der kosmischen und der (biblisch-)menschlichen Geschichte zusammenfiel. Dies gilt bis heute für die „Junge-Erde-Kreationisten“. Noch 1650 veröffentlichte der anglikanische Theologe James Ussher das aus der biblischen Chronologie abgeleitete Geburtsdatum der Welt: 23. Oktober 4004 vor Christi Geburt. Selbst Isaak Newton dachte ähnlich. Aufgeschlossene Theologen legen ihre Weltsicht anders aus. Man dürfe die Bibel „nicht wörtlich nehmen“. Für Gott ist ein Tag wie tausend Jahre. Das Sieben-Tage-Werk – eine Metapher. Doch 7000 Jahre, ja selbst 70.000 Jahre und mehr fallen durchaus noch in ein Zeitmaß, das den Bezug auf die menschliche Historie nicht gänzlich verliert. Was für den Blick in die Vergangenheit gilt, gilt auch für den Blick in die Zukunft: Das Christentum ist eine apokalyptische, eine Endzeitreligion<sup>182</sup>. Wie sollte es auch anders sein, denn auf das Heil im Jenseits wollen wir nicht Milliarden und Abermilliarden Jahre waren. Es sollte in historisch fassbaren Zeiträumen für uns beginnen. Denn um dieses unseres Heils willen ist die Schöpfung kreiert. Wie sollten wir auf dieses Heil unermesslich lange warten müssen? Damit dürfen auch die Apokalypse, das Ende und die Transformation des Kosmos nicht allzu lange auf sich warten lassen. Denn schließlich geht es um uns!



Diese Illusion wurde uns mit der Entdeckung der Tiefenzeit genommen.<sup>183</sup> Hierauf macht der Paläontologe und Geologe Stephen Gould mit folgendem Zitat aufmerksam: „Was könnte tröstlicher und der Überlegenheit des Menschen angemessener sein als die herkömmliche Konzeption von einer jungen Erde, die schon wenige Tage nach ihrer Erschaffung dem menschlichen Willen Untertan ist? Und wie bedrohlich dagegen die Vorstellung von einer schier unbegreiflichen Unermesslichkeit, in der sich das menschliche Erdendasein letzten Endes auf eine Millimikrosekunde beschränkt!“<sup>184</sup> Abstrakt die Tiefenzeit zu verstehen, ist nicht schwer. Ihre Bedeutung zu verinnerlichen, stößt auf die gleichen Schwierigkeiten wie bei den kosmologischen Raumvorstellungen. Gesetzt den Fall, wir würden die 4500 Millionen Jahre der Biografie unserer Erde auf einen Tag herunterrechnen und in einem Film wiederholt abspielen lassen. Wir wollten den historischen Abschnitt seit der Sesshaftwerdung der Menschen (also die letzten 10.000 Jahre) erfassen und verfolgten daher den 24-stündigen Film mit höchster Aufmerksamkeit. Ein Niesreiz im entscheidenden Moment (ca. 0,2 Sekunden) und wir hätten unsere Historie verpasst! Doch das Universum ist drei Mal älter! Und der Blick in die Zukunft ist nicht weniger schwindelerregend: Unser Sonnensystem hat erst die Hälfte seiner kosmischen Zeit erlebt. Das Universum wird nach allem, was wir wissen, noch sehr viel länger existieren als die Zeit, die hinter ihm liegt. Dieses Meer der Zeit wurde nur geschaffen, um den Tropfen unserer menschlichen Geschichte zu ermöglichen? Äonen wartete alles auf uns? Auf die, auf die alles ankommt? – Wohl kaum!

**„Das Universum ist nicht auf den Menschen hin sinnstiftend geordnet, sondern der menschlichen Geschichte gegenüber teilnahmslos“:**

Nomen est omen. Nannte man das Weltall seit alters her Kosmos, so sprechen wir heute meist vom Universum. Das Wort Kosmos stammt aus dem Altgriechischem und bedeutet so viel wie „Weltordnung, Schmuck, Ehre“. Die „himmlischen Sphären“ ordneten den Menschen nach oben hin in die „heilige Ordnung“ ein, die in Gott gipfelt. Diese himmlische Ordnung hatte ihren Bezug zum Menschen, um dessentwillen alles geschaffen ist. In tiefster Überzeugung konnte noch Tycho Brahe sagen: *„Die Kräfte und den Einfluss der Gestirne leugnen, heißt die göttliche Weisheit und Klugheit mindern und der offensichtlichen Erfahrung widersprechen.“*<sup>85</sup> So stand in der alchemistischen Tradition der Makrokosmos der Sternen- und Planetensphären mit dem Mikrokosmos des menschlichen Körpers in Beziehung. Eine Beziehung, die die Astrologie für die Heilkunst zu nutzen versuchte. Noch Kepler suchte leidenschaftlich die im Kosmos eingeschriebene göttliche Ordnung. Er meinte sie gerade in den heliozentrischen Dimensionen der Planetenbahnen zu finden. Dass er mit seinen Ellipsenbahnen die Vollkommenheit der himmlischen Sphären beeinträchtigte, machte ihn zwar berühmt, war aber nicht sein Anliegen. Denn die kosmisch-göttliche Ordnung ist eingeschrieben in das Buch der Natur. Die menschliche Vernunft ist befähigt, dieses Buch zu lesen. Der Kosmos wurde so zur spirituellen Heimat des Menschen. Durch ihn erhebt sich der Mensch über seinen Alltag hinaus und läutert seine Seele und bringt sie Gott näher. Um unseres Heils und Gottes Ehre willen ist der Kosmos so herrlich geordnet: wegen uns!

Der Ausdruck Universum stammt aus dem Lateinischen und bedeutet nüchtern „das Gesamte“. Wir haben gesehen, was dieser Kosmos alles umfasst: von unzähligen weiteren Sonnensystemen, Sternenhaufen, Staubwolken und Galaxien. Die Einstein'sche Relativitätstheorie macht deutlich, dass keine Wirkung sich im All schneller als mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet. Sollte also der Stern Sirius einen Einfluss auf uns haben, würde dieser erst in acht Jahren, der Einfluss Spicas (in der Jungfrau) erst nach 262 Jahren wirksam werden. Und das sind nahe Objekte unseres Universums. Die Einflüsse von Sonne und Mond auf unser Leben sind unbestritten, der von katastrophalen Meteoriteneinschlägen ebenfalls. Auch Jupiter ist segensreich für uns,

fängt er doch mit seiner Gravitation viele kosmische Geschosse ab, die sonst viel häufiger die Erde trafen. Kometen und Meteoriten sind nicht Zeichen Gottes, sondern der Gravitation folgende Gesteinsbrocken, die uns treffen könnten, und wir müssen mit den Folgen leben, die sie dann anrichten. Nicht göttliche Vorsehung schickt sie auf die Erde, um in unsere Geschichte einzuwirken, sondern sie sind Teil eines Naturgeschehens, dem menschliche Betroffenheit gleichgültig ist. Und Merkur, Venus oder Mars? Sie inspirieren bestenfalls die Fantasie der Poeten. Oder man denke an Alpha Centauri, unseren kosmischen Nachbarn, an die zufälligen Sternbildkonstellationen, die erschreckende Leere des Weltalls, die Kunde von gigantischen kosmischen Katastrophen, beispielsweise in Form einer Supernova, an Gammablitz, die Großteile der Erde sterilisieren könnten, oder Meteoriten, die die Erde torpedieren würden! Alles vom Schöpfer erdacht, um unserem Leben Sinn zu vermitteln? – Wohl kaum!

Die zentrale Stellung der Erde im geozentrischen Weltbild war dem Menschen Gewähr für seine herrschende Rolle im Weltganzen. Sie führte ihm täglich vor Augen, dass die Ordnung der Welt auf ihn hin organisiert ist, auf das einzig vernunftbegabte Wesen auf der Erde. Des Menschen Wohl und ewiges Heil war Sinn der Schöpfung und zentrales Anliegen der göttlichen Mächte. Alles drehte sich buchstäblich um den Menschen. Erst in der Rückschau entpuppt sich diese anthropozentrische Selbstwahrnehmung als narzisstisch. Der Mensch, der sich gerade noch auf dem Thron des Kosmos wähnte, ist nun auf sich selbst gestellt. Die anthropozentrische Selbstsicherheit ist ihm genommen. Darin besteht die narzisstische Kränkung, auf die Freud anspielt und die das nachgeozentrische Weltbild des Menschen auszeichnet – zumindest, wenn er die Befunde der Kosmologie und der modernen Naturwissenschaft ernst nimmt.

## Strategien, die anthropozentrische Weltsicht zu retten

Die Korrektur des anthropozentrischen Selbstverständnisses des Menschen ist keineswegs Allgemeingut der abendländischen Kulturtradition. Am hartnäckigsten hält sich die kosmologische Selbstüberschätzung des Menschen in der christlichen Religion. Wie sollte es auch an-

ders sein, steht doch im täglichen Fokus des Denkens und Verinnerlichens ein „heiliges“ Buch, das mit der weiterlaufenden Kulturgeschichte nicht umgeschrieben wird, sondern, wenn überhaupt, durch moderne Interpreten zeitgemäße „theologische Exegesen“ erfährt.

Als Verdeutlichung sei ein kurzer Blick in den „Katechismus der katholischen Kirche“ (KKK) geworfen in seiner Ausgabe von 2005<sup>186</sup>. Hier liest man, dass die Schöpfung *„von Anfang an Heilsgeschichte [ist], die in Christus gipfelt“*, denn das Ziel, auf das hin Gott *„Himmel und Erde erschuf“*, war seit Beginn die *„Herrlichkeit der Neuschöpfung in Christus“* (280). *„Für den Menschen, der nach Gottes Bild ist, ist sie [die Schöpfung] bestimmt“*, sie ist ein *„Geschenk an die Menschen“* (299). In der Schöpfung verwirklicht Gott seinen Plan durch die *„göttliche Vorsehung“* (302ff.). Auch wenn die göttliche Ordnung durch Naturgesetze bestimmt ist, so liegen diesen *„Zweitursachen“* als *„Erstursache“* Gottes freier Wille zugrunde (308). Damit kümmert sich Gott *„um alles, von den geringsten Kleinigkeiten bis zu den großen weltgeschichtlichen Ereignissen“* (303). So heißt es, wenn es um den „Menschen“ geht: *„Gott hat alles für den Menschen geschaffen, aber der Mensch selbst ist erschaffen worden, um Gott zu dienen, ihn zu lieben und ihm die ganze Schöpfung darzubringen. [...] [Der Mensch ist] in den Augen Gottes wertvoller als alle Geschöpfe. [...] Für ihn sind der Himmel und die Erde und das Meer und die gesamte Schöpfung da. Auf sein Heil legt Gott sosehr Wert, dass er sogar seinen eingeborenen Sohn für ihn nicht verschont hat.“*

Wie wird dieses Selbstbild den Erkenntnissen der Naturwissenschaften gegenüber gerechtfertigt? Im Katechismus heißt es nur lapidar: *„Die Frage nach den Ursprüngen der Welt und des Menschen ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Forschungen, die unsere Kenntnis über das Alter und die Ausmaße des Universums [...] unerhört bereichert haben. Diese Entdeckungen sollten uns anregen, erst recht die Größe des Schöpfers zu bewundern.“* (283) Dann heißt es weiter: *„Das große Interesse für diese Forschungen wird stark angespornt durch eine Frage anderer Ordnung, die über das eigentliche Feld der Naturwissenschaften hinausgeht. Es handelt sich nicht bloß um die Frage, wann und wie der Kosmos materiell entstanden [...] ist, sondern es geht um den Sinn dieses Werdens“* (284). Hier klingt die NOMA-Strategie<sup>187</sup> an: Die Naturwissenschaft tummelt sich im Feld der „Zweitursachen“, die christliche Offenbarung erzählt uns, was Gott als „Erstursache“ mit uns gewollt

hat. Dass man auch über die Grenzen der Naturwissenschaft hinaus redlich weiterphilosophieren kann, wird zugunsten „erglaubter Wahrheiten“ ausgeblendet. Das einfache Gemüt mag sich hiermit zufrieden geben. Wer es mit der Selbsterkenntnis ernst meint, nicht.

Aus heutiger Sicht hat das Universum einen Anfang und ist nicht ewig. Dies lässt sich mit der christlichen Vorstellung von einem Schöpfungsakt verbinden. Nicht umsonst gehörte der Theologe und katholische Priester Georges Lemaître zu den ersten Verfechtern einer Weltanfangshypothese. Wenn wir davon absehen, dass das letzte naturwissenschaftliche Wort über den tatsächlichen Beginn des Universums im Urknall noch nicht gesprochen ist und auch nie gesprochen werden wird, was für alle Theorien der Naturwissenschaft gilt, so erzwingt die Urknall-Theorie weder eine Schöpfervorstellung noch charakterisiert sie das Wesen dieses möglichen Schöpfers. Es lassen sich sehr wohl pantheistische, deistische oder polytheistische Schöpfervorstellungen hiermit verbinden, aber auch die Vorstellung von unpersönlichen „göttlichen Kräften“, genauso, wie auf jegliche Gottesvorstellung im Zusammenhang mit dem Urknall verzichtet werden kann. Auch liefert die Gottesvorstellung keine Antwort auf die Frage, warum „überhaupt etwas sei und nicht nichts“. Eine Frage, die gerne gestellt wird, um die Antwort „wegen Gottes Willens“ dem Fragenden in den Mund zu legen. Diese Strategie verlagert und verkompliziert die Frage nach dem Sein, denn nun müsste man neben dem Dasein der Welt auch noch das Dasein eines Gottes begreifen, das womöglich in der Existenz noch übergeordneter Götterwelten liegt, und so fort.<sup>188</sup> Ein Abbruch der Suche nach der „Warum-überhaupt-etwas-sei-Frage“ ist zwingend notwendig. Es ist daher intellektuell nur redlich, die Suche dort abubrechen, wo sich noch einigermaßen gesichert etwas über die Welt sagen lässt, und darüber hinaus keine „Glaubensgewissheiten“ zu konstruieren, sondern eine offene, fragende Haltung einzunehmen. Mit einer solchen Haltung lässt sich allerdings kein anthropozentrisches Weltgebäude konstruieren.

Eine weitere Strategie sei besprochen, und zwar jene, das Universum auch heute noch als „auf den Menschen hin geschaffen“ zu begreifen. Sie zielt auf die Frage nach der „Feinabstimmung der Naturkonstanten“, zu denen der Wert der schon besprochenen Gravitationskonstante, aber auch beispielsweise die Lichtgeschwindigkeit gehören.

Das Problem besteht darin, dass sie durch kein bisher bekanntes Naturgesetz festgelegt sind und nach heutigem Wissen sehr präzise den messbaren Betrag haben müssen, um ein Universum zu ermöglichen, das Leben, wie wir es kennen, zulässt. Sie wirken „wie von der Hand des Schöpfers gewollt.“ Auch in dieser Frage gelten die schon aufgeführten Argumente: Sollte sich in der Feinabstimmung der Naturkonstanten ein zielorientierter „Wille“ schöpferischer Mächte ausdrücken, so ist nichts über den Charakter dieser Macht ausgesagt. Zudem bestünde das hierbei erkennbare Ziel allein darin, die Existenz von Leben möglich zu machen. Auch aus diesem Gedanken lässt sich ein Anthropozentrismus kaum ableiten. Wir können nur feststellen, dass wir in einem Universum leben, dass das Dasein des Menschen zulässt – mehr nicht. Diese Formulierung ist als das „schwache anthropische Prinzip“ in die Wissenschaftsgeschichte eingegangen. In Universen, die andere Werte der Naturkonstanten realisieren – sollte es sie geben –, wäre niemand da, der sich über Naturkonstanten Gedanken macht. Aus der „Feinabstimmung“ anthropozentrische Glaubensgewissheiten abzuleiten, ist damit nicht möglich. Man darf aber dankbar sein, dass Leben in unserem Universum möglich ist, und mit der Vorstellung liebäugeln, dass in den Abermilliarden habitablen Orten unseres Alls nicht nur auf unserer Erde der „Funke des Lebens“ gezündet hat und weitergeführt hat zu einer ersten kulturtragenden Spezies. Erschreckend geradezu wäre die Vorstellung, dass die habitablen Zonen des Universums ungenutzt ihre Runden drehen. Es würde das Gefühl der kosmologischen Einsamkeit und Verlassenheit unseres irdischen Paradieses nur potenzieren.

Besonders problematisch für den christlichen Zentralitätsanspruch ist die Frage nach der Bedeutung extraterrestrischer Intelligenzen (ET) im Hinblick auf das Heilsgeschehen. Die Überzeugung, nicht allein zu sein im Universum, ist inzwischen so weit Allgemeingut geworden, dass die katholische Fundamentaltheologie nach Argumentationslinien sucht, ET in die Christologie zu integrieren. 2015 erschien hierzu eine Dissertation.<sup>189</sup> Die Herausforderung, die durch die Überzeugung, es gäbe ET, für den christlichen Glauben entsteht, liegt in der Stellung, die das Christentum der Inkarnation Gottes in Jesus Christus beimisst. Ist „*Christus auch für ET gestorben?*“<sup>190</sup> Gibt es *Mehrfachinkarnationen*<sup>191</sup> Christi? Haben ET auch gesündigt? Oder leben sie in

sündenfreiem Urzustand? Wie erhalten sie gegebenenfalls Nachricht von der erfolgten Erlösungstat Christi? Wie steht es um das Heil der ET, die außerhalb des Einflussbereiches christlicher Mission leben? Wir müssen davon ausgehen, dass die christliche Mission auch nicht die nächsten von ET bevölkerten Planeten erreichen wird und eine der irdischen Weltmission vergleichbare kosmische Verbreitung des Christentums unmöglich ist. Sind alle ET damit der Verdammnis anheimgegeben? Dies widerspricht dem „*unbedingten Heilswillen Gottes*“<sup>92</sup>, die „*Heilsgeschichte würde zu einer Unheilsgeschichte*“. Wir könnten Gott nicht mehr als „*Gott der unbedingten Liebe*“ begreifen. Diese Position vertrat schon Giordano Bruno, der angesichts vieler Welten im Kosmos am Inkarnationsverständnis der katholischen Kirche zweifelte. „*Das Problematische an dieser Position ist, dass sich damit nicht mehr die Superiorität [Überlegenheit] des Christentums begründen lässt, da die Forderung nach der Einzigkeit von Inkarnation nicht mehr erfüllt werden kann.*“<sup>93</sup> Die christologischen Probleme mit ET entsprechen denen, die Christen mit anderen Religionen haben, in kosmische Dimensionen potenziert.<sup>94</sup> Irdisch ließen sie sich lösen durch Mission und Unterordnung der Anders- und Nichtgläubigen. Mit ET ist Vergleichbares nicht möglich. Das „Zentrum des christlichen Glaubens“ muss aus dieser Warte neu begriffen werden, um die Überzeugung von der Superiorität des Christentums allen anderen Weltanschauungen gegenüber nicht zu verlieren.

Christliche Theologie übersteigert den irdischen Anthropozentrismus in Form eines kosmischen Christozentrismus, den nur zu erwähnen, man möge die Anmerkung verzeihen, mir die Schamesröte ins Gesicht treibt. Während christliche Theologen über den unbedingten Heilswillen Gottes spekulieren, der sich auf noch unentdeckte extraterrestrische Zivilisationen ausdehnen soll, wird zum Beispiel domestizierten Tieren um unseres Eigennutzes willen unermessliches Leid zugefügt und Wildtiere ausgerottet, die unserem irdischem Wohl vermeintlich im Wege stehen. Zwei Fragen, die den kulturellen Narzissten „Mensch“ viel zu wenig umtreiben. Ehe uns das vermeintliche Heil von ET ans Herz wächst, sollten wir uns um das Wohl aller auf der Erde existierenden Lebensformen kümmern.

## Konsequenzen des kulturellen Anthropozentrismus

Die anthropozentrische Selbstgewissheit des Menschen der christlich-abendländischen Kulturtradition ist weitaus mehr als ein tröstliches Gesprächsthema am knisternden Kaminfeuer. Denn unser Handeln in der Welt entspringt unserer Einstellung der Mitwelt gegenüber. Diese wiederum ist Ergebnis der kulturellen Prägungen, in die wir hineinwachsen. Bewusst oder unbewusst gestalten die Erzählungen der Kultur, in der wir leben, die Art und Weise, wie wir mit den Ressourcen unserer Mitwelt umgehen. Es ist hoffentlich an dieser Stelle nicht nötig, genauer auszuführen, dass das weltweite Artensterben, der Klimawandel mit seinen Folgen, die Bewältigung der Altlasten bei abnehmenden Vorräten fossiler Rohstoffe – um nur einige Themen zu nennen – *die* zentralen Herausforderungen der Gegenwart, wenn nicht gar kommenden Jahrhunderte darstellen. Den wenigsten ist allerdings bewusst, dass die geistigen Ursprünge ganz wesentlich in der anthropozentrischen Selbstüberschätzung des Menschen liegen, gepaart mit einer Technik, die den Zentralitätsanspruch des Menschen auf der Erde mit unmenschlichen Kräften und in gigantischer Geschwindigkeit irdische Realität werden lässt. Nicht wenige Menschen haben sich zum Lebens thema gemacht, die Folgen unseres Handelns in der Welt zu mindern und an einer nachhaltig gestalteten Zukunft zu arbeiten. Um dieses Handeln tragfähig zu machen, muss aber auch am inneren Motor menschlichen Gestaltens gearbeitet werden, an den Narrativen unserer Kultur. Ein erster Schritt besteht in einer Aufklärung über die Konsequenzen des kulturellen Anthropozentrismus.

Schon das Denken der Römer stellte die menschlichen Bedürfnisse über alles. So findet sich in Ciceros zweitem Buch, „De natura deorum“, folgende Passage:

*„Bleibt nur noch übrig, dass ich lehre [...], dass alles, was es auf dieser Welt gibt, [...] für die Menschen gemacht und bereitet sei. Denn die Welt ist sozusagen ein gemeinsames Haus für Götter und Menschen. [...] Schon bieten aber die Umläufe der Sonne und des Mondes und der übrigen Gestirne den Menschen ein Schauspiel, obwohl sie auch ihren Einfluss auf den Zusammenhang der Welt haben. [...] Wenn dies aber nur uns Menschen bekannt ist, muss man urteilen, dass es um des Menschen willen geschaffen wurde.“*



Diese Haltung blieb nicht folgenlos. Schon in der Antike kam es zu einer weitgehenden Entwaldung des Mittelmeerraumes. Holz wurde für Hausbau, Schiffsbau und Heizmaterial benötigt, das Land für die Landwirtschaft und als Weide. Der Boden laugte aus und übrig blieb die magere Gebüschvegetation der Macchie, die noch heute weite Teile des ehemaligen römischen Kulturraumes prägt.

Im 4. Jahrhundert trat das Christentum das politische und kulturelle Erbe der Römer an und begründete damit das „Abendland“. Es brachte den Fokus auf die Heilsgeschichte des Menschen. Die Welt, die Natur, degradierte nunmehr zum Schauplatz des Erlösungsgeschehens. Sie ist mit dem Menschen Teil der gefallenen Schöpfung<sup>195</sup>. Der Psychoanalytiker und kritische Theologe Eugen Drewermann drückt dies in seinem Buch „Der tödliche Fortschritt“ so aus: *„Die gesamte Natur hatte jetzt dem Wohl und Wehe allein des Menschen zu dienen [...]; ja, indem Christus als Herrscher des Kosmos verstanden wurde, glaubte man den Menschen auch in kosmologischem Sinne zum Mittelpunkt des Weltalls erklären zu müssen. [...] wegen der Sünde Adams seien alle Geschöpfe bestraft worden, die gesamte Natur sei vom Menschen negativ beeinflusst und müsse durch den Menschen erlöst werden.“*<sup>196</sup> Doch kümmert sich das Naturgeschehen tatsächlich um das Wohl des Menschen? Mitnichten, wie das viel diskutierte Erdbeben von Lissabon den Aufklärern des 18. Jahrhunderts verdeutlichte und jede weitere Naturkatastrophe unterstreicht. Die Theodizee<sup>197</sup>, die Rechtfertigung Gottes angesichts des Leids in der Welt, ist seitdem der Fels, an dem sich der Gottesglaube messen muss. Die einen sehen hierin eine „Glaubensprüfung“ und halten nun erst recht an ihm fest<sup>198</sup> – und sehen damit weiterhin den Menschen im Fokus der Heilsgeschichte. Für viele andere fiel und fällt an der Theodizee allerdings der Gottesglaube. Nicht unbedingt aber die Überzeugung von der Sonderrolle des Menschen. Darauf machte der deutsche Schriftsteller, Umweltaktivist und Mitbegründer der Partei „Die Grünen“ in seinem Buch „Das Ende der Vorsehung“ schon 1972 aufmerksam:

*„[Das Christentum] war erfolgreich in der Übermittlung selbstverständlichen Vertrauens in die Garantien der Genesis: qualitative Einzigartigkeit des Menschen, totale Profanität der Natur, ihre Verfügbarkeit als Ausbeutungsobjekt und ihr unerschütterliches ökologisches Gleichgewicht. Die Selbstverständlichkeit solchen Vertrauens geht heute weit über die Grenzen von Judentum und Christentum hinaus: räumlich, aber vor allem auch im*

*Bewusstsein der Zeitgenossen. Das Christentum hat ferner seinen historischen Erben eine – möglicherweise tödliche – Überzeugung vermitteln können: die Überzeugung von der glanzvoll angeordneten Zukunft, von dem Neuen Jerusalem, das uns auf jeden Fall erwartet; sei es im Gang der Heilsgeschichte, sei es im ehernen Pendelschlag der historisch-materialistischen Uhr.*<sup>99</sup>

Spätestens jetzt, im 21. Jahrhundert, ist deutlich geworden: Das ökologische Gleichgewicht ist zu fragil, um die überzogenen Ansprüche des Menschen unbeschadet bedienen zu können. Der Fortbestand der Menschheit in seiner heutigen Form steht infrage. Homo sapiens wird möglicherweise nur als ein weiterer katastrophaler Wimpernschlag in die Erdgeschichte eingehen, von dem sich die Biosphäre erholen wird – wie sie dies schon öfter bewiesen hat. Sollte sich die Selbstüberschätzung des Menschen nicht grundlegend ändern, wird das Naturgeschehen über ihn hinwegrollen und seine Hinterlassenschaften als kunststoffreiche Sedimentschicht im Buch der Natur archivieren – allein Voyager wird weiterziehen mit einer Botschaft, die wohl niemand je lesen wird.

## Katharsis

Was bleibt, wenn der Kränkungsschmerz der Entthronung überwunden ist? Verunsicherung aufgrund entfallenen Glaubens? Flucht in vordergründiges Glück, weil einem das Gefühl genommen ist, von Göttern Geliebte zu sein? Hoffnungslosigkeit wegen fehlender Langzeitperspektive?

Die „Golden Record“ der Voyager-Missionen, die ständig weiter in den Weiten des Alls versinkt, trägt auch die Grußworte des damaligen UN-Generalsekretärs Kurt Waldheim:

*„Als Generalsekretär der Vereinten Nationen, einer Organisation von 147 Mitgliedsstaaten, die beinahe alle menschlichen Bewohner des Planeten Erde repräsentiert, sende ich Grüße im Namen der Völker unseres Planeten. Wir treten aus unserem Sonnensystem ins Universum auf der Suche nach Frieden und Freundschaft, um zu lehren, wenn wir darum gebeten werden, um zu lernen, wenn wir Glück haben. Wir sind uns ganz und gar bewusst, dass unser Planet und alle seine Bewohner nichts als ein kleiner Teil des uns umgebenden, immensen Universums sind, und wir machen diesen Schritt mit Demut und Hoffnung.“*

Ergänzt wird dieser Gruß durch die Worte des damaligen US-Präsidenten Jimmy Carter: *„Dies ist ein Geschenk einer kleinen, weit entfernten Welt, eine Probe unserer Klänge, unserer Wissenschaft, unserer Bilder, unserer Musik, unserer Gedanken und unserer Gefühle. Wir versuchen, unser Zeitalter zu überleben, um so bis in Eure Zeit hinein leben zu dürfen.“*

Die letzten Worte machen eines deutlich: An die Stelle der christlichen Heilsgewissheit tritt das bange Gefühl, dass das Überleben der Menschheit angesichts der Kräfte, die wir mit unserer Technik entfalten können, keine Selbstverständlichkeit ist. Wir sind nicht Ziel und Zweck einer auf uns ausgerichteten Schöpfung, sondern eine zur Kultur erwachte Spezies, die im Beziehungsgeflecht der Biosphäre unseres Planeten ihre Existenzberechtigung erst beweisen muss. Tun wir das, könnten wir für alle Lebensformen eine symbiotische Bereicherung darstellen. Versäumen wir unsere Chance, wird der Planet Erde die „parasitäre Homo-sapienitis“ überwinden und ohne unsere Nachkommen weiterhin Evolutionsgeschichte schreiben, solange es die kosmischen Umstände zulassen.

Man bedenke die Chancen, die in dieser Zukunftsperspektive stecken! Wie viele Generationen unserer Nachkommen könnten auf unserem Planeten ihr Glück suchen und finden. Und wer weiß in welcher Form würde in dieser Einheit des Lebens auch etwas von dem weiterleben, was uns als Subjekte auszeichnet. In dieser Krise der Menschheitsgeschichte einen positiven Beitrag zu leisten, gibt dem gegenwärtigen Leben mindestens ebenso Sinn wie vormalig das Werben um die Gunst Gottes für einen Platz im himmlischen Jerusalem.

Die Vogelperspektive, die wir bei der kosmologischen Selbstreflexion einnehmen, bringt zu Ende, was Kopernikus einst begonnen hatte. Wir kreisen nicht nur, wie uns Kopernikus lehrte, auf einem Planeten unter mehreren um die Sonne. Nein, wir kreisen um einen durchschnittlichen Stern, deren es unzählige gibt. Mit diesen driften wir in Schwärmen durch den kosmischen Sternenwirbel der Milchstraße, der auf eine weitere Sterneninsel, die Andromedagalaxie, zusteuert. Wir sind Teil des Virgo-Supergalaxienhaufens, der wiederum mit weiteren 100.000 Galaxien ein Gebiet unseres Universums formiert, das den wohlklingenden Namen Laniakea trägt<sup>200</sup> und sich durch gemeinsame Bewegungsmuster auszeichnet. Alle zusammen sind zu einem Ge-

spinst aus Milliarden und Abermilliarden Galaxien verwoben, das die gesamte Raumzeit unseres Universums durchzieht.

Es wird unvorstellbar viele für Leben günstige Orte geben. Doch wir werden nie sicher wissen, ob Leben oder gar Kultur ein einmaliges oder gewöhnliches Phänomen im Universum ist. Wir werden wahrscheinlich nie erfahren, wie es gegebenenfalls um andere kulturtragende Lebensformen steht, wie sie denken und fühlen. Der Kosmos lehrt uns, dass unser Schicksal mit dem Schicksal unserer Erde unlösbar verbunden ist. Angesichts der dramatischen Kräfte, die vielerorts im Universum walten und Leben unmöglich machen, wird deutlich, dass unser Sonnensystem zwar ein bescheidener, aber doch besonderer Teil eines Teils des Universums ist, mit dessen Schicksal unsere Zukunft verbunden ist. Angesichts dieser Tatsachen ist anthropozentrische Überheblichkeit fehl am Platz. Gebot der Stunde ist vielmehr zu lernen, dass wir auf unsere Erde angewiesen und unauflösbar mit ihr verbunden sind. Ihr Schicksal ist unser Schicksal, ob wir wollen oder nicht. Lernen wir das, haben wir eine lange Zukunft. Für menschliche Vorstellung eine kleine Ewigkeit.

Genau diese Selbstverortung ist der Kern des weltanschaulichen Paradigmenwechsels, den Kopernikus angestoßen hat, als er die Erde aus ihrer Zentralposition rückte. Er wusste nicht, wohin dieser Weg ein halbes Jahrtausend später führen sollte. Genauso wenig wie Kepler, Galileo oder Newton. Vielleicht wären sie zurückgeschreckt. Doch ginge es ihnen um ehrliche Selbsterkenntnis, um einen illusionslosen Blick auf die Welt, wie sie sich uns heute darbietet, würden sie nicht scheuen. Und der Weg geht weiter: Es wäre vermessen zu meinen, dass wir gegenwärtig den einzig realen Blick auf uns und die Welt einnehmen können. Doch auch dazu müssen wir stehen: zu dem, was wir *heute* wissen, und zu dem, was wir heute *nicht* wissen. Eine couragierte Geisteshaltung verbietet uns, unser Nicht-Wissen durch erglaubte Illusionen zu ersetzen.

Der Kosmos, wie er sich darbietet, lehrt uns Bescheidenheit. Lehrt uns, mit geläutertem Auge auf unseren blauen Planet zu schauen. Damit ist die Voyager-Mission nicht nur eine Reise von der Erde weg, sondern auch eine innere Rückwendung zur Erde hin. Carl Sagan hat das neue kosmologische Paradigma in poetischer Weise in seinem Buch „Pale Blue Dot“ zum Ausdruck gebracht.<sup>201</sup> Auch wenn das eng-

lische Original schöner klingt, sei hier eine Übersetzung vorgenommen:

*„Von einem entfernten Standpunkt aus scheint die Erde nicht besonders interessant zu sein. Für uns gilt das nicht. Vergegenwärtigen Sie sich diesen Punkt. Das ist Ihre Heimat. Das sind wir. Hier ist jeder, den Sie lieben, jeder, den Sie kennen, hier waren alle Menschen, die jemals gelebt haben. All unser Leiden, unsere Heiterkeit, Tausende überzeugter Religionen und Ideologien, [...] alle Schöpfer und Zerstörer von Zivilisation, jede Mutter, jeder Vater, jedes hoffnungsvolle Kind [...] lebten hier, auf diesem von Sonnenstrahlen umspülten Staubkorn.*

*Die Erde ist eine sehr kleine Bühne in einer ausgedehnten kosmischen Arena. Denken Sie an die Ströme des Bluts, das von Generälen nur vergossen wurde, um für kurze Zeit Herrscher über einen Bruchteil dieses Punktes werden zu können. [...] Unsere Possen, unsere eingebildete Selbstüberhebung, die Wahnvorstellung, dass wir eine privilegierte Stellung im Weltall hätten, werden durch diesen Punkt als Absurdität entlarvt. Unser Planet ist ein einsamerer Fleck in der ihn umhüllenden kosmischen Dunkelheit. [...]*

*Es ist gesagt worden, dass Astronomie demütig macht und zur Charakterbildung beitrage. So gibt es vielleicht keine bessere Demonstration der Albernheit menschlicher Eitelkeiten, als dieses entfernte Bild unserer winzigen Welt. Für mich unterstreicht es die Verantwortung, friedvoll miteinander umzugehen und unseren blassblauen Punkt, unsere einzige Heimat, die wir jemals haben werden, zu bewahren und zu pflegen.“*

# Nachwort: Kopernikus als humanistisches Bildungsthema

Astronomie gehört seit den antiken Wurzeln unserer Kultur zu den Themen, an denen Menschen ihr Denken und Beobachten geschult haben. Sie war Teil der „septem artes liberales“, der sieben freien Künste<sup>202</sup>. Im Früh- und Hochmittelalter verlor sie im christlichen Kulturraum an Bedeutung, erblühte währenddessen im islamisch-arabischen Kulturraum. Mit Beginn des Hochmittelalters drangen auch astronomische Grundwerke, wie die des Aristoteles und Ptolemäus, nach Europa und leiteten die Renaissance ein. Die Frage, wie astronomische Befunde mit dem christlichen Glauben vereinbar sind, schied die Geister so lange, bis eine Synthese im christlichen Geozentrismus beispielsweise durch Thomas von Aquin hergestellt wurde. Damit konnte astronomische Bildung wieder den Stellenwert einnehmen, auf den Nikolaus Kopernikus gleich zu Beginn seines bahnbrechenden Werkes hinweist:

*„Unter vielen verschiedenen Beschäftigungen mit Wissenschaft und Kunst, durch die menschliches Talent befördert wird, halte ich besonders die für ergreifens- und höchst eifrig betreibenswert, die es mit den schönsten und wertvollsten Gegenständen zu tun haben. Derart sind die, welche von den göttlichen Welt-Umläufen und der Bahn der Gestirne, Größen, Entfernungen, Auf- und Untergang und den Gründen der übrigen Erscheinungen am Himmel handeln und endlich die gesamte Gestaltung darstellen. [...] Wenn es nun aber aller guten Künste Aufgabe ist, von Fehlern fortzuführen und den Menschensinn auf Besseres hinzulenken, so kann diese [die Astronomie], abgesehen von der unglaublichen geistigen Lust, das besonders reichlich leisten.“<sup>203</sup>*

Bis in die Neuzeit hinein hat man dem Blick in den Himmel und der mathematischen Durchdringung der Planetenbewegungen die Wirkung zugesprochen, den menschlichen Geist über sich zu erheben. Das scheinbar ewige und ungebremsste Kreisen der Sterne und Planeten galt als Garant dafür, dass der Blick in die Sphären jenseits des Mondes

direkt göttliches Wirken erfahrbar machte. Astronomie hatte damit den Nimbus des Heiligen. Das legitimierte seinen Stellenwert, ein grundlegendes Bildungsthema im Kanon der freien Künste zu sein. Auch Kopernikus sah das nicht anders.

Die modernen Vorstellungen von der Natur unseres Universums sprechen eine grundlegend andere Sprache. Die schiere Größe und Leere entzieht sich der menschlichen Vorstellungskraft. Physikalische Ereignisse mit einer Energiedichte, die man sich ebenso wenig vorstellen kann, kennzeichnen einen Großteil des Kosmos als extrem lebensfeindliche Orte. Allein die Vielzahl der Sonnen und Planeten, von denen wir Kunde haben, lässt wiederum erahnen, dass die menschliche Kultur so einzigartig nicht ist, wie sie der christlichen Vorstellung im überschaubar geschlossenen, geozentrischen Kosmos erschien.

Zwischen diesen beiden Weltbildern steht ein Weg menschlichen Denkens und Forschens, der in der Renaissance mit der kopernikanischen Wende begann. Seine gedankliche und empirische Überzeugungskraft trug dazu bei, dass der Mensch sich auf sich selbst besann und sein Heil im Diesseits selbst in die Hand nahm. Der Himmel war säkularisiert, das Göttliche ins Transzendente entrückt und damit der Weg frei, mit und zunehmend auch ohne Ausrichtung auf (vermeintlich) göttliche Offenbarungen und damit auf Vernunft und Erfahrung gegründet die Lebensbedingungen selbst zu gestalten. Der Mensch wird mündig und muss sein Verhältnis zur Welt und damit den „Sinn seines Daseins“ selbst bestimmen.

Grob skizziert kann man diesen Paradigmenwechsel als Übergang von einem theozentrischen zu einem humanistischen Weltverständnis beschreiben, das Wertebasis unserer freiheitlich demokratischen Gesellschaftsordnung wurde. Dabei ist nicht wichtig, ob der Einzelne bemüht ist, in diesem Sinne humanistisches Denken mit überkommenen Glaubensvorstellungen in Einklang zu bringen, oder nicht. Entscheidend ist, dass für die Ausformung des alle betreffenden Gemeinwesens Glaubensvorstellungen keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen und an diese Stelle das Wohl aller Menschen mit ihren Grundbedürfnissen nach Sicherheit und individueller Freiheit rückt, wobei das vernunftorientierte demokratische Miteinander darüber entscheidet, wie sich das Gemeinwesen formt, nicht (vermeintlich) göttliche Offenbarungen. So sei das Wort Humanismus verstanden.

Eine zentrale Rolle auf dem Weg zu unserer in diesem Sinne humanistischen Gesellschaft spielte hierbei die Erfahrung, wie weit die menschliche Vernunft in der Lage ist, die Welt zu verstehen. Das Erlebnis, einen Aspekt der Natur zu erkennen und durch diese Erkenntnis tiefer in die Wirklichkeit einzudringen, ist beglückend, dass es anfängliches Staunen nicht mindert, sondern vertieft. Wenn die Insel des Wissens größer wird, vergrößern sich zwangsläufig auch die Ufer der Fragen. So gelebte Rationalität führt nicht, wie oft behauptet, zu einem kalten, entzauberten Naturverständnis, das in dem berühmten Zitat von Max Frischs *Homo Faber* zum Ausdruck kommt: *„Ich sehe den Mond über der Wüste [...] klarer als je, mag sein, aber eine errechenbare Masse, die um unseren Planeten kreist, eine Sache der Gravitation, interessant, aber wieso ein Erlebnis?“*<sup>204</sup> Im Gegenteil ist offenkundig, dass naturwissenschaftliches Forschen, Erkunden und Verstehen von Kindes Beinen an bis ins hohe Alter faszinieren, beglücken und zum Weiterfragen motivieren kann.

Die menschliche Spezies ist durch zwei Grundeigenschaften charakterisiert. Der Mensch ist in größerem Umfang Träger kultureller Evolution einerseits, andererseits aber immer auch ein seine Welt hinterfragendes, d. h. vernunftbegabtes Wesen. Humanistische Bildung sollte beidem gerecht werden. Sie muss den Einzelnen darüber aufklären, welche Wege der Kulturstrom genommen hat, dem er angehört, und in welche Richtungen er fließt. Denn wer nicht weiß, woher er kommt, hat auch kein Bewusstsein dafür, dass er auf dem Weg ist. Nicht minder wichtig ist die Aufgabe, die eigenen Vernunftquellen zu erschließen, um den Menschen damit zu einem mündigen Mitglied seiner Kultur werden zu lassen, das neue kulturelle Akzente zu setzen in der Lage ist. Voraussetzung für eine humanistische Bildung im hier angedeuteten Sinne ist so ein grundsätzlich positives Menschenbild und das Vertrauen darein, dass vernunftorientiertes Handeln auch humanitäre Lebensverhältnisse für Mensch und Umwelt nach sich zieht. Beides zeichnet das humanistische Weltverständnis grundlegend aus.<sup>205</sup>

Mit der kulturellen Entwicklung Europas vom christlich-theozentrischen zum humanistischen Weltverständnis ist auch eine Veränderung dessen verbunden, was man unter Bildung versteht. Das Wort „Bildung“ wurde wahrscheinlich erstmals von Meister Eckhart im



Rahmen seiner Imago-Dei-Lehre verwendet. Im Zitat von Nikolaus Kopernikus kommt diese Bedeutung wunderbar zum Ausdruck: Die Himmelsbewegungen sind Ausdruck des Göttlichen, im Nachvollziehen der kosmischen Verhältnisse „bildet“ sich der Mensch zum „Ebenbild Gottes“.

Mit der Aufklärung wurde dieses Bildungsverständnis säkularisiert. Bildung dient nun dazu, den Menschen zu befähigen, ein selbstständiges und tätiges Mitglied der Gesellschaft zu werden. Entsprechend wird nahezu jede Lernsituation vom Kindergarten an als Bildung bezeichnet. Ein genauerer Blick lässt neben dem Erwerb grundlegender Kulturfähigkeiten zwei oftmals in Konflikt stehende Bildungsziele erkennen. Da geht es einerseits um das Anliegen, berufsbezogene Fähigkeiten und Qualifikationen zu vermitteln, die sich aus dem gegenwärtigen Stand der Technik und Wirtschaft ableiten. Dem zur Seite steht ein Bildungsbegriff, den Wilhelm von Humboldt geprägt hat und dessen Ergebnis das humanistische Gymnasium darstellt. Ihm ging es nicht um die Ausbildung spezifischer, in der gegenwärtigen Gesellschaft benötigten Fertigkeiten mit der Vermittlung entsprechender Wissensinhalte, sondern darum, mit zeitlosen Inhalten die Bildung der eigenständigen Persönlichkeit des Menschen zu ermöglichen. Es besteht ein Spannungsverhältnis zwischen Ausbildungszielen, die sich auf aktuelle Bedürfnisse der Gesellschaft beziehen, und dem humanistischen Bildungsanliegen, die Persönlichkeit des Menschen zu befähigen, Autor bzw. Autorin des eigenen Lebens zu werden. Humanistische Bildung will im Menschen eigenständiges Denken und ergebnisoffenes Beobachten anregen und ihn in die Lage versetzen, autonom und kreativ sein Leben zu gestalten und neuen Lebensanforderungen und Wissensgebieten mit ausgewogenem Urteilsvermögen zu begegnen. Kurz, das humanistische Bildungsziel ist die selbstständige, mündige Persönlichkeit. In einer nicht nur wirtschaftlich, sondern auch kulturell globalisierten Welt, die sich in bisher nicht gekannter Geschwindigkeit verändert, vertraut das humanistische Bildungsideal auf die Flexibilität und Sozialfähigkeit des in sich gegründeten mündigen Individuums.

Entsprechend der Idealisierung des antiken Griechenland im Neumanismus eignete sich für Humboldt ganz besonders das Erlernen antiker Sprachen für die Verwirklichung seines Bildungsideals. Wie weit wir dem heute noch folgen können oder wollen, sei hier nicht dis-

kutiert. Für uns wichtig ist die Humboldt'sche Suchbewegung: Nicht jedes Thema, nicht jede Tätigkeit oder Fertigkeit, die wir beispielsweise in Bildungsplänen formulieren, ist gleichermaßen geeignet, dem humanistischen Ziel der Persönlichkeitsbildung gerecht zu werden.

Untersucht man naturwissenschaftliche Bildungsthemen, die in Lehrplänen, Curricula oder im populärwissenschaftlichen Mediensektor auftauchen, so lässt sich die angedeutete Dichotomie der Bildungsziele wiederfinden. Auf der einen Seite stehen naturwissenschaftliche Inhalte, die zu technischem Grundverständnis führen und damit befähigen sollen, sich in einer durch Hochtechnologie geprägten Welt beruflich und lebenspraktisch zurechtzufinden. Die Notwendigkeit hierfür steht außer Frage. Andererseits ist naturwissenschaftliches Forschen auch Ausdruck der zweckfreien Erkenntnissuche des Menschen, des neugierigen Hinterfragens und Verstehen-Wollens der Welt, der ergebnisoffenen Auseinandersetzung mit den Phänomenen der Natur. Hier zählen eine gute Beobachtungsgabe, klares Nachdenken und intellektuelle Redlichkeit, wenn es darum geht, so erkannte neue Aspekte in den Horizont des aktuellen und immer fortschreitenden Wissens einzubauen oder gar auf ihre wertebildende Bedeutung zu hinterfragen. So steht die Naturwissenschaft der Philosophie nahe, ist sie doch aus der Naturphilosophie hervorgegangen. Diese Seite naturwissenschaftlicher Betätigung trägt zur humanistischen Bildung einer mündigen Persönlichkeit bei und befähigt, dem berühmten Leitmotiv der Aufklärung gerecht zu werden, sich „seines Verstandes ohne Leitung eines anderen zu bedienen“<sup>206</sup>.

Die Rechtfertigung technikbezogener Bildungsthemen findet heute weitgehend Gehör. Das Bewusstsein für die Bedeutung naturwissenschaftlicher Bildungsthemen für die Persönlichkeits- und Werteentwicklung hingegen ist längst nicht so ausgeprägt. Dabei zeigt die Wissenschaftsgeschichte immer wieder, dass sich die beiden Seiten naturwissenschaftlichen Forschens gegenseitig befruchten: Aus zweckfreier Grundlagenforschung werden technische Innovationen geboren und technische Anwendungen bestätigen gefundenes Wissen und ermöglichen beispielsweise durch neue Messtechniken tiefere Einblicke in die Natur. Das Gebot der Stunde in der Bildungsdiskussion ist daher, den humanistischen Bildungswert der Naturwissenschaften neu ins Bewusstsein zu heben.

In diesem Sinne möchte ich die kopernikanische Wende als humanistisch bildendes Thema empfehlen.

So wie noch in der Renaissance die Beschäftigung mit astronomischen Phänomenen im Rahmen der freien Künste einen Weg darstellte, sich göttlichem Wirken zu nähern, so begleitet die Auseinandersetzung mit der Frage, wie der Kosmos aufgebaut ist und wie sich die menschliche Existenz auf unserer wunderbaren Erde in das neue Wissen über das Universum einordnen lässt, das Nachdenken des modernen Menschen, ohne hierbei an Faszination zu verlieren. Im Gegenteil: Auch ohne in den Sternenbewegungen unmittelbar göttliches Walten erkennen zu können, ermahnen uns kosmische Phänomene, unseren zeitlich und räumlich äußerst beschränkten Bewusstseinshorizont zu weiten. Die so gewonnene neue Perspektive auf den Menschen mag, wie Freud sich ausdrückte, als „narzisstische Kränkung“ empfunden werden. Sie stellt aber auch eine Läuterung auf dem Weg zum mündigen Mensch der Gegenwart dar. Der damit verbundene weltanschauliche Paradigmenwechsel ist keineswegs Allgemeingut, ist Teil des noch unvollendeten Projektes der Aufklärung; angesichts der problembelasteten Rolle, die der Mensch auf unserem „Raumschiff Erde“ gegenwärtig spielt, allerdings ein äußerst wichtiges Projekt! Schon deshalb sollte die „kopernikanische Wende“ ein zu bevorzugendes humanistisches Bildungsthema sein.

Wie steht es aber um die Überzeugungskraft der kopernikanischen Wende? Viele Themen der modernen Naturwissenschaft entziehen sich bekanntlich dem unmittelbaren Verständnis und können beispielsweise nur mit wohlbegründeten Modellvorstellungen in Teilaspekten verstanden werden. Ist der Laie im Nachvollzug der kopernikanischen Wende zu Wissenschaftsgläubigkeit verdammt? Rationalismus als Bekenntnis? Dann stünde der humanistische Bildungswert infrage. Das Bestechende an unserer Thematik ist, dass der Laie den Werdegang des modernen kosmologischen Weltbildes bis in die neueste Exoplanetenforschung hinein, gegründet auf zugänglichen Phänomenen, sehr gut nachvollziehen kann.<sup>207</sup> Naturwissenschaftliches Verstehen bedeutet „stehen auf den Phänomenen“, wie sich Martin Wagenschein<sup>208</sup> ausdrückte. Von den einfacheren Fragen, wie der Herleitung der Kugelgestalt der Erde und einer guten Begründung ihrer Eigenrotation, über ein Beobachten und Verstehen der Schleifenbewegungen

der Planeten bis hin zu einem Verständnis dessen, wie wir zu den sprichwörtlich gewordenen „astronomischen“ Entfernungsvorstellungen kommen oder zur Vorstellung eines expandierenden Universums, das seinen Anfang in einem Urknall genommen hat – all diese Fragen lassen sich überzeugend auf der Grundlage zugänglicher Phänomene beantworten. Es war ganz besonders diese Überzeugungskraft, welche die Träger der Aufklärung Vertrauen in die menschliche Vernunft fassen ließ. Im Nachvollzug der kopernikanischen Wende kann jeder Beobachtungsfähigkeit und Vernunftgebrauch schulen. Lässt man die so gewonnenen Erkenntnisse nah genug an sich heran – und nur dann kann man von Bildung sprechen –, dann wird sich die Frage der intellektuellen Redlichkeit stellen, die dazu auffordert, den kopernikanischen Paradigmenwechsel in sein eigenes Weltbild zu integrieren. Dies zu leisten, ist eine Angelegenheit des mündigen Individuums und sollte damit im Zentrum humanistischer Bildung stehen.

Unsere Thematik steht kaum im Verdacht, Ausbildungszwecken zu dienen. Zwar führten die Anforderungen der Raumfahrt auch zu technischen Innovationen, und beispielsweise Satelliten sind in der modernen Welt ohne Zweifel wichtig. Kosmologische Themen in den Bildungskanon aufzunehmen, lässt sich allerdings über ihre Nützlichkeit für den Alltag kaum begründen. Wie die Freude an Musik und Kunst sind sie Ausdruck einer urmenschlichen Regung: der Neugierde, etwas über sich und die Welt zu erfahren, des Wunsches zu begreifen, wie es um die Welt bestellt ist und was dies für den Menschen selbst bedeutet. Es ist ein Grundbedürfnis des Menschen, sich in der Welt orientieren zu wollen und sein Handeln nach dieser Orientierung auszurichten. Zwei Kulturbereiche befriedigen dieses Bedürfnis des Menschen: Religion und Philosophie. So verwundert es nicht, dass die Historie der kopernikanischen Wende auch Teil der Philosophie- und Religionsgeschichte ist.

In Bezug auf das humanistische Bildungsanliegen ist allerdings wichtig zu sehen, in welcher unterschiedlicher Weise Religion und Philosophie hier „bilden“. Blättert man durch den katholischen Katechismus, so findet man eine Ansammlung von Antworten. Das Wort Katechismus bedeutet „von oben herab tönen“ für „unterrichten“ – ein treffendes Bild für den Wesenskern aller Offenbarungsreligionen, die den Ursprung ihrer Weltinterpretation, ihres Glaubens in der jeweils für

wahr befundenen Offenbarung dessen sehen, der alles geschaffen haben soll. Natürlich gibt es heute aufgeklärte religiöse Menschen, die bemüht sind, nicht nur blind zu glauben, sondern ihren Glauben zu hinterfragen.<sup>209</sup> Wer sich religiös definiert, bleibt aber an den Kern der jeweiligen Offenbarung gebunden.

Ganz anders ist die Grundhaltung in der – nicht religiös gebundenen – Philosophie. So formulierte Richard David Precht zu Beginn seiner Geschichte der Philosophie den Satz: „Alle großen philosophischen Fragen sind offene Fragen; und jede Antwort treibt sofort wieder neue Fragen hervor.“<sup>210</sup> Kein philosophischer Text wird als Absolutum wahrgenommen, sondern als mehr oder weniger bedeutender Teil der kulturellen Evolution. Im Gegensatz zur offenbarungsreligiösen Interpretation „unterrichtet“ weder Philosophie noch Naturwissenschaft darüber, wie man entsprechend der „wahren Sichtweise“ zu denken und zu glauben hat, sondern sie führen dem Lernenden den aktuellen Kenntnisstand der Phänomene und deren Interpretationsmöglichkeiten vor. So wird der Stab des Forschens und Denkens weitergegeben in der Hoffnung, zu neuen, besseren Sichtweisen der Welt zu gelangen. „Wir irren uns hinauf“ ist ein häufiger gehörtes geflügeltes Wort.

Es dürfte auf der Hand liegen, welche Haltung mehr der Bildung zur Mündigkeit dient. Einmal darauf aufmerksam geworden, vergewärtigt man sich, welchen Raum der Religionsunterricht im heutigen Schulsystem im Verhältnis zu einem Philosophieunterricht oder zu „philosophischen Themen“ innerhalb der Naturwissenschaften, wie der kopernikanischen Wende, einnimmt. Hier besteht ohne Zweifel Nachbesserungsbedarf.

Der Nachvollzug der kopernikanischen Wende macht bewusst, dass die Bilder, die sich Denker von den grundlegenden Wesenszügen der Welt gemacht haben, nicht statisch, sondern im steten Wandel begriffen sind. Dies geschah nie willkürlich, neue Erkenntnisse erzwangen die Weiterentwicklung der kosmologischen Auffassungen. Oft war dies ein schmerzhafter, vielleicht erschütternder Prozess, wenn lieb gewonnene Vorstellungen aufgegeben werden mussten, weil sie sich im neuen Licht als falsch oder unvollständig herausstellten. Letztlich ist die Erweiterung des Wissenshorizontes aber eine beglückende Erfahrung. Sie belehrt darüber, dass auch kulturell der Weg das Ziel ist; dass wir auch in Zukunft unseren Blick auf die Welt verändern werden. Des

Menschen Verhältnis zur Welt ist nie fertig und vollendet, sondern im steten Wandel begriffen. Die Erfahrung zu vermitteln, Teil eines weltanschaulichen Kulturstroms zu sein, der weitergetragen und modifiziert wird, gehört zum humanistischen Bildungsanliegen. Es führt zu Offenheit gegenüber neuen Erkenntnissen und Erfahrungen, zu einem gesunden Zweifel seinem eigenen Weltbild gegenüber, aber auch dazu, sich der Gründe bewusst zu sein, warum man gegenwärtig so und nicht anders denkt. Diese innere Spannung zeichnet eine mündige Persönlichkeit aus.

Es gab gute Gründe dafür, die Erde ruhend ins Zentrum des Kosmos zu stellen. Es gab gute Gründe dafür, diesen Platz der Sonne zu überlassen, auch wenn es schmerzte, den Menschen nicht mehr im Zentrum der „geschaffenen Welt“ zu sehen. Nicht minder gut waren die Gründe, auch die Sonne in Bewegung zu versetzen, erst mit den Planeten um gemeinsame Schwerpunkte, dann mit den Fixsternen zusammen um das Zentrum der Galaxie und heute als Teil der Galaxie in komplizierten Bewegungen durch das Universum, auch wenn die Bedeutung der irdischen Welt hierdurch immer mehr der eines vagabundierenden Staubkorns in der Wüste gleicht. Und es gibt gute Gründe anzunehmen, dass wir auch heute nur einen Teil dessen erfasst haben, was das Universum ausmacht.<sup>211</sup>

Die kopernikanische Wende ist ein Thema, dessen Nachvollzug diese Vielschichtigkeit erfahrbar macht und das Beobachten und Denken schult. Deshalb sei es als humanistisches Bildungsthema empfohlen.



## Dank

Ich habe dieses Buch weder als Astrophysiker noch als Historiker geschrieben, sondern als Mensch, Pädagoge und Didaktiker, dem eine zeitgemäße Bildung ein Herzensanliegen ist. Es ist mein tägliches Brot, als Gymnasiallehrer mit den Fächern Biologie, Geografie und Astronomie die Naturwissenschaften vor Jugendlichen und jungen Erwachsenen zu vertreten. Wenn man den Anspruch hat, nicht nur Wissen zu vermitteln, sondern in der Auseinandersetzung mit den Lerninhalten junge Menschen – und damit immer auch sich selbst – zu bilden, muss man möglichst umfangreich danach fragen, wie der zu behandelnde „Stoff“ mit allen Aspekten des Lebens verwoben ist. Isoliertes Fachsimpeln führt hierbei nicht weit. So möchte ich den vielen Schülerinnen und Schülern danken, die ich ein kürzeres oder längeres Stück auf ihrem Bildungsweg begleiten durfte. Entgegen der landläufigen Meinung lernt man als Lehrer von seinen Schülern ebenso viel wie hoffentlich auch umgekehrt. Denn was der Lehrende an Wissen und Erfahrung voraushat, bringen die jungen Menschen an Unvoreingenommenheit und Offenheit mit; beides begegnet sich im didaktischen Geschehen.

Das in diesem Buch behandelte Thema begleitet mich, seit ich selbst als Schüler die Schule verlassen habe. Letztlich war es der Grund für die Wahl meines Studienfaches Geografie mit dem Studienschwerpunkt Geowissenschaften.

Unzählige Anregungen waren wichtig für die Form, die mein Interesse an der kopernikanischen Wende und ihren Folgen mit diesem Buch gewonnen hat. Vier möchte ich besonders herausstellen: Für die Entstehung dieses Buches fruchtbar war die Zusammenarbeit mit Dr. Sven Feuerbacher im Rahmen des Astronomie-Kurses. Unser mehrjähriges Teamteaching führte zu einer intensiven Auseinandersetzung mit den hier im Buch dargestellten Inhalten, der ich Entscheidendes verdanke. Seine kritische Durchsicht des Manuskriptes möchte ich zudem dankbar erwähnen. Dankbar bin ich für das Feedback zum

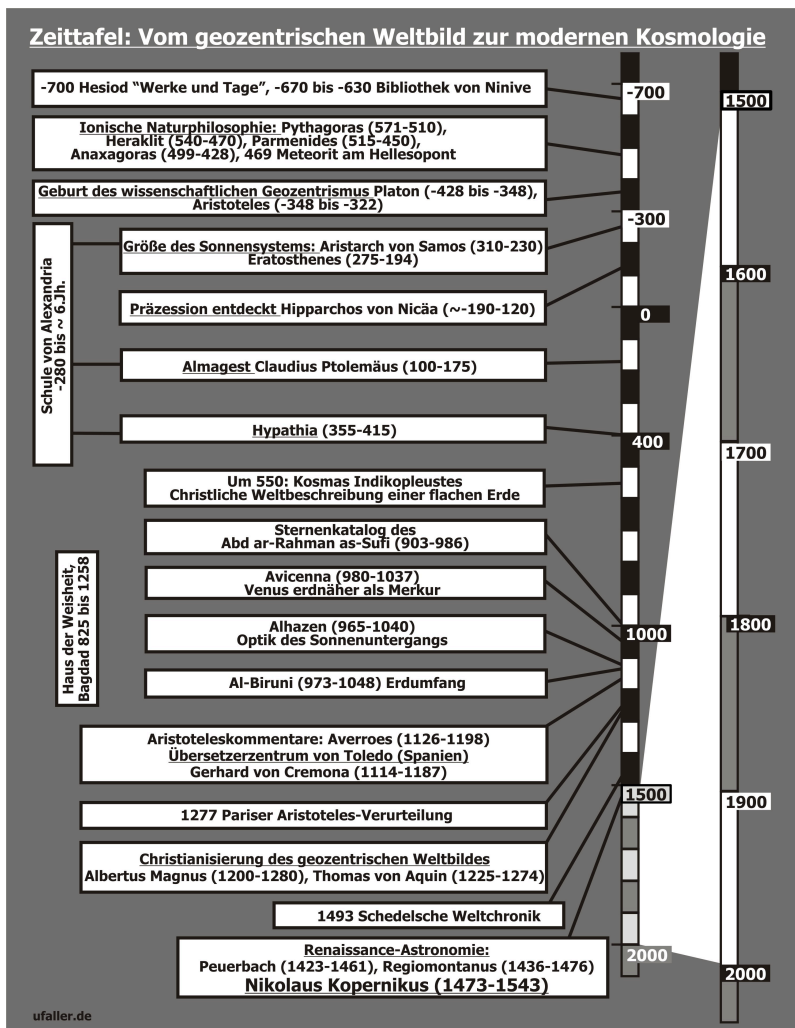


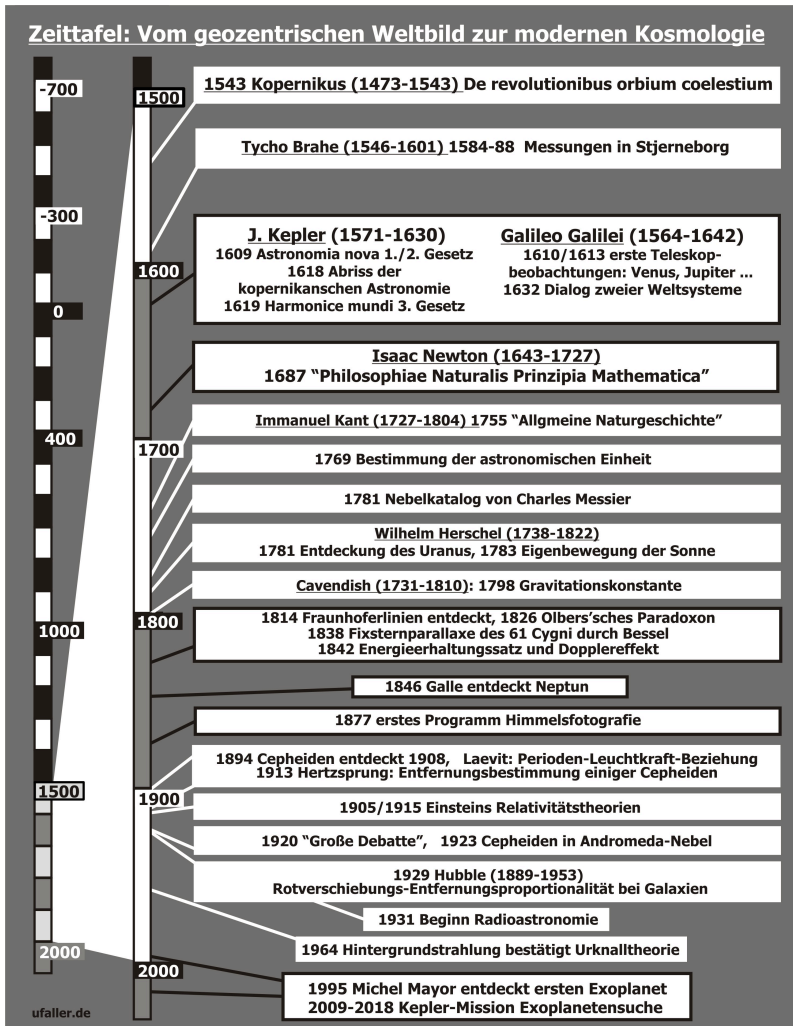
Kapitel über das Verhältnis von Kosmologie, Philosophie und Religion durch den Privatdozenten für Philosophie, Dr. Andreas Edmüller, an der LMU München. Sehr wesentlich für das Heranreifen meiner pädagogischen Intentionen war und ist der Dialog mit meinem Freund Dr. Armin Held, den wir bei regelmäßigen Wanderungen nun schon seit Jahrzehnten führen. Nicht zuletzt möchte ich meiner Frau, der Diplombiologin Belinda Faller, danken, die mich nie hat abkommen lassen von dem heute wichtigsten Ziel allen menschlichen Handelns, der Bewahrung der Lebensfähigkeit unseres wunderbaren Planeten Erde.

Stellvertretend für die nachfolgende Generation möchte ich dieses Buch meinen beiden Kindern widmen, Birgid und Brendan Faller. Wenn ich nicht überzeugt wäre, dass eine realistische Verortung der Stellung des Menschen auf unserer Erde vor dem Hintergrund der Raum- und Zeittiefe des Universums ein wesentlicher Baustein für die Motivation ist, unsere Lebensgrundlage im Hinblick auf die nächsten Jahrzehntausende, ja vielleicht Jahrhunderttausende und mehr zu bewahren, hätte ich dieses Buch nicht geschrieben. Möge es in diesem Sinne positiv wirken.

Südschwarzwald, im April 2018

# Zeittafel





## Anmerkungen

- 1 Offenbarung des Johannes, Kapitel 21.
- 2 Kopernikus, Einleitung, in Meier, Seite 64.
- 3 Ein wichtiger Gedankengang ist hierbei, die Bedeutung von „Weihnachten“ und „Christgeburt“ zu unterscheiden. Geweihte Nächte „zwischen den Jahren“ gab es in vielen vorchristlichen Traditionen, die im Volksbrauch Spuren hinterlassen haben. Hintergrund ist der Unterschied zwischen Mond- und Sonnenrhythmus: Zwölf synodische Mondumläufe sind ca. elf Tage (zwölf Nächte) kürzer als ein Sonnenumlauf. Der natürliche „Zauber“ der Weihnachtszeit lässt sich so unabhängig von der jeweiligen religiösen Überformung kulturübergreifend erfahren.
- 4 Man bemerkt dies beispielsweise am Vorwandern des Fastenmonats Ramadan für Muslime.
- 5 Wer sich auf das reizvolle Thema der Geschichte des Kalenders einlassen möchte, sei auf das Buch von Hannes E. Schlag: „Ein Tag zu viel“, verwiesen.
- 6 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 7 Die Abbildungen wurden mithilfe des Freeware-Programms „Stellarium“ erstellt, die man unter [www.stellarium.org](http://www.stellarium.org) herunterladen kann. Veränderungen und Ergänzungen durch den Autor.
- 8 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 9 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 10 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 11 Aufgrund der Präzessionsbewegung geht der Kalender Hesiods um einen Monat nach. So erscheint Arkturos heute erst Anfang November im Morgenrot.
- 12 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 13 Siehe Videos unter „Ergänzungsmaterialien“ auf meiner Homepage [ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 14 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 15 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).

- 16 Heinrich Blass: „Antike Astronomie aus griechischen und lateinischen Quellen“, München, 1949, S. 29. Alle weiteren Zitate im Rahmen des aktuellen Kapitels aus diesem Buch.
- 17 K. Simonyi: Kulturgeschichte der Physik, Frankfurt a. M. 1990, S. 76.
- 18 Aristoteles: Über die Welt, Reclam 1991, übersetzt von Otto Schönberger, S. 5f.
- 19 Lucio Russo: Die vergessene Revolution oder die Wiedergeburt des antiken Wissens, Springer, 2005.
- 20 Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 21 J. Hamel, 2004, S. 86.
- 22 J. Hamel, 2004, S. 118.
- 23 Mithilfe des „Ptolemaic System Simulator“ lassen sich die mathematischen Ansätze des Ptolemäus simulieren: <http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.html>.
- 24 Siehe z. B. den Artikel von Ursula Foon: Hypatia, das Wagnis der Weisheit. In: Abenteuer Philosophie, Nr. 120, 2014: <http://www.abenteuer-philosophie.org/artikel/120-61-Hypatia.pdf> (7/2017).
- 25 Ebenda.
- 26 Eine Anmerkung zum Schicksal der Hypatia: Es findet sich im ökumenischen Heiligenlexikon zur heiligen Katharina von Alexandria Folgendes: Die heilige Katharina soll, selbst zur Christin geworden, fünfzig Philosophen zum Christentum bekehrt haben, bevor sie selbst das Martyrium erlitt. Hierzu das Heiligenlexikon: „Die heilige Katharina ist eine legendäre Gestalt. In ihrer Gestalt vereinigen sich Schicksal und Wesenszüge der heidnischen Gelehrten Hypatia, die 415 durch Kyrill von Alexandria getötet worden war.“ ([https://www.heiligenlexikon.de/BiographienK/Katharina\\_von\\_Alexandria.htm](https://www.heiligenlexikon.de/BiographienK/Katharina_von_Alexandria.htm), 2017). Geschichte wird, wie man sagt, von den Siegern geschrieben.
- 27 Übersetzung mit dem lateinischen Original findet sich in Wikipedia zum Stichwort „Cunctos populos“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Dreikaiseredikt> [12/ 2016]).
- 28 Siehe ausführlicher beispielsweise in U. Faller, 2014, S. 59 ff., H. Brandt, 2007, S. 62 ff., A. Franzen, 2011, S. 71ff., R. Bergmeier, 2011., siehe auch: Wikipedia: „Bücherverluste in der Spätantike“

- ([https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCcherverluste\\_in\\_der\\_Sp%C3%A4tantike](https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%BCcherverluste_in_der_Sp%C3%A4tantike) [12/2016]).
- 29 Einheitsübersetzung Bibelserver. (<https://www.bibleserver.com/text/EU/Markus16> [7/2017]).
  - 30 S. Hamel, 2002, S. 58, und Edson u. a., 2011, S. 62.
  - 31 Da sie mit ihren Füßen von Europa aus betrachtet nach „oben“ lebten, wurden sie Antipoden, „Gegenfüßler“ genannt.
  - 32 „Darum geht zu allen Völkern und macht alle Menschen zu meinen Jüngern“ (Matthäus 28,19), Einheitsübersetzung {o. mit *vom*, hier ohne} Bibelserver (<https://www.bibleserver.com/text/EU/Matth%C3%A4us28> [7/2017]).
  - 33 Beispielsweise durch den Augustinermönch Julius Schiller Anfang des 17. Jahrhunderts in seinem Sternatlas „Coelum Stellatum Christianum“ (1627 veröffentlicht).
  - 34 Gemeinfreie Abbildung. Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_de\\_Sacrobosco](https://de.wikipedia.org/wiki/Johannes_de_Sacrobosco) (2016).
  - 35 Peter Grabher, 2005, S. 22.
  - 36 Evident = unmittelbar einsichtig.
  - 37 Zitat aus: Roland Popp und Birgit Steib: „Albertus Magnus – der große Neugierige“, online unter: <http://www.spektrum.de/magazin/albertus-magnus-der-grosse-neugierige/830312> (2017).
  - 38 Ebenda.
  - 39 Zitiert aus: [http://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/de/encyclicals/documents/hf\\_jp-ii\\_enc\\_14091998\\_fides-et-ratio.html](http://w2.vatican.va/content/john-paul-ii/de/encyclicals/documents/hf_jp-ii_enc_14091998_fides-et-ratio.html) (2017).
  - 40 Quelle: [http://www.stjosef.at/dokumente/aeterni\\_patris.htm](http://www.stjosef.at/dokumente/aeterni_patris.htm) (2017).
  - 41 Der Terminus „Mittelalter“ wurde unterschiedlich verwendet. In der theologischen Geschichtsschreibung stand er für die Zeit zwischen der Erscheinung Christi und dem Ende aller Zeiten. Im Renaissance-Humanismus bezeichnete man so die Zeit zwischen der römischen Antike und der sich anbahnenden Erneuerung. Die Geschichtsschreibung der Reformation deklarierte das Mittelalter als Zeit zwischen der glorifizierten Urkirche und der Reformation. Siehe: Der große Ploetz, 1998, S. 355.
  - 42 Der ganze mittelalterliche Kosmos passte damaligen Vorstellungen zufolge locker zwischen Erde und Sonne!

- 43 Vorstellungen, die sich an die christliche „Engelslehre“ anlehnen, finden sich neben der kirchlichen Tradition noch in der esoterischen und theosophischen Literatur in vielen Varianten.
- 44 Der kosmologische Gottesbeweis überzeugt in dem Moment nicht mehr, in dem man sich bewusst macht, dass jede Kausalkette einmal abgebrochen werden muss. Der Beginn aller Kausalität in einer „creatio ex nihilo“, einer Schöpfung aus dem Nichts durch Gott, wäre nur dann ein echtes Entstehen von etwas aus nichts, wenn man Gott selbst seine Existenz absprechen würde. Davon kann wohl keine Rede sein. Damit hört für den Gläubige seine Kausalkette nur um einen höchst spekulativen Überbau über die materiell fassbare Kausalität später auf}{unklar, gemeint: hört für den Gläubigen ... auf als für den Natur-FS?} als der Naturforscher. Eben bei Gott, dessen Sein und Werden genauso gesetzt ist wie in der modernen Kosmologie der Beginn des Seins im Urknall.
- 45 Heute können uns historisch gesicherte astronomische Messungen dazu dienen, digitale Stellarien auf ihre Zuverlässigkeit zu überprüfen. Denn sie müssen beispielsweise die von Peurbach überlieferte Jupiterbedeckung durch den Mond am 9. August 1451 auch entsprechend darstellen. Das hier benutzte Stellarium besteht diese Prüfung!
- 46 Aus diesem Grund heißt der neunte Monat in unserem Kalender „September“, was übersetzt „der Siebte“ bedeutet. Entsprechendes gilt für Oktober, November und Dezember.
- 47 Diese Regel gilt nicht im Jahr 1600 und auf dieses Jahr folgend alle 400 Jahre, weshalb im Jahr 2000 ein Schalttag eingefügt wurde.
- 48 Joshua 10,7–14.
- 49 Kopernikus, Kapitel 6 in Meiner, Seite 103.
- 50 Kopernikus, Kapitel 7 in Meiner, Seite 113.
- 51 Ebenda.
- 52 Kopernikus, Kapitel 9 in Meiner, Seite 123, ebenso wie die folgenden Zitate.
- 53 Die Bestimmung der Umlaufzeiten von Mars, Jupiter und Saturn ist etwas komplizierter. Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 54 Ausführliche Herleitung siehe „Zusatzmaterialien“ auf meiner Homepage [ufaller.de](http://ufaller.de).

- 55 Im Hintergrund die Abbildung aus dem Faksimile der Druckausgabe von 1543, Quelle: <http://ads.harvard.edu/books/1543droc.book/> (2/2017).
- 56 Wir werden sehen, dass mit dem Verständnis der Planetenbewegungen durch Newton die Sonne wieder in Bewegung gerät und nicht ruht, da die Bewegungen jeweils um gemeinsame Schwerpunkte führen.
- 57 Etwas trickreicher muss man bei den relativen Abständen von Mars, Jupiter und Saturn vorgehen. Siehe Ergänzungen auf meiner Homepage: [www.ufaller.de](http://www.ufaller.de).
- 58 Auch Merkur und Venus durchwandern eine Oppositionsschleife während ihrer unteren Konjunktion, also in dem Bahnabschnitt, in dem sie, von der Erde aus gesehen, gegen die Bewegungsrichtung der Sonne an dieser vorbeiziehen. Allerdings lässt sie sich nur indirekt ermitteln, da sie in Sonnennähe, also tagsüber, beobachtet werden müsste.
- 59 Kopernikus, Kapitel 10 in Meiner, Seite 137.
- 60 Ebenda, S. 139.
- 61 Zitiert aus Jürgen Hamel, 2004, S. 183. Das „Wunder“, das, wie man sieht, in der Diskussion um den Heliozentrismus eine wichtige Rolle spielte, findet sich in Josua 10,10ff. Das göttliche Wunder ermöglichte Joshua, im Rahmen seines Eroberungsfeldzuges länger an seinen Feinden Rache zu üben: „Und die Sonne blieb stehen und der Mond stand still, bis das Volk an seinen Feinden Rache genommen hatte.“ (Einheitsübersetzung, [bibelserver.com](http://bibelserver.com)). Es erstaunt den Bibelkritiker, wie die „Wundererzählung“ von dem ethisch höchst fragwürdigen Kontext abstrahiert wird, aus dem es entstammt. Siehe hierzu Heinz-Werner Kubitza: „Der Glaubenswahn“.
- 62 Ebenda, S. 184.
- 63 Ebenda, S. 190. Tycho Brahe: Über die Kometen als Himmelskörper, 1577.
- 64 S. Paolo Rossi, 1997, S. 105.
- 65 Hamel 193.
- 66 Johannes Kepler, *Mysterium Cosmographicum*, das Weltgeheimnis, 1596.



- 67 Quelle der gemeinfreien Abbildung z. B. in Wikipedia, Stichwort Kepler (2018).
- 68 Kepler: *Harmonice Mundi*, 1619, zitiert aus: Werner Diederich, 2014, S. 123.
- 69 Johannes Kepler, *Neue Astronomie, ursächlich begründet oder Physik des Himmels*, 1609, zitiert aus: Jürgen Hamel, *Geschichte der Astronomie*, S. 202.
- 70 Johannes Kepler, *Neue Astronomie, ursächlich begründet oder Physik des Himmels*, 1609, zitiert aus: Jürgen Hamel, *Geschichte der Astronomie*, S. 202.
- 71 Galileo Galilei, *Saggiatore*, 1623, Abschnitt 6.
- 72 Hamel, *Geschichte der Astronomie*, S. 212
- 73 Quelle: [http://lhldigital.lindahall.org/cdm/ref/collection/astro\\_early/id/68](http://lhldigital.lindahall.org/cdm/ref/collection/astro_early/id/68) (2018).
- 74 Ebenda S. 213.
- 75 Ebenda S. 216.
- 76 Möglicherweise steht uns ein weiterer empirischer Quantensprung bevor, nachdem Anfang 2016 erstmals Gravitationswellen nachgewiesen werden konnten. Wenn man dieses „neue astronomische Sinnesorgan“ technisch weiter ausbaut, könnte man neben der elektromagnetischen Strahlung auch über das „Schwingen der Raumzeit“ das Weltall beobachten. Das zöge neue Erkenntnisse nach sich. Es bleibt also spannend.
- 77 Zitat aus dem Vortrag „Das Wort der Bibel und das Buch der Natur“ des Theologen Andreas Benk vom 20.09.2003. <https://www.youtube.com/watch?v=8oHRQAU5Xis> (2/2017).
- 78 Vortrag von Andreas Benk.
- 79 Ebenda.
- 80 Richard Schröder: Warum wurde Galilei verurteilt? *Humboldt-Spektrum* 1/2003.
- 81 Zitiert nach dem Vortrag von Andreas Benk.
- 82 Dieser Prozess ist ein vielschichtiges Verfahren, dessen Hintergründe und Bewertungen Bücher füllen. Ein wesentlicher Aspekt war der hier dargestellte.
- 83 [http://www.stjosef.at/dokumente/papst\\_galilei.htm](http://www.stjosef.at/dokumente/papst_galilei.htm) (3/2017).
- 84 Die Versuche werden ausführlich beschrieben in Wagenschein, 1988, S. 324ff. Zudem wird mit dem Trägheitsprinzip und der

- Erdrotation nicht nur verständlich, warum wir keine Ostwinde haben, sondern warum in mittleren Breiten Westwinde vorherrschen. Dafür ist der sogenannte „Coriolis-Effekt“ verantwortlich, dessen Verständnis zu einem schönen physikalischen Exkurs einlädt.
- 85 Unter dem Stichwort „anthropisches Prinzip“ lässt sich viel über diese Frage nachdenken. Eine auch populärwissenschaftlich bekannte Antwort lautet: Es gibt unzählige Universen mit allen nur möglichen Werten der Naturkonstanten. Nur in den Universen des Multiversums, in denen die Naturkonstanten Leben und Bewusstsein zulassen, gibt es unseresgleichen. Solche Vermutungen sind pure Spekulation. Bei einem guten Glas Rotwein sind sie natürlich erlaubt.
- 86 Wer eine relativ kurze und didaktisch hervorragende Darstellung der beiden Relativitätstheorien sucht, wird fündig bei: J. Bennett, M. Donahue, N. Schneider, M. Voit: *Astronomie, die kosmische Perspektive*. Herausgeber Harald Lesch.
- 87 Zitiert nach Paul Strathern, *Newton und die Schwerkraft*, S. 53.
- 88 Ebenda, S. 12.
- 89 Dr. Rudolf Wolf: *„Handbuch der Astronomie, ihrer Geschichte und Literatur“*, Zürich, 1892.
- 90 Siehe: Video hierzu auf meiner Homepage [ufaller.de](http://ufaller.de).
- 91 Der Winkel  $\delta$  betrug  $30^\circ$ . Es gilt:  $\tan(\delta)$ , daraus folgt:  $1\text{AE} = 22.000\text{km}/2 / \tan(15^\circ) = 150.000.000\text{ km}$ .
- 92 Der Jesuit George Coyne vom vatikanischen Observatorium begründet das Urteil mit folgenden Worten: „Giordano Bruno leugnete in gewisser Weise die Transzendenz Gottes; dass Gott, obwohl im Universum gegenwärtig, im Grunde Schöpfer des Universums und davon getrennt sei. Giordano stellte diese Trennung Gottes vom Universum in Frage. Deswegen wurde er verurteilt.“ Interview aus dem dänischen Film *„Kopernikanische Revolution und moderne Naturwissenschaft“* (<https://www.youtube.com/watch?v=QJqcmSIb32k>, 4/2017).
- 93 Nicolaus Kopernikus, 2006, S. 81.
- 94 Mit dieser Methode lässt sich allerdings nur die sogenannte Tangentialbewegung feststellen. Man kann aber auch die Radialbewe-

- gung messen und aus beiden Bewegungskomponenten die tatsächliche Bewegung eines Sternes berechnen (siehe weiter unten).
- 95 <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/hubble-team-breaks-cosmic-distance-record> (7/ 2018).
- 96 Quelle der Aufnahme: Isaac Roberts: [https://de.wikipedia.org/wiki/Andromedagalaxie#/media/File:Pic\\_iroberts1.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Andromedagalaxie#/media/File:Pic_iroberts1.jpg) (4/2018).
- 97 Die drei folgenden Zitate aus Edwin Hubble: „Das Reich der Nebel“, zitiert aus Jürgen Hamel: „Geschichte der Astronomie“ S. 326.
- 98 Simon Singh, Big Bang, S. 376.
- 99 Lawrence M. Krauss, Ein Universum aus Nichts ... und warum da trotzdem etwas ist, S. 23.
- 100 Hoyle hatte bei einem Besuch der Sowjetunion die Erfahrung gemacht, dass das Wort „Schöpfung“, das er gebrauchte, aufgrund der religiösen Wortwahl Ablehnung fand.
- 101 Simon Singh, Big Bang, S. 374.
- 102 S. Singh, S. 442.
- 103 Immanuel Kant, 2011, S. 132.
- 104 Ebenda, S. 130.
- 105 Siehe beispielsweise den berühmten Spielberg-Film von 1982.
- 106 Vielfach belegt ist, dass Eukaryoten dadurch entstanden, dass ein Prokaryot zunächst mit Zellatmung betreibenden Bakterien eine innere Symbiose eingegangen ist. Sie wurden so zu einem Zellorganell, dem Mitochondrium. Aus diesen Zellen entstanden neben Einzellern auch Pilz- und Tierzellen. Eine weitere Endosymbiose mit einer Fotosynthese betreibenden Blaualge ließ Pflanzenzellen entstehen.
- 107 Thomas Nagel: What is it like to be a bat? Reclam, 2016.
- 108 An dieser Stelle sei auf das nach dem deutschen Gegenwartsphilosophen benannte „Bieri-Trilemma“ hingewiesen. Es verdeutlicht die grundlegenden Probleme, die mit dem Verständnis von Bewusstsein verbunden sind. Siehe z. B. zum Stichwort in Wikipedia und Bieri 2007. Da es uns in diesem Kontext darum geht, über bewusste *Lebensformen* nachzudenken, bleibt es hier unberücksichtigt.

- 109 Eine ausführlichere und allgemein verständliche Diskussion dieser Frage findet sich in Plaxco, Groß: „Astrobiologie für Einsteiger“, S. 14f.
- 110 Siehe: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Cassini-Huygens/Sounds\\_of\\_an\\_alien\\_world](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens/Sounds_of_an_alien_world) (3/2016).
- 111 Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel ist eine Faustregel, wonach sich chemische Reaktionen bei einer Temperaturabnahme um 10 Kelvin halbieren bis vierteln.
- 112 Masseanteil in der Gesteinskruste in dieser Reihenfolge.
- 113 Hier kann eine einschlägigere chemische Diskussion dieses Themas nur angedeutet werden.
- 114 Gruithuisen, Franz von Paula: „Entdeckung vieler deutlichen Spuren der Mondbewohner, besonders eines collossalen Kunstgebäudes derselben“, Nürnberg, 1824.
- 115 Siehe Peter D. Ward und Donald Brownlee: „Unsere einsame Erde“, Springer, 2001.
- 116 In: „Das kopernikanische Prinzip und das Überleben der Menschheit“, Dr. Christoph Pöppe, <https://www.spektrum.de/magazin/das-kopernikanische-prinzip-und-das-ueberleben-der-menschheit/821107> (2018/07).
- 117 Eine didaktisch ausgezeichnete Darstellung findet sich z. B. bei H. Lesch (Hrsg.): Astronomie. Die kosmische Perspektive, Pearson Studium, 5/2010.
- 118 mya ist eine Abkürzung für „million years ago“. Auch wenn unsere Zeitvorstellung schon von einer Millionen Jahre überfordert ist, hilft dieses Zeitmaß, die Proportionen einigermaßen zu erfassen.
- 119 Siehe Lesch, 2010, S. 394ff.
- 120 Geringer als – 150 °C. Ab dort kondensiert aus dem verdichteten Nebel Wasser aus dem gasförmigen direkt in den festen Aggregatzustand. Im weiter innen liegenden Bereich geht Wasser z. T. Verbindungen mit anderen Elementen ein, z. T. wird es mit den Sonnenwinden in äußere Schichten des Sonnensystems verbracht.
- 121 Siehe: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/stromatolithen/64326>. Bilder dieser Stromatolithe finden sich bei Lesch, 2010, S. 1037.

- 122 Siehe z. B. <http://www.spektrum.de/news/meteorite-enthalten-un-geahnte-molekuelvielfalt/1022446> (4/2016).
- 123 Siehe das Kapitel „Ursuppe“ in: Plaxco, Astrobiologie, S. 75ff.
- 124 Der bisher älteste bekannte Vielzeller ist ein bis zu 30 cm langer Ur-Seetang und wird auf etwa 1,5 mya datiert. Siehe <http://www.spektrum.de/news/ur-seetang-ist-aeltester-bekannter-viel-zeller/1410569> (5/2016).
- 125 In Anlehnung an mya hier „million years“ in die Zukunft.
- 126 Die Angaben hierzu schwanken in der Literatur, sodass die Zahlen nur zeitliche Größenordnungen abschätzen.
- 127 Sollten bei masseärmeren Sternen Leben tragende Exoplaneten existieren, könnte dieser Zeitabschnitt erheblich länger andauern. Siehe unten.
- 128 ETI (Plural: ETIs) ist ein Akronym für ExtraTerrestrial Intelligence(s).
- 129 Sie lautet:  $N = R^* \times fp \times ne \times fl \times fi \times fc \times L$ . Hierbei gibt  $N$  die mögliche Anzahl der außerirdischen Zivilisationen in unserer Milchstraße an, die mit dem SETI-Projekt aufspürbar wären.  $R^*$  gibt an, wie viele für belebte Planeten geeignete Sonnen pro Jahr entstehen. Der Faktor  $fp$  begrenzt die Zahl der Sterne, die überhaupt Planeten,  $ne$  die, die erdähnliche Planeten in einem Abstand von ihrer Sonne besitzen, die flüssiges Wasser und damit Leben über längere Zeit ermöglichen, also von Gesteinsplaneten in der „habitablen Zone“. Der Faktor  $fl$  beschränkt das Ergebnis auf Welten, in denen der Funke des Lebens gezündet hat,  $fi$  auf die, die zudem intelligente Zivilisationen hervorgebracht haben, wobei  $fc$  diese wiederum einschränkt auf diejenigen, die für SETI erkennbar werden könnten.  $L$  gibt die Lebensdauer einer technischen Zivilisation an, genauer die Dauer ihrer durchschnittlichen Kommunikationsbereitschaft.
- 130 Die Konstruktion der Formel mit  $R^* (\dots) \times L$  macht das Ergebnis der Schätzung abhängig von der mutmaßlichen Existenzdauer z. B. der Exoerden oder der exoterrestrischen Zivilisationen.
- 131 Je größer die Masse, desto schneller verbraucht sich der Wasserstoffvorrat, da eine höhere Fusionsrate vonnöten ist, um der größeren Gravitation durch Gasdruck entgegenzuwirken, entsprechend hoch ist die Leuchtkraft dieser Sterne. So beträgt die Le-

- bensdauer eines Sternes mit zehnfacher Sonnenmasse nur etwa ein Tausendstel der unserer Sonne, also statt 10 Milliarden nur 10 Millionen Jahre – viel zu kurz, um Lebensräume zu ermöglichen. Allerdings entstehen sehr massereiche Sterne auch relativ selten. Umgekehrt leben masseärmere Sterne als unsere Sonne auch erheblich länger, mit 0,3 Sonnenmassen etwa 300 Milliarden Jahre. Entsprechend häufiger finden sie sich (siehe Lesch, S. 750).
- 132 Das ist etwa die Hälfte der Sonnensysteme. Ob diese tatsächlich kein Leben zulassen, wird wieder infrage gestellt. Siehe Spektrum Spezial: „Ferne Sterne und Planeten“, S. 57f.
- 133 Auf dieses faszinierende Gebiet der modernen Astronomie sei hier nur hingewiesen. Berichte aktueller Exoplaneten-Funde füllen die wissenschaftlichen Medien.
- 134 Die Hauptmission lief von 2009 bis 2013. Aus technischen Gründen können bis 2018 nur eingeschränkte Beobachtungen durchgeführt werden.
- 135 Die Zahl ergibt sich aus dem Verhältnis der Planeten und Sonnendurchmesser.
- 136 Zu den Zahlen siehe Dimitar Sasselow und Diana Valencia 2014.
- 137 Eine strittige Frage ist, ob Planeten um masseärmere Sterne habitabel sein könnten. Das Problem: Da diese Sterne entsprechend leuchtschwächer sind, liegt die habitable Zone, in der Wasser flüssig ist, entsprechend nah am Stern. Eine Exoerde würde in eine gebundene Rotation übergehen, also eine Seite immer ihrer Sonne zuwenden. Auf der ewigen Nachtseite würde es so kalt, dass hier die Atmosphäre ausfrieren würde, auf der Tagseite würde das Wasser verdampfen. Leben wäre so nicht möglich. Computermodelle scheinen dies allerdings zu widerlegen, sodass sie Hoffnungsträger bleiben können. Die durchschnittliche Lebenserwartung habitabler Planeten um masseärmere Sterne ist dabei erheblich höher. Es bleibt abzuwarten, was zukünftige Forschung zu masseärmeren Sternen zutage fördert. Siehe Comnis, S. 325.
- 138 Berechnung des mittleren Abstandes: Sie macht deutlich, wie je nach Ergebnis die durchschnittliche Entfernung zum nächsten Planeten vorzustellen ist, und kann nur Größenordnungen vermitteln. Berechnung wie folgt: Volumen der Milchstraße = 2 (das galaktische Zentrum wurde vernachlässigt, ly = Lichtjahre) mal

- Faktor 0,3, da die Milchstraße ungleichmäßig mit Sternen besetzt ist. Das Volumen wird durch die errechnete Planetenzahl geteilt und hieraus die Kubikwurzel gezogen, zuletzt grobe Rundung.
- 139 Ich gehe bei dieser Abschätzung von 200.000.000.000 Sternen in unserer Milchstraße aus. Offizielle Schätzungen schwanken zwischen 100 und 300 Milliarden.
- 140 Eine gute Darstellung dieser beiden Wege findet sich z. B. bei Kevin W. Plaxco und Michael Groß: „Astrobiologie für Einsteiger“, 2012.
- 141 Möglich wäre auch, dass ein interplanetarer Transport über herausgeschleuderte Gesteinsbrocken irdische Mikroben auf benachbarte Himmelskörper gebracht hätte. Dann allerdings wäre die Biochemie der unseren sehr ähnlich.
- 142 Achsenzeit nach Karl Jaspers.
- 143 Wir können nicht sicher sein, dass dies nicht auch geschehen ist. Vielleicht haben Nachfahren des Theropoden Troodon eine Naturvölkern gleichende Kultur hervorgebracht, sich aber nie zu einer technischen Zivilisation entwickelt. Dann wären sie mit den Sauriern untergegangen. Spuren hiervon wären verweht. Fossile Rohstoffe allerdings hat mit Sicherheit keine Spezies vorher ausgebeutet, sonst hätten wir sie nicht mehr vorgefunden.
- 144 Eine interessante Debatte zu diesem Thema findet sich bei <http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2015/01/26/koennten-aliens-unser-fernsehprogramm-empfangen/?all=1> (10/2017).
- 145 Die Aktion war denn auch als „Tagungs-Gag“ gedacht und wird nicht wirklich ernst genommen.
- 146 In der Drake-Gleichung  $f_c = 0,5$ .
- 147 Ein guter Artikel zur Zukunft des Universums findet sich auf dem Blog <http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2015/09/25/die-zukunft-des-universums/?all=1> 10 2017.
- 148 Juniaausgabe, 2017, S. 67f.
- 149 Ebenda.
- 150 Die Liste ist lang. Siehe z. B. <http://www.unmoralische.de/weltuntergang.htm> (10 2017).
- 151 John Brockman (Hrsg.): Was ist Ihre gefährlichste Idee, S. 185. Proco ist eine US-amerikanische Planetenforscherin, die sich u. a.

- um die Erforschung des Saturnmondes Enceladus einen Namen gemacht hat.
- 152 Ausführlicher finden sich diese und weitere Schöpfungsmythen auf folgender Webseite: <https://www.philognosie.net/spiritualitaet/schoepfungsmythen-ueber-die-entstehung-der-welt> (2016/06).
- 153 Siehe beispielsweise Ian G. Barbour: Naturwissenschaft trifft Religion.
- 154 „*Perché non possiamo essere cristiani*“, Longanesiverlag 2007. Das Buch ist (noch) nicht in einer deutschen Übersetzung erschienen.
- 155 <http://www.kath.net/news/43292> (6/2017).
- 156 Ebenda. Woran Benedikt XVI. bei den „Vernunft-Pathologien“ denkt, kann vermutet werden, wenn man sich den christlichen Begriff der Sünde verdeutlicht. So erfährt man im evangelischen Glaubenskurs „Den Glauben verstehen“, Berlin 2012 (S. 37), dass im biblischen Sinne der Begriff Sünde für eine Zerstörung der Beziehung zum (biblischen) Gott verstanden wird. Dies sei der Grund für die Erlösungsbedürftigkeit des Menschen und der Motor der christlichen Heilsgeschichte. Gerade die Genese der neuzeitlichen Kosmologie zeigt, dass diese den frommen Glauben an die christliche Gottestrinität nicht gerade fördert. Als Pathologie der Vernunft bezeichnet Benedikt XVI. in seinem Dialog mit Jürgen Habermas (Dialektik der Säkularisierung, S. 56) „die Atombombe“ und den „Menschen als Produkt“. Eine Atombombe lässt sich ohne naturwissenschaftliche Einsichten nicht bauen. Inwiefern aber der Bau oder der Einsatz von Atombomben ein Produkt vernünftigen Handelns ist, das einer Korrektur durch die Religion bedarf, bleibt dem Autor schleierhaft.
- 157 Die sehr empfehlenswerten Ausführungen Metzingers können online unter dem Titel „Spiritualität und intellektuelle Redlichkeit“ heruntergeladen werden. <http://www.blogs.uni-mainz.de/fb05philosophie/arbeitsbereiche/theoretische/thmetzinger/> (4/2015). Sein zunächst vielleicht polemisch wirkendes Urteil über die Theologie begründet Metzinger im folgenden Text.
- 158 <http://www.3sat.de/page/?source=/scobel/181059/index.html&cx=59> (Scobel-Sendung „Glaubenssache“ vom 26. März 2015 (Zugriff April 2015))
- 159 Spektrum der Wissenschaft, April 2006, S. 100 ff.



- 160 In seiner Regensburger Vorlesung drückte sich Papst Benedikt XVI. folgendermaßen aus: *„Für die Philosophie [...] ist das Hören auf die großen Erfahrungen und Einsichten der religiösen Tradition der Menschheit, besonders aber des christlichen Glaubens, eine Erkenntnisquelle, der sich zu verweigern eine unzulässige Verengung unseres Hörens und Antwortens wäre“* (Benedikt XVI.: Glaube und Vernunft).
- 161 Wenn man die scholastische Philosophie überhaupt mit der Philosophie im heutigen Sinne in Verbindung bringen möchte und sie nicht vielmehr als einen methodischen Aspekt der Theologie betrachtet.
- 162 Siehe Christian Trapp: „Vernunft und Glaube“, in: Spektrum der Wissenschaft, Januar 2012.
- 163 Bei unbefangenen Bibelstudium mit der Brille unseres an den Menschenrechten orientierten Wertesystems kann man am göttlichen Ursprung biblischer Texte sehr schnell Zweifel hegen. Ein Beispiel ist die für die Diskussion um die kopernikanische Wende wichtige Josua-Geschichte, die keinen Ausrutscher darstellt.
- 164 Heinz-Werner Kubitz: Der Dogmenwahn.
- 165 Christian Trapp, a.a.O.
- 166 Siehe Spektrum der Wissenschaft: Highlights 1/15 „Die größten Rätsel der Philosophie“, S. 11ff.
- 167 Scobel auf 3sat vom 1.12.2014. <http://www.3sat.de/page/?source=/scobel/179429/index.html> (01. 2015).
- 168 Gemeint ist, dass sie für die Fragen zuständig ist, „die nicht in eigene Wissenschaften ausgewandert sind“. Ebenda.
- 169 A.a.O. S. 11.
- 170 Precht: „Erkenne die Welt“, Seite 12.
- 171 A.a.O., S. 14.
- 172 Hier lehrt der begnadete Astronomie-Didaktiker und Fernsehmoderator Harald Lesch seit einigen Jahren als ‚Naturphilosoph‘. Seitdem tauchen religionsnahe Floskeln in seinen Ausführungen auf: wes Brot ich es, des Lied ich sing.
- 173 Alle Zitate aus dem Projekt Gutenberg: <http://www.gutenberg.org/files/29097/> (7/2017).
- 174 Siehe [https://www.uni-rostock.de/fileadmin/.../Tycho\\_Brahe/brahe\\_tycho\\_leben\\_2016.pdf](https://www.uni-rostock.de/fileadmin/.../Tycho_Brahe/brahe_tycho_leben_2016.pdf), 7/2017.

- 175 In seiner nachfolgend zitierten Rede heißt es: „*Kopernikus, den man mit vollem Recht einen zweiten Ptolemäus nennen könnte.*“ Aber: „*Zwar stellt er gewisse Behauptungen auf, die den physischen Grundsätzen widersprechen: dass die Sonne im Mittelpunkt der Welt ruhe, [...] aber trotzdem lässt er nichts zu, was vom Standpunkt der mathematischen Grundgesetze aus ungereimt wäre.*“ Hamel, Seite 187.
- 176 Alle Zitate aus Hamel, 2004, Seite 185ff.
- 177 Warum dies so ist, wird aus folgender Rechtfertigung aus dem Loblied deutlich: „*Es wird deshalb die göttliche Allmacht und Freiheit, die durch keine Ursache zweiter Ordnung gebunden sein kann, keineswegs beeinträchtigt. Obwohl nämlich Gott ein vollkommenes und freies Wesen ist, dass durch kein Naturgesetz gebunden ist, so will er doch die von ihm selbst gesetzte Ordnung nicht leichthin umstoßen, sondern sie lieber in festem und ewigem Bestand erhalten bis zum Ende der Welt. Da also Gott fast alles mittelbar tut, nicht weil er es nicht unmittelbar wirken könnte, sondern es scheinbar nicht will, so frage ich: was wäre es Gottloses zu versichern, dass er diese untere Welt zum großen Teil durch die obere leite und regiere? Jedoch so, dass die sekundären Ursachen von der primären, wenn es ihr beliebt, leicht geändert werden könnten.*“ Hamel, S. 189.
- 178 Das Foto findet man z. B. unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Pale\\_Blue\\_Dot#/media/File:Pale\\_Blue\\_Dot.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Pale_Blue_Dot#/media/File:Pale_Blue_Dot.png) (4/2018).
- 179 Vergleiche hierzu die Dissertation Mirko Lüttkes, 2012, Seite 215.
- 180 Zitat oben.
- 181 Es wäre eine spannende Studie, ob die gleiche Diagnose auch für andere Kulturtraditionen, wie beispielsweise die des östlichen Kulturraumes, in gleicher Weise zutrifft.
- 182 Man recherchiere im Internet einmal das Stichwort „Chronik verpasster Weltuntergänge“.
- 183 Da die Tiefenzeit durch geologische Forschungen ans Tageslicht kam, plädiert Stephen Gould dafür, sie als eigenständige Kränkung der kosmologischen zur Seite zu stellen. Doch wurde sie erst dadurch verifiziert, dass man mit Einsteins  $E=mc^2$  die irdische Tiefenzeit mit der kosmologischen in ein stimmiges Verhältnis brachte, da so auch unsere Sonne ein entsprechend hohes Alter zugeschrieben werden konnte. Untergliederungen, die oftmals bis

- zu neun verschiedene narzisstische Kränkungen ausmachen, sind also eine Frage der Perspektive. Folgende Zitate aus Stephen Gould, 1992, Seite 13 ff.
- 184 Gould, 1992, Seite 14.
- 185 Siehe oben.
- 186 Der Katechismus sei herangezogen, da er eine authentische Glaubensdarlegung der Mutter aller christlichen Kirchen darstellt. Die Nummern in Klammer geben die Absatznummerierung der zitierten Passage an.
- 187 NOMA, *Nonoverlapping Magisteria*, sich nicht überschneidende Lehrgebiete. Ein von Stephen Jay Gould (siehe Tiefenzeit) geprägter Ausdruck, der Religion und Naturwissenschaften unterschiedliche Lehrbereiche zuweist, wodurch sie nicht in Konflikt kämen. Dies ändert sich, wie schon diskutiert, wenn man der Naturwissenschaft an ihren methodischen Grenzen anstelle religiöser Glaubens-Setzungen eine wissenschaftsorientierte Philosophie zur Seite stellt, die ergebnisoffen und argumentativ geschult dort weiterdenkt, wo uns die Empirie im Stich lässt.
- 188 Dieses Problem verweist auf das sogenannte „Münchhausentriplemma“. Siehe hierzu die Ausführungen von M. Schmidt-Salomon: <http://www.schmidt-salomon.de/muench.htm> (7/2017).
- 189 Veröffentlicht in dem Buch: Hannes Bräutigam, 2015.
- 190 Bräutigam, Prolog.
- 191 Ebenda, S. 193ff..
- 192 Bräutigam, S. 234.
- 193 Ebenda, S. 235.
- 194 Diese Parallelen diskutiert Bräutigam ausführlich.
- 195 „Wegen des Menschen ist die Schöpfung der Vergänglichkeit unterworfen“ (Katechismus der Katholischen Kirche, 400).
- 196 Drewermann, 1991, S. 75.
- 197 Siehe hierzu die ausführliche Darstellung dieses Problems von Prof. G. Streminger: <http://www.gkpn.de/theodizee.html> (7/2017).
- 198 „Im Gespräch mit Gott darf ich auch protestieren“, heißt es hierzu lapidar im evangelischen Glaubenskurs, S. 42.
- 199 Amery, 1972, Seite 122.
- 200 Der Name stammt aus dem Hawaiischen und bedeutet „unermesslicher Himmel“. Siehe hierzu eine Visualisierung im YouTube-

- Kanal der naturwissenschaftlichen Fachzeitschrift „nature“: <https://www.youtube.com/watch?v=rENyyRwxpHo> (5/2016).
- 201 Der Text wurde in ein Filmprojekt verarbeitet, das man bei YouTube unter dem Stichwort „Pale Blue Dot“ findet. Den englischen Text findet man auf der englischen Wikipedia-Seite: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pale\\_Blue\\_Dot](https://en.wikipedia.org/wiki/Pale_Blue_Dot) (5/2016).
- 202 Zu ihnen gehörten das Trivium aus Grammatik, Rhetorik und Dialektik und das Quadrivium aus Arithmetik, Geometrie, Musik und Astronomie.
- 203 Nicolaus Copernicus: „Das neue Weltbild“. Übersetzt und herausgegeben von Hans Günter Zekl, Felix Meiner Verlag, 2006, Seite 81f.
- 204 Max Frisch „Homo Faber“, rororo, 1969, S. 17.
- 205 Ob die Orientierung an vermeintlich göttlich offenbarten Moralgeboten hierzu besser taugt, muss angesichts der Geschichte insbesondere der abrahamitischen Religionen bezweifelt werden. Eine ausführliche Analyse dieser Thematik findet sich in Andreas Edmüller: „Die Legende von der christlichen Moral – warum das Christentum moralisch orientierungslos ist“, Tectum Verlag, 2015.
- 206 Immanuel Kant, Beantwortung der Frage: Was ist Aufklärung. <http://gutenberg.spiegel.de/buch/-3505/1>.
- 207 Sieht man einmal davon ab, dass beispielsweise die Verdunklung eines Lichtjahre entfernten Sternes durch einen ihn begleitenden Planeten so gering ist, dass sie nur mit extrem präzisen Messinstrumenten unter günstigsten Beobachtungsbedingungen gemessen werden kann. Das Prinzip aber, dass ein Planet, der sich zwischen Messinstrument und Stern schiebt, eine geringfügige Verdunklung hervorruft, ist intuitiv verständlich.
- 208 Martin Wagenschein, „Naturphänomene sehen und verstehen“, Rettet die Phänomene, Klett 1988<sup>2</sup>, Seite 90ff. Hier finden sich viele „didaktische Perlen“ in unserem astronomischen Themenbereich, die wärmstens empfohlen seien.
- 209 Welche Gedankenblüten das theologische Ringen um die Vereinbarkeit von Glaube und Wissen treibt, wird in Heinz-Werner Kubitza's Buch „Der Dogmenwahn: Scheinprobleme der Theologie. Holzwege einer angemaßten Wissenschaft“ ausführlich dargestellt.

- 210 Richard David Precht: „Erkenne die Welt. Eine Geschichte der Philosophie“, Goldmann, 2015, S. 12.
- 211 Man denke beispielsweise daran, dass wir einen Großteil der Materie und Energie, die unser Universum ausmacht, zwar bemerken, aber nicht wissen, worum es sich hierbei handelt. Stichwort: Dunkle Energie, Dunkle Materie.

# Literaturverzeichnis

- Aczel, Amir D.: „Warum es intelligentes Leben im All geben muss“, Rowohlt, Hamburg, 2001.
- Aristoteles: „Über die Welt“, Reclam, Stuttgart, 2005.
- Balss, Heinrich: „Antike Astronomie aus griechischen und lateinischen Quellen, Übersetzung und Erläuterungen“, Heimeran, München, 1949.
- Barbour, Ian G.: „Naturwissenschaft trifft Religion, Gegner, Fremde, Partner“, Vandenhoeck & Ruprecht, 2010.
- Bellone, Enrico: „Galileo Galilei“ Spektrum Biografie, 1/2002.
- Berglar, Peter: „Wilhelm von Humboldt“, Rowohlt, Hamburg, 1985.
- Bergmeier, Rolf: „Schatten über Europa: Der Untergang der antiken Kultur“, Alibri, Arschaftenburg, 2011.
- Benedikt XVI.: „Glaube und Vernunft, die Regensburger Vorlesung“, Herder, 2006.
- Bieri, Peter (Hrsg.): „Analytische Philosophie des Geistes“, Beltz, 2007.
- Blumenberg, Hans: „Die Genesis der kopernikanischen Welt“, Suhrkamp, Bd. 1–3, 42007.
- Börner, Gerhard: „Das neue Bild des Universums – Quantentheorie, Kosmologie und ihre Bedeutung“, Pantheon, München, 2006.
- Bräutigam, Hannes: „Das Kreuz mit den Aliens, christologische Probleme angesichts der Möglichkeit extraterrestrischer Intelligenz“, Tectum-Verlag, 2015.
- Brandt, Hartwin: „Das Ende der Antike“, C.H. Beck, 2007<sup>3</sup>
- Bührke, Thomas: „Sternstunden der Astronomie von Kopernikus bis Oppenheimer“, Beck'sche Reihe, München, 2001.
- Carrier, Martin: „Nikolaus Kopernikus“, C.H. Beck, München, 2001.
- Cartier, Stephan: „Weltenbilder, eine Kulturgeschichte des Himmels“, Reclam, Leipzig, 2002.
- Comins, Neil F.: „Astronomie, eine Entdeckungsreise zu Sternen, Galaxien und was sonst noch im Kosmos ist“, Spektrum, 2009.
- Couper, Heather u. Higel, Henbest: „Die Geschichte der Astronomie“, Frederking & Thaler, München, 2007.
- Crombie, Alistair C.: „Von Augustinus bis Galilei. Die Emanzipation der Naturwissenschaft“, dtv Wissenschaftliche Reihe, München 1977.
- Diederich, Werner: „Der harmonische Aufbau der Welt. Keplers wissenschaftliches und spekulatives Werk“, Felix Meiner Verlag, 2014.

- Dinzelbacher, Peter: „Weltuntergangsphantasien und ihre Funktion in der europäischen Geschichte“, Alibri, Aschaffenburg, 2014.
- Drewermann, Eugen: „Der tödliche Fortschritt, von der Zerstörung der Erde und des Menschen im Erbe des Christentums“, Herder, Freiburg, 1991.
- Dürr, Hans-Peter: „Geist, Kosmos und Physik, Gedanken über die Einheit des Lebens“, Crotona Verlag, 2014.
- Edson, Evelyn, u. a.: „Der mittelalterliche Kosmos – Karten der christlichen und islamischen Welt“, Primus Verlag 2001.
- Einstein, Albert, und Infeld Leopold: „Die Evolution der Physik“. Rowohlt, Hamburg, 1968.
- Faller, Ulf: „Der Kruzifixstreit oder warum Schule säkular sein muss“, Tectum-Verlag, Marburg, 2014.
- Fischer, Ernst Peter: „Die andere Bildung – Was man über Naturwissenschaften wissen sollte“, Ullstein, Berlin, 2001.
- Flügel, Helmut W.: „Der Abgrund der Zeit, die Entwicklung der Geohistorik 1670 – 1830“ GNT-Verlag, Berlin 2004.
- Franzen, August: „Kleine Kirchengeschichte, Herder, 2011.
- Freely, John: „Platon in Bagdad“, Klett-Cotta, Stuttgart, 2012.
- Freistetter, Florian: „Die Neuentdeckung des Himmels – auf der Suche nach Leben im Universum“, Hanser Verlag München, 2014.
- Freud, Sigmund: „Eine Schwierigkeit der Psychoanalyse“, <http://www.gutenberg.org/files/29097/29097-8.txt> (7/2017).
- Gehlhar, Fritz: „Wie der Mensch seinen Kosmos schuf“, Aufbau Taschenbuch Verlag, 1996.
- Gerritzen, Daniel: „Erst-Kontakt, warum wir uns auf Außerirdische vorbereiten müssen“, Frankh-Kosmos Verlag, Stuttgart, 2016.
- Gould, Stephen Jay: „Die Entdeckung der Tiefenzeit“, dtv, München 1992.
- Goswami, Amit: „Das bewusste Universum“, Lüchow Verlag, 2007.
- Grabher, Peter: „Die Pariser Verurteilung von 1277“, Diplomarbeit, Universität Wien, September 2005. <http://sammelpunkt.philo.at:8080/archive/00001254/01/Grabher-1277.pdf> (2016).
- Grüter, Thomas: „Faszination Apokalypse – Mythen und Theorien vom Untergang der Welt“, Scherz Verlag, Frankfurt, 2011.
- Haber, Heinz: „Gefangen in Raum und Zeit“, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1975.
- Hägele, Peter: „Überlegungen zum anthropischen Prinzip“, Universität Ulm, [http://www.iguw.de/uploads/media/Haegel\\_P\\_Kosmos-Mensch-Anthropisches-Prinzip-1998\\_IGUW.doc](http://www.iguw.de/uploads/media/Haegel_P_Kosmos-Mensch-Anthropisches-Prinzip-1998_IGUW.doc)
- Hamel, Jürgen: „Astrologie – Tochter der Astronomie?“ Urania-Verlag, Berlin 1989.

- Hamel, Jürgen: „Geschichte der Astronomie in Texten von Hesiod bis Hubble“, Magnus Verlag, 2004.
- Hamel, Jürgen: „Geschichte der Astronomie“, Kosmos, 2002.
- Hamel, Jürgen: „Meilensteine der Astronomie von Aristoteles bis Hawking“, Kosmos, 2006.
- Hathaway, Nancy: „Wie alt ist die Sonne und wie weit weg sind die Sterne“, Bastei Lübbe, München, 1994.
- Hawking, Stephen: „Eine kurze Geschichte der Zeit“, Rowohlt, Hamburg, 1988.
- Hawking, Stephen: „Giganten des Wissens“, Verlagsgruppe Weltbild, Augsburg, 2006.
- Hawking, Stephen: „Die Illustrierte kurze Geschichte der Zeit“, Rowohlt, Hamburg, 2007.
- Helferich, Christoph: „Geschichte der Philosophie von den Anfängen bis zur Gegenwart und Östliches Denken“, dtv, München, 1998.
- Herrmann, Dieter B.: „Kosmische Weiten, Geschichte der Entfernungsmessung im Weltall“, Johann Ambrosius Barth Leipzig, 1977.
- Hoeppe, Götz (Redakteur): „Astronomie vor Galilei“, Spektrum der Wissenschaft Dossier, 4/2006.
- Honerkamp, Josef: „Wissenschaft und Weltbilder, wie Wissenschaft unser Leben prägt und wir uns letzten Fragen nähern“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015.
- Honerkamp, Josef: „Was können wir wissen? Mit Physik bis zur Grenze verlässlicher Erkenntnis“, Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, 2013.
- Hubble, Edwin: „Das Reich der Nebel“, online unter: [books.google.de](https://books.google.de) (12/2016)
- Hoyle, Fred, und Wickramasinghe, Chandra: „Leben aus dem All“, Zweitausendeins, Frankfurt, 2000.
- Humboldt, Wilhelm von: „Bildung des Menschen in Schule und Universität“, Quelle und Meyer Verlag, Heidelberg, 1964.
- Hoyle, Fred: „Kosmische Katastrophen und der Ursprung der Religion“, Insel Verlag, Frankfurt, 1997.
- Kanitscheider, Bernulf: „Kosmologie“, Reclam, 2002.
- Kanitscheider, Bernulf: „Entzauberte Welt: Über den Sinn des Lebens in uns selbst“, Hirzel Verlag Stuttgart, 2008.
- Kant, Immanuel: „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“, Verlag Tredition GmbH, Hamburg, 2011.
- Katholische Kirche: „Katechismus der Katholischen Kirche“, Neuübersetzung, Oldenbourg, St. Benno-Verlag, 2005.
- Kirchhoff, Jochen: „Kopernikus“, Rowohlt, Hamburg, 1985.
- Kopernikus, Nikolaus: „Das neue Weltbild“, übersetzt von Hans Günter Zekl, Felix Meiner Verlag, Hamburg 2006.



- Krauss, Sawrence M.: „Ein Universum aus Nichts ... und warum trotzdem etwas ist“, Knaus, München 2012.
- Krötke, Wolf und Sterzik, Sibylle: „Den Glauben verstehen“, Ein evangelischer Glaubenskurs in 50 Kapiteln.
- Kubitz, Heinz-Werner: „Der Glaubenswahn. Von den Anfängen des religiösen Extremismus im Alten Testament“, Tectum-Verlag, 2017.
- Kubitz, Heinz-Werner: Der Dogmenwahn: Scheinprobleme der Theologie. Holzwege einer angemaßten Wissenschaft. Tectum-Verlag, 2015.
- Küng, Hans: „Der Anfang aller Dinge, Naturwissenschaft und Religion“, Piper, München, 2008.
- Künzl, Ernst: „Himmelsgloben und Sternkarten, Astronomie und Astrologie in Vorzeit und Altertum“, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Theiss, Stuttgart 2005.
- Kuhn, Thomas S.: „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“, Suhrkamp, Frankfurt, 1967.
- Landesmuseum Natur und Mensch, Oldenburg: Ausstellungskatalog zu „Ex Oriente Lux? Wege zur neuzeitlichen Wissenschaft“, Philipp von Zabern Verlag, Mainz, 2009.
- Lesch, Harald (Herausgeber): „Astronomie, die kosmische Perspektive“, Pearson Studium, München, 2010.
- Lesch, Harald, Müller, Jörn: „Big Bang, zweiter Akt – auf den Spuren des Lebens im All“, C. Bertelsmann, München, 2003.
- Liessmann, Konrad P.: „Theorie der Unbildung“, Piper, München, 2014.
- Lischewski, Andreas: „Meilensteine der Pädagogik“, Kröner, Stuttgart, 2014.
- Lombardi, Anna Maria: „Johannes Kepler“, Spektrum Biografie, 4/2000.
- Lovell, Bernard: „Das unendliche Weltall. Geschichte der Kosmologie von der Antike bis zur Gegenwart“, C.H. Beck, München, 1983.
- Lüttke, Mirko: „Die Kränkung des Menschen, Die Naturwissenschaften und das Ende des antik-mittelalterlichen Weltbildes“, Königshausen und Neumann, Würzburg 2012.
- Paturi, Felix R.: „Harenberg Schüsseldaten Astronomie“, Harenberg Lexikon Verlag, 1996.
- Pichot, André: „Die Geburt der Wissenschaft von den Babyloniern zu den frühen Griechen“, Campus, Frankfurt, 1995.
- Plaxco, W. Kevin, und Groß, Michael: „Astrobiologie für Einsteiger“, Wiley-VCH, Weinheim 2012.
- Ploetz: Die Chronik der Weltgeschichte, Frankfurt am Main <sup>32</sup>1998.
- Precht, Richard David: „Erkenne die Welt – eine Geschichte der Philosophie I“, Goldmann, 2015.
- Precht, Richard David: „Erkenne dich selbst – eine Geschichte der Philosophie II“, Goldmann, 2017.

- Prinz, Friedrich: „Von Konstantin zu Karl dem Großen, Entfaltung und Wandel Europas“. Patmos Verlag 2000
- Mason, Stephen F.: „Geschichte der Naturwissenschaften“, Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, 1997.
- Mazal, Otto: „Die Sternenwelt des Mittelalters“, VMA-Verlag, Graz 2001.
- Meller, Harald: „Der geschmiedete Himmel“, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Theiss Verlag, Stuttgart, 2004.
- Metzinger, Thomas: „Spiritualität und intellektuelle Redlichkeit, ein Versuch“, Universität Mainz, [www.philosophie.uni-mainz.de/Dateien/Metzinger\\_SIR\\_2013.pdf](http://www.philosophie.uni-mainz.de/Dateien/Metzinger_SIR_2013.pdf)
- Möllers, Nina, u. a., Deutsches Museum: „Willkommen im Anthropozän, unsere Verantwortung für die Zukunft der Erde“, Deutsches Museum, München, 2014.
- Moore, Ben: „Elefanten im All“, Kein & Aber, Zürich Berlin, 2012.
- Munowitz, Michael: „Physik ohne Formeln – Alles, was man wissen muss“, Rowohlt, Hamburg, 2006.
- Nida-Rümelin, Julian: „Philosophie einer humanen Bildung“, Edition Körber-Stiftung, Hamburg, 2013.
- Nida-Rümelin, Julian: „Uns bleiben die unlösbaren Probleme“. Interview in Spektrum der Wissenschaft, Highlights, 1/2015.
- Nussbaumer, Harry: „Das Weltbild der Astronomie“, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2005.
- Reble, Albert: „Geschichte der Pädagogik“, Klett, Stuttgart, 1971.
- Rossi, Paolo: „Die Geburt der modernen Naturwissenschaft in Europa“, C.H. Beck, 1997.
- Rücker, Elisabeth: „Die Schedelsche Weltchronik“, Prestel-Verlag München, 1988.
- Russo, Lucio: „Die vergessene Revolution – oder die Wiedergeburt des antiken Wissens“, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- Sagan, Carl: „Blauer Punkt im All – unsere Heimat Universum“, Bechtermünz Verlag, München 1994.
- Sarnowsky, Jürgen: „Theoriesysteme im Wandel. Von der aristotelisch-scholastischen Theorie der Bewegung zur klassischen Physik und Astronomie“. Aus: Valk, Rüdiger (HRSg.): Ordnungsbildung und Erkenntnisprozesse, S. 21–32, Hamburg, University Press, 2006.
- Schäfer, Thomas: „Vom Sternenkult zur Astrologie“, Walter-Verlag, Solothurn, Düsseldorf, 1993.
- Schlag, Hannes E.: „Ein Tag zu viel“, Würzburg, 1998.
- Schmeidler, Felix: „Nikolaus Kopernikus“, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1970.
- Schroeder Wolfgang: „Praktische Astronomie für Sternfreunde“, Kosmos, Stuttgart, 1957.

- Seymour, P. A., und Becon, D. H.: „Das Ticken des Kosmos – Streifzüge durch die Ideengeschichte der Astronomie“, Spektrumverlag, Berlin/Heidelberg, 2004.
- Siefarth, Günter: „Geschichte der Raumfahrt“, C.H. Beck, München, 2001.
- Singh, Simon: „Big Bang Der Ursprung des Kosmos und die Erfindung der modernen Naturwissenschaft“, dtv, München, 2009.
- Simonyi, Károly: „Kulturgeschichte der Physik“, Verlag Harri Deutsch, Thun, Frankfurt am Main, 1990.
- Shea, William: „Nikolaus Kopernikus, der Begründer des modernen Weltbildes“, Spektrum der Wissenschaft, Biografie, 1/2003.
- Spektrum Spezial: „Ferne Sterne und Planeten“, Spektrumverlag, 2/2014
- Stewart, Ian: „Weltformeln. 17 mathematische Gleichungen, die Geschichte machten“, Rowohlt, Hamburg, 2014.
- Störig, Hans J.: „Kleine Weltgeschichte der Philosophie“, Fischer, Frankfurt, 1976.
- Störig, Hans J.: „Kleine Weltgeschichte der Wissenschaft“, Fischer, Frankfurt, 1970.
- Strathern, Paul: „Newton und die Schwerkraft“, Fischer, Frankfurt, 1997.
- Strathern, Paul: „Einstein und die Relativität“, Fischer, Frankfurt, 1997.
- Strathern, Paul: „Hawking und die schwarzen Löcher“, Fischer, Frankfurt, 1997.
- Strathern, Paul: „Galilei und das Sonnensystem“, Fischer Taschenbuch, Frankfurt, 1999.
- Vollmer, Gerhard: „Warum wird es nachts dunkel? Das Olbers'sche Paradoxon als wissenschaftliche Fallstudie“, in: Ebbinghausen, Vollmer (Hrsg.): „Denken unterwegs“. Edition Universitas, Hirzel, Stuttgart, 1992.
- Vollmer, Gerhard: „Die vierte bis siebte Kränkung des Menschen“. In: Biologie Heute, Nr. 400, 8/1992.
- Wabbel, Tobias D. (HRSG.): „S.E.T.I. Die Suche nach dem Außerirdischen“, Beustverlag, München, 2002.
- Wagenschein, Martin: „Naturphänomene sehen und verstehen, genetische Lehrgänge“, Klett, Stuttgart, 1988.
- Walter, Ulrich: „Außerirdische und Astronauten“, Spektrum Verlag, Berlin/Heidelberg, 2001.
- Ward, Peter, und Brownlee, Donald: „Unsere Einsame Erde. Warum komplexes Leben im Universum unwahrscheinlich ist“, Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- Wehr, Gerhard: „Giordano Bruno“, dtv, München 1999.
- Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): „Nikolaus Kopernikus, Revolutionär wider Willen“, Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Stuttgart, 1994.
- Zaun, Harald: „SETI. Die wissenschaftliche Suche nach außerirdischen Zivilisationen“, Heise Zeitschriftenverlag, Hannover, 2010.

## Abbildungen

Abbildung 14: [https://de.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_de\\_Sacrobosco#/media/File:Sacrobosco\\_sphaera1.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Johannes_de_Sacrobosco#/media/File:Sacrobosco_sphaera1.jpg) (11/2016), gemeinfrei.

Abbildung 15: [https://de.wikipedia.org/wiki/Geozentrisches\\_Weltbild#/media/File:Geocentric\\_universe\\_-\\_Hartmann\\_Schedel\\_-\\_Liber\\_chronicarum\\_mundi\\_-\\_1493.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Geozentrisches_Weltbild#/media/File:Geocentric_universe_-_Hartmann_Schedel_-_Liber_chronicarum_mundi_-_1493.png) (01/2017), gemeinfrei.

Abbildung 19 und 20, Hintergrund: [https://de.wikipedia.org/wiki/De\\_revolutionibus\\_orbium\\_coelestium#/media/File:De\\_Revolutionibus\\_manuscript\\_p9b.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/De_revolutionibus_orbium_coelestium#/media/File:De_Revolutionibus_manuscript_p9b.jpg) (11/2016), gemeinfrei.

Abbildung 26: [https://de.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_Kepler#/media/File:Kepler-solar-system-1.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler#/media/File:Kepler-solar-system-1.png) (01/2017), gemeinfrei.

Abbildung 29: [http://lhldigital.lindahall.org/cdm/ref/collection/astro\\_early/id/68](http://lhldigital.lindahall.org/cdm/ref/collection/astro_early/id/68) (08/2017), gemeinfrei.

Abbildung 44: Milchstraße im Hintergrund: [https://de.wikipedia.org/wiki/Milchstra%C3%9Fe\\_-\\_/media/File:Artist%27s\\_impression\\_of\\_the\\_Milky\\_Way\\_\(updated\\_-\\_annotated\).jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Milchstra%C3%9Fe_-_/media/File:Artist%27s_impression_of_the_Milky_Way_(updated_-_annotated).jpg) (09/2017) gemeinfrei.

Abbildung 46: [https://de.wikipedia.org/wiki/Pale\\_Blue\\_Dot#/media/File:Pale\\_Blue\\_Dot.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Pale_Blue_Dot#/media/File:Pale_Blue_Dot.png) (06/2017), gemeinfrei.

Abbildung 47: [https://de.wikipedia.org/wiki/Voyager\\_Golden\\_Record#/media/File:The\\_Sounds\\_of\\_Earth\\_-\\_GPN-2000-001976.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Voyager_Golden_Record#/media/File:The_Sounds_of_Earth_-_GPN-2000-001976.jpg) (06/2017), gemeinfrei.

Alle übrigen Abbildungen wurden vom Autor selbst angefertigt und können von seiner Homepage [ufaller.de](http://ufaller.de) heruntergeladen werden.

