

HARALD LESCH | JÖRN MÜLLER

Sterne

Buch

Harald Lesch und Jörn Müller nehmen den Leser mit auf eine spannende Reise zu den Sternen: Sie vermitteln einen interessanten Überblick über das Wesen der Sterne und beschreiben die vielfältigen Methoden der Forschung, ihren Geheimnissen auf die Spur zu kommen. Die Autoren stellen die wunderliche Welt von Überriesen und Weißen Zwergen, von Pulsaren, Doppel- und Neutronensternen vor. Sie wagen einen Ausblick auf die absehbare Entwicklung des der Erde nächsten Sterns, der Sonne, und vermitteln fernab jeden Horoskop-Humbugs komplexe astronomische Zusammenhänge auch für Laien verständlich. Präzise recherchiert, sachkundig und anschaulich geschrieben, mit zahlreichen Beispielen untermauert erschließt das Buch dem Leser die spannende Welt der Astronomie und gewährt ihm einen faszinierenden Blick hinter die Kulissen des Kosmos aus Abermillionen von Sternen. Mit ausführlichem Glossar, Formelsammlung und Stichwortregister.

Autoren

Harald Lesch ist Professor für Theoretische Astrophysik an der Universität München. Durch die Sendereihe »alpha-Centauri« bekannt geworden, moderiert er heute u.a. »Leschs Kosmos« im ZDF. Zusammen mit Jörn Müller verfasste er die Bücher »Kosmologie für Fußgänger«, »Big Bang, zweiter Akt« und »Kosmologie für helle Köpfe«. Für seine Verdienste um die Popularisierung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse wurde er vielfach ausgezeichnet.

Jörn Müller hat am Deutschen Elektronensynchrotron »DESY« auf dem Gebiet Festkörperphysik promoviert und ist am Institut für Astronomie und Astrophysik an der Universität München tätig. Zusammen mit Harald Lesch hat er mehrere Sachbücher zum Thema Kosmologie veröffentlicht.

HARALD LESCH
JÖRN MÜLLER

Sterne

Wie das Licht in die
Welt kommt

Bassermann

ISBN 978-3-8094-4634-7

1. Auflage

Genehmigte Sonderausgabe

© 2023 by Bassermann Verlag,

einem Unternehmen der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,
Neumarkter Straße 28, 81673 München

© der Originalausgabe 2008 by C. Bertelsmann Verlag,
einem Unternehmen der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,
Neumarkter Straße 28, 81673 München

Die Originalausgabe erschien unter dem Titel
Weißt du, wie viel Sterne stehen?

Jegliche Verwertung der Texte und Bilder, auch auszugsweise,
ist ohne die Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung,
da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf
deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.

Projektleitung dieser Ausgabe: Martha Sprenger
Umschlaggestaltung: Atelier Versen, Bad Aibling
Bildredaktion: Dietlinde Orendi
Satz: Uhl + Massopust, Aalen
Herstellung: Franziska Polenz



Penguin Random House Verlagsgruppe FSC® N001967

Druck und Bindung: Litotipografia Alcione Srl., Lavis, Trient, Italien

Printed in Italy

214010540209

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 9

Kapitel 1

Von der Astronomie zur Astrophysik 11
Einst... 14
... und heute 20

Kapitel 2

Alles nur Sterne, oder was? 25
Alles nur Bilder, oder was? 28
Alles nur Schein, oder was? 34

Kapitel 3

Ist das ein Stern? 39

Kapitel 4

Von Massen, Helligkeiten und anderen Größen 47
»Magnitudines« 53
Wahr oder nur scheinbar wahr? 56
Der Maßstab ist das Maß 59

Kapitel 5

Von Spektren und verschiedenen Klassen	62
Das wichtigste Diagramm der Astronomie	79

Kapitel 6

Die Geburt der Sterne	86
Von Wolken und dem Medium	
zwischen den Sternen	87
Kühlung tut not	93
Kraftspiele	98
Begriffliches	108
Phasen einer Geburt	110

Kapitel 7

Sternenalltag	125
Aus vier p entsteht He	128
Mit CNO geht's ebenso	136
Leicht lebt lang	139
Das Linienband	141
Balance auf hohem Niveau	143

Kapitel 8

Quo vadis, Stern?	145
Leichtgewichtsklasse: 1 Sonnenmasse	146
Von Ast zu Ast	149
Mittelgewichtsklasse: 3 bis 8 Sonnenmassen	165

Kapitel 9

Schwergewichtiges nach der Hauptreihe	174
Ein explosiver Abgang	180
Geht's auch anders?	185

Ein Neutronenstern unter der Lupe	187
Was macht einen Neutronenstern zu einem Pulsar?	190

Kapitel 10

Die Elementeküche	194
-------------------	-----

Kapitel 11

Große Metamorphose	202
Die Solisten	202
Doppelt gemoppelt	208
Versteckspiele	213
Eruptive Veränderliche	216
Supernovae des Typs II, Ib und Ic	217
Supernovae des Typs Ia	219
Novae und Zwergnovae	225
R-Corona-Borealis-Sterne	228

Kapitel 12

Was übrig bleibt	232
Planetaryische Nebel	232
Supernovaüberreste	234

Kapitel 13

Alles auf Anfang – die ersten Sterne	240
Sterngeburten im Computer	243
Was gibt es da zu sehen?	249
Der Hammer	253

Kapitel 14

Gedanken sind frei	256
--------------------	-----

Anhang

Formeln und Gleichungen	265
Glossar	275
Internetadressen	291
Literatur	294
Personen- und Sachregister	297
Bildnachweis	311

Vorwort

Um es gleich vorwegzunehmen: Dieses Buch hat mit Astrologie nichts zu tun! Auch wenn der Titel gewisse Hoffnungen wecken sollte, so werden wir, stur, wie wir sind, nicht vom geraden Weg der reinen Wissenschaft abweichen. Alle, die etwas anderes erwarten, sollten dieses Buch besser gleich gegen einen Mondkalender tauschen.

Doch denen, die sich einen Überblick verschaffen wollen über das Wesen der Sterne und die Vielfalt der Erscheinungsformen, kann das Buch eine kurzweilige Lektüre sein. Allerdings: Ein bisschen »Mitdenken« sollte schon sein. Zwar sind wir der Meinung, dass es gut ist, Wissenschaft unterhaltsam zu vermitteln. Doch Wissenschaft nur zur Unterhaltung – das klappt nicht. Wissen wird einem nicht geschenkt, man kommt um ein gewisses Maß an geistiger Anstrengung nicht herum. In diesem Sinne: »Per aspera ad astra«, wie die Lateiner sagen. Es fällt einem nichts in den Schoß!

Kapitel 1

Von der Astronomie zur Astrophysik

Der Himmel ist unser Guckloch auf die Bühne des Kosmos. Dort wird ganz großes Theater gespielt. Stücke von grenzenloser Erhabenheit, Wucht und Dramatik. Kant, der »Alte aus Königsberg«, hat einmal gesagt: »Zwei Dinge erfüllen das Gemüt mit zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht: der gestirnte Himmel über mir und das moralische Gesetz in mir.«

Versuchen wir zu verstehen, was den Philosophen Kant zu dieser Aussage bewegt hat. Das moralische Gesetz kann als eine objektive, rationale Regel begriffen werden, nach der sich der freie menschliche Wille vernünftigerweise zu richten bereit ist. Dabei verleiht der Begriff »Moral« dieser Regel erst ihren hohen Stellenwert. Salopp gesprochen ist Moral eine Art Gleitmittel zum Abbau sozialer Reibungen zwischen den Individuen. Sozialwissenschaftler würden es vermutlich anders ausdrücken. Vielleicht würden sie sagen: Moral ist ein Wertekanon, der in einer Gruppe von Individuen ein einvernehmliches Mit- und Nebeneinander möglich macht. In diesem Sinne setzt Moral ein Bewusstsein für »Gut« und »Böse« voraus. Man könnte daher sagen: Das moralische Gesetz ist das gefühlte innere Gewissen, das uns ermahnt: »Du sollst!« beziehungsweise »Du sollst nicht!«

Natürlich ist das moralische Empfinden individuell ausgeprägt. Die Bandbreite der Charakterzüge reicht vom Heiligen bis hin zum Verbrecher. Demnach bemisst sich der moralische Rang des Individuums daran, in welchem Umfang es sich seiner inneren Stimme verpflichtet fühlt. Ein isoliertes, nur sich selbst verantwortliches Wesen würde vermutlich auch ohne

Moral kaum in einen Gewissenskonflikt geraten, da sich Moral wohl erst in der Haltung gegenüber anderen zeigen kann. Doch innerhalb einer Gruppe, einer Population, ist ein gewisses Maß an Moral unverzichtbar. Dort bedarf es einer Leitlinie, einer Richtschnur, an der sich das individuelle Handeln wie auch das Verhalten gegenüber anderen orientieren kann. Damit Konfliktbewältigung funktioniert, muss der moralische Verhaltenskodex, das moralische Gesetz, nicht nur von allen Individuen akzeptiert sein, vielmehr müssen auch alle Individuen imstande sein, ihm Folge zu leisten. In dem ebenfalls von Kant formulierten Satz: »Handle stets so, dass die Maxime deines Handelns jederzeit als Prinzip einer allgemeinen Gesetzgebung gelten könne«, kommt das klar zum Ausdruck. Auf Erden ist der Mensch vermutlich das einzige Geschöpf, das eine gewisse innere Verpflichtung gegenüber seiner Umwelt verinnerlicht hat. Auf einen kurzen Nenner gebracht: Erst gelebte Moral macht den Homo sapiens zum Menschen.

Im Gegensatz zur Spezies Mensch kennt die Natur keine Moral. Manche sagen: »Die Natur ist grausam.« Aus der Perspektive eines vom Schicksal gebeutelten Individuums mag man dieser Ansicht zustimmen. Objektiv betrachtet erweist sich diese Meinung jedoch als falsch. In der Natur gelten andere Gesetze, keine moralischen, sondern eben Naturgesetze. An die Stelle der freien Entscheidung zwischen einem »Du sollst nicht!« und einem »Ich mache es trotzdem!« setzt die Natur ein kompromissloses »Du kannst nicht!« Jeder Versuch, sich dagegenzustemmen, muss scheitern. Die Natur kennt da keinen Spaß, aber – wiederum tröstlich – sie kennt auch keine Bosheit.

Verhaltensforscher haben mittlerweile auch im Tierreich, insbesondere bei den Primaten, Verhaltensweisen entdeckt, die man als eine Form von Moral deuten kann. Affen helfen sich manchmal gegenseitig. Doch ist das von ähnlicher Intensität wie beim Menschen? Handelt es sich dabei nicht lediglich um eine Art Instinkt, nach dem Motto: »Was dir hilft, hilft auch mir«? Bewusst gelebte Moral verlangt ein gewisses Maß an Selbstlosigkeit und setzt Selbstreflexion und insbesondere ei-

nen freien Willen voraus, sich so oder so zu entscheiden. Kann man das einem Schimpanse, dem uns am nächsten stehenden Primaten, zubilligen? Wir stellen das nicht in Abrede. Aber wir sehen doch einen deutlichen Unterschied. Vielleicht liegt es auch einfach daran, dass wir eben keine Affen und nicht in der Lage sind, die »Moral« dieser Gattung zu verstehen oder richtig zu deuten. Oder weil wir gar nicht bereit sind, anderen Lebewesen einen so hohen Entwicklungsstand zuzubilligen, der eine wie auch immer geartete Form von Moral einschließt. Man kann uns Menschen in dieser Hinsicht ja einen ausgeprägten Chauvinismus nicht absprechen. Wohin das führen kann, ist insbesondere am Umgang des Menschen mit seiner Umwelt zu beobachten. Wie auch immer: Gewisse Formen »animalischer« Moral sind nicht völlig auszuschließen.

Kann man sich ein moralisches Gesetz bei höher entwickelten Tieren noch vorstellen, so ginge es wohl zu weit, wollte man von ihnen auch eine gewisse Ehrfurcht beim Anblick des nächtlichen Sternenhimmels erwarten. Uns ist jedenfalls kein Fall bekannt, wo Primaten den Sternen gesteigerte Aufmerksamkeit entgegengebracht hätten beziehungsweise ihr Verhalten Anzeichen von Bewunderung erkennen ließ. Ganz anders beim Menschen. Was ihn auszeichnet, ist die Fähigkeit zu staunen. Auslöser dieser Befindlichkeit ist zumeist die Konfrontation mit etwas Unerwartetem, etwas Großartigem oder auch Verwunderlichem. Aber auch die Begegnung mit dem Unerklärlichen, dem Unverstandenen lässt Menschen ins Staunen geraten. Staunen heißt, sich des Besonderen bewusst zu werden. Der Romancier Theodor Fontane meint: »Staunen ist auch eine Kunst. Es gehört etwas dazu, Großes auch als groß zu begreifen.« Fast immer ist das Staunen mit intensiven Emotionen verknüpft: beispielsweise einem Gefühl der Bewunderung, des Respekts, der Verehrung. Oft ruft es aber auch Befremden oder Irritation hervor. Und nicht zuletzt folgt auf Staunen oft Neugierde. Das Unbekannte und Unbegreifliche soll zu Vertrautem und Erklärbarem werden. Schon Thomas von Aquin hat gesagt: »Das Staunen ist eine Sehnsucht nach

Wissen.« So gesehen sind Wissen und Erkenntnis das Ergebnis ursprünglichen Staunens und der daraus resultierenden Neugierde. Auf einen Nenner gebracht heißt das: Staunen ist die Triebfeder aller Wissenschaft. Niemand weiß, wann in der Geschichte erstmals einer unserer Vorfahren erstaunt den Blick zum Himmel gerichtet und sich Fragen gestellt hat wie: Was hat das da draußen zu bedeuten? Woher kommt das alles? Seitdem ist nichts mehr, wie es war. Der Blick »nach oben« und die Faszination, die davon ausgeht, haben nahezu alle Kulturen der Weltgeschichte in ihren Bann gezogen und bis heute nicht mehr losgelassen. Überspitzt ausgedrückt war diese erste gedankliche Auseinandersetzung mit dem Phänomen Himmel die Geburtsstunde der Astronomie.

Einst ...

Wie archäologische Funde zeigen, dürften sich bereits die Menschen der Steinzeit an den Strukturen des Himmels orientiert haben. Wie sonst ist es zu erklären, dass ihre Gräber bevorzugt nach bestimmten Himmelsrichtungen, vornehmlich nach Westen, ausgerichtet waren? Wandmalereien in der Höhle von Lascaux, in der Forscher heute die Plejaden und den Tierkreis zu erkennen glauben, deuten ebenfalls auf eine Beschäftigung mit den Sternen hin. Ab etwa 4000 v. Chr. waren es dann insbesondere die Ägypter und Babylonier im Orient, die Inder und Chinesen in Asien, die Mayas und Azteken in Südamerika sowie die Griechen in Europa, die sich sehr intensiv mit Astronomie befasst haben. So konnten die Babylonier die Positionen verschiedener Himmelskörper berechnen und deren Erscheinen vorhersagen. Sie waren auch die Ersten, die erkannten, dass der Morgen- und der Abendstern ein und dasselbe Objekt ist: die Venus. Bemerkenswert auch die schon um 2000 v. Chr. erstellten sehr genauen Mayakalender und die Tatsache, dass den Gelehrten dieser Kultur die Umlaufzeiten der Planeten bis auf eine Abweichung von nur wenigen Minuten genau bekannt waren.

Auch im frühen China war die Astronomie eine Wissenschaft von hohem Ansehen. Aus der Zeit um 3000 v. Chr. sind Aufzeichnungen und Beschreibungen von Kometen und Finsternissen überliefert. So waren die chinesischen Astronomen schon in der Lage, Sonnenfinsternisse vorauszuberechnen. Ihnen war bewusst, dass ein solches Ereignis immer nur bei Neumond stattfinden kann und dass die Mondbahn gegen die Umlaufbahn der Erde um die Sonne leicht geneigt ist. Derartige Berechnungen wurden mit besonderer Sorgfalt durchgeführt, denn die Hofastronomen mussten mit ihrem Leben bezahlen, wenn der Herrscher und sein Volk von einem derartigen Schauspiel überrascht wurden. Auch seltene, spektakuläre Himmelserscheinungen wie eine Supernova wurden als Besonderheit erkannt und als Besuch eines sogenannten »Gaststerns« in den Annalen vermerkt.

Bei den Ägyptern deutet die Ausrichtung der Pyramiden nach den Sternen auf ein intensives astronomisches Studium des Himmels hin. So unterteilte ihr Kalender das Jahr bereits in 365 Tage. Eine besondere Rolle spielte dabei der Stern Sirius. Der erste Tag, an dem dieser Himmelskörper kurz vor Sonnenaufgang am östlichen Horizont erschien, war für die Ägypter das Zeichen, dass nun die alljährliche Nilflut begann.

Auch im nördlichen Europa findet man Anzeichen einer Beschäftigung mit den Sternen. Das englische Stonehenge gibt davon ein eindrucksvolles Zeugnis. Vermutlich zwischen 2500 und 2000 v. Chr. erbaut, besteht diese Anlage aus mehreren konzentrischen Ringen riesiger, unbehauener Steinblöcke, sogenannten Megalithen. Einige dieser Steine sind nach den Positionen der Sonnenwende und Tagundnachtgleiche ausgerichtet. Man nimmt daher an, dass diese Anlage ein frühes Observatorium gewesen ist. In Griechenland und Kleinasien kann man den Beginn der beobachtenden Astronomie auf die Zeit um 3000 v. Chr. festlegen. Die Sonne, der Mond und der Wechsel der Jahreszeiten waren für die damaligen Naturphilosophen bereits Gegenstand intensiven Studiums. Dass das damalige Bild vom Kosmos jedoch noch sehr verschwommen war, darf nicht verwundern. So unterteilte Aristoteles im 4. Jahrhundert

v. Chr. das Universum in lediglich zwei Bereiche: in eine innere, sublunare Region, die von der im Zentrum stehenden Erde bis zur Umlaufbahn des Mondes reichen sollte, und in eine superlunare Region, von der Umlaufbahn des Mondes bis zu den kristallinen Sphären, an denen die Sterne beziehungsweise Planeten »angeheftet« sein mussten. Jenseits dieser Sphären war nach seiner Meinung nichts, nicht mal leerer Raum.

Doch das anfänglich noch verschwommene Bild gewann schnell an Kontur. Es hat nicht lange gedauert, bis aus dem damaligen griechischen Kulturraum hervorragende Denker und Philosophen hervorgingen, die nicht nur auf dem Gebiet der Astronomie bahnbrechende Entdeckungen machten. So kam es beispielsweise zur Entwicklung immer genauerer Verfahren zur Zeitmessung. Insbesondere der Bau von Sonnenuhren wurde mehr und mehr vervollkommen. Auch die Armillarsphäre, ein astronomisches Instrument zur exakten Winkel- und Koordinatenmessung und zur Darstellung der Bewegung von Himmelskörpern, geht auf die Griechen zurück. In Europa wurde die Armillarsphäre erst Mitte des 15. Jahrhunderts bekannt, dann aber bis zur Erfindung des Fernrohres um 1600 zum wichtigsten Instrument der damaligen Astronomie (Abb. 1). Auch auf dem Gebiet der Vorhersagen standen die griechischen Naturphilosophen den Chinesen in nichts nach: Im Jahr 585 v. Chr. sagte Thales von Milet für den 28. Mai eine Sonnenfinsternis vorher. Als dieses Ereignis dann tatsächlich eintrat, soll es die Menschen derart erschreckt haben, dass man eine Schlacht, die just zu diesem Zeitpunkt zwischen den Lydern und den Medern tobte, abbrach und spontan Frieden schloss.

Doch machen wir uns nichts vor! Die Beschäftigung mit den Objekten des Himmels hatte ihre Beweggründe zunächst nicht so sehr in der wissenschaftlichen Erforschung der Dinge, sondern entsprang vorwiegend religiösen Aspekten. Mystik und der Glaube an Götter und Dämonen spielten eine bedeutende Rolle im Leben der Menschen. Was sich am Himmel tat, wurde als Ausdruck ihrer Macht verstanden, und die Katastrophen auf Erden gaben Zeugnis ihrer übernatürlichen Stärke. Was lag



Abb. 1: Bis zur Erfindung des Fernrohres durch Galilei im Jahr 1610 gehörte die Armillarsphäre zu den wichtigsten Instrumenten in der Astronomie. Sie diente zur exakten Bestimmung von Winkeln und zur Darstellung der Bewegung von Himmelskörpern.

da näher als der Wunsch, die Götter und Dämonen gnädig zu stimmen und das persönliche Schicksal vorauszusehen? Die Beobachtung des Himmels zielte darauf ab, aus den Konstellationen der Sterne Regeln und Verhaltensweisen abzuleiten, die drohendes Unheil abwenden und Erfolg und Wohlergehen garantieren sollten. Astronomie war folglich auf das Engste mit Astrologie verwoben: Die Astronomie lieferte die rechnerischen Voraussetzungen, die Astrologie war für die Sinndeutung des Geschehens am Himmel zuständig. Mit Astronomie im heutigen Sinne hatte das oft nur am Rande zu tun. Rückblickend muss man das damalige Himmelsstudium daher als pseudowissenschaftlich bezeichnen.

Neben religiösen Motiven hatten die frühzeitlichen »Himmelswissenschaften« aber auch einen handfesten ökologischen und ökonomischen Aspekt. Denn war die Regelmäßigkeit der Vorgänge am Himmel erst einmal erkannt, so hatte man eine präzise Uhr zur Verfügung, anhand derer sich beispielsweise die Jahreszeiten festlegen ließen. Auch Kalender und Berechnungen zur Länge von Tag und Nacht wurden möglich. Für ein Volk, das, wie die Ägypter, Landwirtschaft betrieb, war der richtige Zeitpunkt für Aussaat und Ernte von großer Bedeutung. Auch die Bestimmung des Zeitpunktes, wann der Nil mit seinen Schlammfluten wieder für neuen, fruchtbaren Boden sorgen würde, gehörte zu den Hauptaufgaben der astronomisch gebildeten Priester. Nicht zuletzt ermöglichte die Kenntnis der Sternpositionen die Orientierung und sichere Navigation von Schiffen oder Karawanen in endlosen Weiten.

Wie schon erwähnt, hat sich das Bild im Lauf der Zeit gewandelt: weg vom Mythos und hin zum Logos. Berühmtes Beispiel antiker Forschung ist die Bestimmung des Erdumfangs durch Eratosthenes um 220 v. Chr. In dem Wissen, dass in Syene an einem bestimmten Tag das Licht der Sonne senkrecht in einen Brunnen fällt, maß er zur gleichen Zeit im rund 800 Kilometer entfernten Alexandria die Länge des Schattens eines in den Sand gesteckten Stabes und konnte so den Umfang der Erde berechnen: 40 000 Kilometer – in guter Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Wert. Auch der griechische Astronom Hipparchos, der um 150 v. Chr. auf Rhodos gelebt haben soll, gehörte zu den Ersten, die den Himmel, besser gesagt die Sterne, unter rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten betrachteten. Er katalogisierte über 1000 Sterne, indem er ihre genaue Position und Bewegung am Himmel erfasste. Seine mühevolle Arbeit erfuhr übrigens im August 1989 eine späte Würdigung: Die ESA (European Space Agency) startete einen Astrometriesatelliten mit der Aufgabe, die genaue Position von über 100 000 Sternen zu bestimmen. Zu Ehren dieses verdienstvollen Astronomen gab man ihm den Namen Hipparchos. Schließlich muss noch Ptolemäus erwähnt werden, der unter den griechischen

Denkern, die man guten Gewissens als Astronomen bezeichnen darf, einen besonders hohen Rang einnimmt. In seiner Abhandlung »Mathematikos syntaxeos biblia XIII« fasste er um 150 n. Chr. das gesamte astronomische Wissen seiner Zeit zusammen. Damit war ein Standardwerk geschaffen, das rund anderthalb Jahrtausende, bis ins 17. Jahrhundert hinein, als die astronomische Bibel schlechthin galt.

Was die griechischen Denker letztlich so erfolgreich werden ließ, war ein Paradigmenwechsel im Verständnis vom Wesen der Dinge. Man kam zu der Überzeugung, dass sich die Welt alleine durch rationale Argumente, ohne Zuhilfenahme von Göttern und mythischen Gestalten, beschreiben und verstehen lässt. Damit waren die Griechen die Ersten, die Astronomie streng rational und ohne kultischen Hintergrund betrieben. Auch wenn das damalige astronomische Wissen heute größtenteils als überholt und veraltet gilt und uns rückblickend einige Lehrsätze vielleicht sogar etwas naiv anmuten, so kann der Wissensstand der antiken Denker nicht hoch genug bewertet werden. Allein die Tatsache, dass die Ergebnisse ausschließlich durch Beobachtungen mit bloßem Auge gewonnen wurden, macht deutlich, wie begrenzt damals die Möglichkeiten zum Studium des Himmels waren. Solange sich viele unserer so aufgeklärten Zeitgenossen ratlos zeigen, wenn es darum geht, elementare astronomische Gesetzmäßigkeiten wie das Zustandekommen der Jahreszeiten oder der Mondphasen zu erklären, besteht kein Grund zur Überheblichkeit. Außerdem: Es kommt nicht so sehr darauf an, wie viel an Wissen man angehäuft hat, sondern was man damit macht.

Sprechen wir jetzt – endlich – über die Sterne. Mayakalender, vorhergesagte Sonnenfinsternisse und die genaue Bestimmung der Jahreszeiten, das sind zweifellos außergewöhnliche Leistungen der antiken Kulturen. Was aber den nächtlichen Himmel so einzigartig und faszinierend macht, das sind doch die Sterne! Sie wurden vornehmlich als helle, schon immer vorhandene und auf ewig existierende Punkte am Himmel wahrgenommen. Natürlich wurden ihre Positionen, ihr Erscheinen

und abermaliges Verschwinden auf und von der Himmelsbühne sorgfältig vermerkt. Hipparchos haben wir schon erwähnt, und auch Ptolemäus, der in seinen Aufzeichnungen einen umfangreichen Katalog von insgesamt 1024 Sternen hinterlassen hat. Doch das Wesen der Sterne, aus was sie bestehen, woraus sie sich zusammensetzen, das war selten Gegenstand von Untersuchungen. Allein von den Griechen weiß man, dass sie sich hinsichtlich des Sternaufbaus Gedanken gemacht haben. Ihre Astronomen waren überzeugt, dass die Sterne ihre Leuchtkraft aus irgendeiner Art von Feuer beziehen. Normales Kohlenfeuer kam nicht in Frage, da es für die großen Entfernung zu schwach schien. Man glaubte seine Helligkeit lediglich daraus erklären zu können, dass der ganze Stern aus glühendem Gestein bestünde.

... und heute

Die heutige Astronomie hat da ungleich mehr zu bieten. Vor allem auf dem Gebiet der Instrumente sind die Fortschritte gewaltig. Konnte man bis etwa 1600, als die ersten einfachen Linsenfernrohre zum Einsatz kamen, den Himmel nur mit bloßem Auge beobachten, so stehen heute Teleskope zur Verfügung, die Daten praktisch in allen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums liefern. Im Bereich des sichtbaren Lichts stehen das VLT (Very Large Telescope) in der Atacamawüste in Chile und die beiden Keck-Teleskope auf Hawaii an vorderster Front der Entwicklung. Das VLT besteht eigentlich aus vier zusammenschaltbaren Einzelteleskopen mit je 8,4 Meter Spiegeldurchmesser (Abb. 2). Die beiden Keck-Spiegel sind mit zehn Metern Durchmesser sogar noch etwas größer. Und natürlich darf man das Hubble-Weltraumteleskop nicht vergessen, das den Astronomen seit Jahren immer neue faszinierende Bilder liefert (Abb. 3).

Noch größer sind die Teleskope für den Radiowellenbereich. Das Arecibo-Teleskop in Puerto Rico, das zweitgrößte Radio-

teleskop der Welt, hat einen Spiegeldurchmesser von 304,8 Metern. Übertrffen wird es nur noch vom RATAN-Teleskop im Kaukasus mit rund 600 Metern Durchmesser. Da nimmt sich das deutsche Radioteleskop auf dem Effelsberg in der Eifel mit 100 Metern Spiegeldurchmesser fast bescheiden aus. Doch wenn es darum geht, möglichst scharfe Bilder zu erzeugen, sind viele zu einem großen Teleskop zusammenschaltbare Einzelteleskope von Vorteil. Das Very Large Array in New Mexico mit 27 Teleskopen zu je 25 Meter Spiegeldurchmesser ist ein gutes Beispiel.

Für Beobachtungen im Bereich der Infrarot- (IR) beziehungsweise der Röntgenstrahlung muss man die Teleskope im Weltraum stationieren, denn die Erdatmosphäre ist für IR-



Abb. 2: Das Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte (ESO) auf dem 2635 Meter hohen Cerro Paranal in der Atacamawüste im Norden Chiles ist eines der größten und leistungsfähigsten Spiegelteleskope der Welt. Die vier gleichartigen Teleskope, jedes mit einem Spiegeldurchmesser von 8,2 Metern, können sowohl einzeln benutzt werden als auch über entsprechende Strahlführungen zu einem einzigen Teleskop zusammengeschaltet werden.



Abb. 3: Im Jahr 1990 wurde das Hubble Space Telescope (HST) in eine erdnahe Umlaufbahn außerhalb der Erdatmosphäre gebracht. Seine volle Leistung erreichte es jedoch erst 1993, nachdem man in einer Reparaturmission die Abbildungsfehler des Hauptspiegels mit einer Korrekturlinse beseitigt hatte. Seitdem liefert das HST immer wieder spektakuläre Bilder aus den Tiefen des Kosmos.

und Röntgenstrahlung nahezu undurchlässig. Am begehrtesten sind gegenwärtig Beobachtungszeiten am Spitzer-Teleskop, einem Infrarotsatelliten, der seit August 2003 hinter der Erde um die Sonne läuft. Für Messungen im Röntgenbereich werden die Satelliten Chandra, XMM-Newton, Integral und Swift genutzt. Röntgenstrahlung entsteht vornehmlich dort, wo entweder extrem hohe Temperaturen herrschen, wie in der unmittelbaren Umgebung Schwarzer Löcher, oder wo ein massereicher Stern explodiert beziehungsweise zwei Neutronensterne zu einem Schwarzen Loch verschmelzen. Nicht zuletzt soll die Beobachtung der Röntgenstrahlenausbrüche bei jungen Sternen helfen, die Prozesse zur Sternentstehung besser zu verstehen.

Und dann gibt es da noch den Computer. Neben den der Beobachtung dienenden Instrumenten hat er sich zu einem der wichtigsten Hilfsmittel der theoretischen Astronomie gemacht. Mit ihm simulieren die Astronomen beispielsweise die Vorgänge bei der Entstehung von Sternen oder die Prozesse im Inneren explodierender Sterne. Dank seiner enormen Rechen-

kapazität kann man sogar die Kollision zweier Galaxien veranschaulichen oder die Strukturbildung im frühen Universum studieren.

Obwohl man mit modernen Beobachtungsinstrumenten bis fast an die Grenzen des uns zugänglichen Universums schauen kann, war und ist unsere Sonne noch immer das wichtigste Studienobjekt. Ihrer vergleichsweise geringen Entfernung zur Erde ist es zu verdanken, dass wir heute nicht nur über diesen unseren nächsten Stern, sondern über die Sterne insgesamt relativ gut Bescheid wissen. Sterne unterscheiden sich ja nicht nur hinsichtlich ihrer Entfernung zur Erde, das wäre ziemlich einfach. Nein, Sterne zeigen bezüglich ihrer Größe, ihrer Masse, ihrer Leuchtkraft, ihrer Temperatur und ihrer Entwicklungsgeschichte eine immense Variationsbreite. Sterne werden geboren, und sie sterben auch wieder. Es gibt junge und alte Sterne. Es gibt Kannibalen unter den Sternen und solche, die schon tot zu sein scheinen und dann doch noch zu einem neuen Leben mit furosem Ende erwachen. Es gibt Sterne, die vor Kraft, sprich Leuchtkraft, schier zu platzen scheinen, und andere – und das sind die meisten –, die sich daneben wie klägliche Funzeln ausnehmen. Die Vielfalt ist nahezu unüberschaubar, und immer noch werden neue Sterntypen entdeckt und neue Erkenntnisse gewonnen. Hinsichtlich seiner Artenvielfalt wird der Zoo der Sterne wohl nie vollständig zu erfassen sein.

Damit sind wir bei diesem Buch. Was erwartet uns in den folgenden Kapiteln? Die Anfangszeile des englischen Wiegenlieds »Twinkle twinkle little star, how I wonder what you are« soll als Motto dienen. Frei übersetzt heißt das: »Funkle nur, du kleiner Stern, was du bist, das wüsst' ich gern ...« Und genau auf das wollen wir hinaus! Was ist ein Stern, aus was besteht er, was lässt ihn leuchten? Und vor allem: Was sind die Charakteristika der verschiedenen Klassen, in die man die Sterne einteilt? Außerdem interessiert uns, welche Parameter die Sterne so unterschiedlich ausfallen lassen, warum einige so lange und andere so kurz leben. Warum verbergen viele ihren unspektakulären Tod fast schamhaft hinter prächtigen Nebelschleiern,

während sich einige wenige in einem letzten grandiosen Feuerwerk selbst vernichten? Fragen über Fragen. Auf viele hat die Astronomie mittlerweile eine Antwort gefunden, aber bei weit mehr steht noch immer Spekulation vor gesichertem Wissen. Gott hat uns die Nüsse geschenkt, aber knacken müssen wir sie leider selbst.

Auf alle Verästelungen zu den Theorien der Sterne werden wir in diesem Buch nicht eingehen. Doch wer sich bis zum letzten Kapitel »durchbeißt«, der hat zumindest einen Überblick gewonnen über das, was heute zum Standardwissen über Sterne gehört. Natürlich kommt immer Neues hinzu, und so ist dieses Buch auch nur eine Momentaufnahme unseres Wissens über die Sterne. Vermutlich wird sich manches in der Zukunft als falsch erweisen. Vermutlich werden wir auch immer wieder auf die Erkenntnis zurückgeworfen, dass wir eigentlich nichts wissen. Auch dem griechischen Philosophen Platon scheint diese menschliche Unzulänglichkeit nicht fremd gewesen zu sein. Vielleicht hat ihn ja das zu dem Ausspruch veranlasst: »Es ist keine Schande, nichts zu wissen, wohl aber, nichts lernen zu wollen.«

Kapitel 2

Alles nur Sterne, oder was?

Nun ist es an der Zeit, sich näher mit den Sternen zu befas- sen. Dazu zunächst eine Preisfrage: Was glauben Sie, wie viele Sterne es da draußen gibt? Bevor Sie jetzt anfangen zu raten, eines gleich vorweg: Wer behauptet, er wüsste die genaue Zahl, der flunkert gewaltig. Am besten fangen wir ganz klein an: Mit bloßem Auge, bei klarem Himmel und abseits der störenden Lichter der Stadt kann man etwa 4000 bis 6000 Sterne erken- nen. Das ist doch schon mal was, oder? Auf einer höheren Be- trachtungsebene ändert sich das Bild jedoch drastisch. Unsere Galaxis, die Milchstraße, zu der auch unser Sonnensystem ge- hört, beherbergt, neben viel Gas und Staub, rund 100 bis 200 Milliarden Sterne (Abb. 4). Diese Zahl ist schon so groß, dass einem die vielen Nullen vor den Augen zu flimmern beginnen. Aber noch sind wir nicht am Ende. Denn in dem uns zugäng- lichen Universum gibt es wiederum rund 100 Milliarden Galaxien (Abb. 5). Zählen wir alles zusammen, dann sind das ins- gesamt rund 10^{22} Sterne! Nach neuesten Schätzungen sollen es sogar rund siebenmal so viel sein. Das ist eine 7 mit 22 ange- hängten Nullen!

Es würde uns nicht wundern, wenn Sie jetzt den Kopf schüt- teln und erklären, Sie können sich diese Menge beim besten Willen nicht vorstellen. Seien Sie versichert, uns geht es ge- nau so. Vielleicht bekommt man aber eine ungefähre Ahnung von der Größe dieser Zahl, wenn man versucht, sie auszuspre- chen: 70 000 Milliarden Milliarden. Wenn man sich dann noch vergegenwärtigt, dass eine Milliarde 1000 Millionen sind, dann bekommt man vielleicht doch eine schwache Vorstellung von

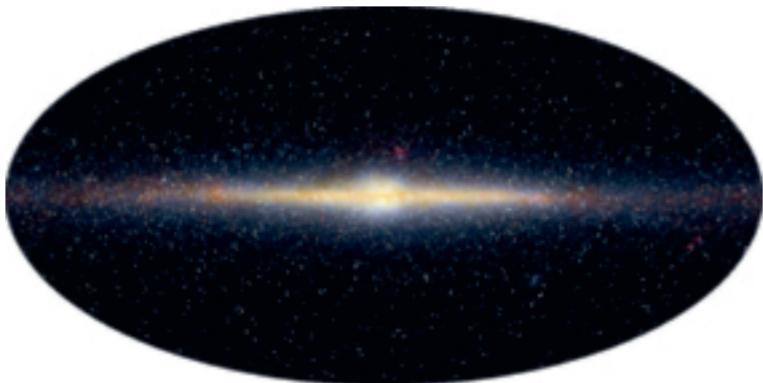


Abb. 4: Unsere Galaxis, die Milchstraße, ist eine Spiralgalaxie. Da unsere Sonne rund 250 Millionen Milliarden Kilometer vom Zentrum entfernt am Rande der Galaxienscheibe sitzt, fällt unser Blick parallel zur Scheibenbene auf das kugelförmige Zentrum. Die Spiralarme sind aus diesem Blickwinkel nicht zu erkennen. Die rund 200 Milliarden Sterne verschmelzen in dieser Infrarotaufnahme zu einem breiten Band, das sich beiderseits der zentralen Verdickung erstreckt.

dieser Menge. Versuchen wir unserem Vorstellungsvermögen noch mit einem anderen Beispiel auf die Beine zu helfen: Nehmen wir an, diese ungeheure Menge an Sternen würde gleichmäßig auf die 80 Millionen Bürger unseres Landes aufgeteilt, sodass jeder gleich viele Sterne hätte. Nehmen wir ferner an, alle »Sternbesitzer« würden zum gleichen Zeitpunkt mit dem Zählen ihres »Haufens« beginnen und pro Sekunde genau einen Stern nummerieren. Dann würde es immer noch rund 28 Millionen Jahre dauern, bis alle Sterne abgezählt wären.

Man kann sich natürlich fragen, wie vertrauenerweckend die Zahl 7×10^{22} ist. Es handelt sich ja um eine Abschätzung. Doch unter dem Begriff »Schätzung« darf man sich nicht das vorstellen, was das Wort vorgibt: nämlich eine grobe Daumen- peilung einiger Astronomen, vielleicht so nebenbei, nach einem flüchtigen Blick über den Himmel. Nein, diese Schätzung ist das Ergebnis jahrelanger intensiver Durchmusterungen des gesamten Himmels mit den modernsten und größten Teleskopen, über die die Astronomie gegenwärtig verfügt. Man muss je-



Abb. 5: Das »Hubble Ultra Deep Field« ist das tiefste jemals vom sichtbaren Universum aufgenommene Bild. Es zeigt rund 10 000 Galaxien, die schon kurz nach dem Urknall entstanden. Für diese Aufnahme war das Hubble Space Telescope etwa zwölf Tage lang, während es circa 400-mal die Erde umkreiste, ununterbrochen auf den gleichen Punkt am Himmel ausgerichtet.

doch zugestehen, dass sich die Fachleute bei dieser Zahl auch nicht in die Haare geraten, sollten es ein paar Milliarden mehr oder weniger sein.

Sind wir damit nun am Ende? Haben wir jetzt zumindest eine grobe Vorstellung von der Anzahl der Sterne im Universum? Wir müssen Sie leider enttäuschen und Ihnen sagen: Das war noch nicht alles, da kommt noch gewaltig was hinzu! Die Zahl von 7×10^{22} gibt nämlich nur die Menge der Sterne wieder, die im gesamten uns *zugänglichen* Universum zu finden

sind. Aber das uns zugängliche Universum umfasst sehr wahrscheinlich nur einen kleinen Bruchteil des *gesamten* Kosmos. Wie groß das Universum insgesamt, ob es vielleicht sogar unendlich ist und wie viele Sterne da noch versteckt sind, Sterne, die wir gar nicht sehen können, weil sie so weit entfernt sind, dass uns deren Licht noch nicht erreichen konnte, ist gegenwärtig pure Spekulation. Doch mit dem Spekulieren wollen wir jetzt lieber nicht anfangen, sonst wird uns noch gänzlich schwindlig. Stattdessen lieber eine Bemerkung Einsteins, als er noch darüber nachdachte, ob das Universum nicht doch unendlich sein könne. Er soll gesagt haben: »Zwei Dinge sind unendlich: das Universum und die menschliche Dummheit. Beim Universum bin ich mir jedoch noch nicht ganz sicher.«

Alles nur Bilder, oder was?

Von derartigen Zahlenspielen, wie wir sie soeben angestellt haben, waren die Menschen der Antike und des Mittelalters natürlich noch weit entfernt. Für sie zeigte sich der Himmel als ein zwar überschaubarer, aber nichtsdestoweniger verwirrender Flickenteppich unterschiedlichster Sternmuster. Was lag da näher als der Wunsch, in diesem Wirrwarr etwas Ordnung zu schaffen? Die Ersten, die Sterne zu Bildern zusammenfassten, waren vermutlich die Sumerer, die Babylonier und die Griechen um 3000 v. Chr. Auf ihren Karten verbanden sie die Sterne des Nordhimmels mit Linien vornehmlich zu Götter- und Heldengestalten aus ihrer jeweiligen Mythologie oder der Tierwelt. So entstanden beispielsweise die Sternbilder Andromeda, Herkules, Orion, Pegasus, Perseus, Phönix und Zentaur oder die Tierbilder Löwe, Krebs, Widder, Steinbock, Skorpion und andere mehr. Auf den Karten sieht das schön aus. Aber bei einem Blick an den nächtlichen Himmel, wo die Umrisslinien fehlen, braucht man teilweise schon sehr viel Phantasie, um dort Bilder zu erkennen (Abb. 6).

Die Sternbilder des Südhimmels wurden größtenteils erst

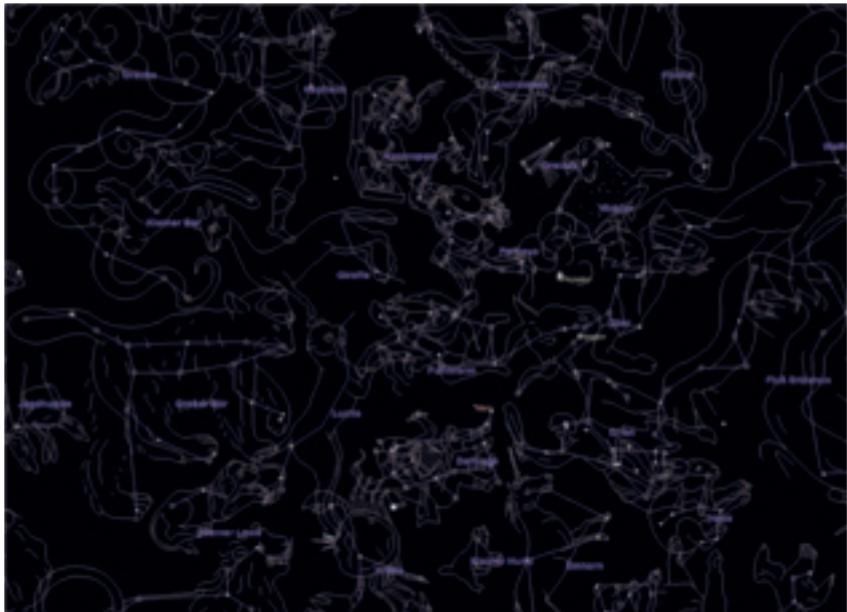


Abb. 6: Sternbilder am Osthimmel Ende Dezember. Die ausgezogenen Linien verbinden die Sterne zu Sternbildern. Die entsprechenden mythischen Figuren sind darübergelegt.

im 18. Jahrhundert bestimmt, als sich die Gelehrten der Alten Welt aufmachten, den Äquator zu überqueren. Die Astronomen Johann Bayer und Louis de Lacaille machten sich dabei besonders verdient, wobei der Franzose de Lacaille allein 14 neue Sternbilder einführte. An die Stelle der Mythologie traten jetzt die Zeichen der neuen Zeit. Das »Mikroskop«, das »Teleskop«, das »Messkreuz«, die »Uhr«, die »Luftpumpe«, das »Winkelmaß«, der »Kompass« und der »Zirkel« zeigen, wie stolz man damals auf die Errungenschaften der Technik war.

Mit der Zeit nahm jedoch das Erfinden von Sternbildern überhand. Mancher Hofastronom versuchte sich bei seiner Herrschaft beliebt zu machen, indem er die Zeichen ihrer Macht an den Himmel projizierte. Auf diese Weise gelangte beispielsweise das Wappen des Königs von Polen, Jan III. Sobieski (1674), als Scutum Sobiescii in die Sternkarten. Heute kennt man es als

das Sternbild Schild. Andere Bilder zeigten das Brandenburgische Zepter oder den königlichen Stier von Poniatowski, der im Jahr 1777 vom Abbé Poczobut zu Ehren des polnischen Königs Stanislaus Poniatowski eingeführt wurde. Und schließlich gab es noch eine Menge anderer Bilder, die sich teilweise sogar überschnitten, es jedoch nie in eine Sternkarte geschafft haben. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hat man diesem Treiben dann endgültig einen Riegel vorgeschoben. 1928 teilte ein internationales Gremium von Astronomen den Himmel in 88 offizielle Sternbilder auf. Seitdem hat sich da nichts mehr getan. Heute dienen die Bilder den Astronomen vornehmlich zur schnellen Orientierung am Himmel.

Auch auf die Gefahr hin, dass das jetzt den Blutdruck einiger Leser in die Höhe treibt, die mit Astrologie nichts am Hut haben, wollen wir kurz auf die wohl jedem bekannten zwölf Bilder des Tierkreises beziehungsweise die astrologischen Stern- oder Tierkreiszeichen zu sprechen kommen. Sie sind alle nach Sternbildern benannt, die auf der Ekliptik liegen, der Projektion der scheinbaren Bahn der Sonne an den Himmel. Man muss jedoch *Tierkreissternbilder* – kurz Sternbilder – und *Tierkreiszeichen* streng auseinanderhalten. Ein Sternbild ist eine zu einem Bild unterschiedlicher Ausdehnung zusammengefasste Gruppe von Sternen, die auf der Ekliptik unterschiedlich große Abschnitte einnehmen. Ein Tierkreiszeichen hingegen umfasst auf der Ekliptik einen Sektor von exakt 30 Grad. Außerdem durchläuft die Sonne auf ihrem Weg längs der Ekliptik neben den zwölf Sternbildern noch ein dreizehntes Bild, den Schlangenträger, während die zwölf Tierkreiszeichen den Ekliptikkreis bereits voll überdecken.

Gewöhnungsbedürftig ist auch die Angabe der jahreszeitlichen Position der Sonne am Himmel. Wenn es beispielsweise heißt: Die Sonne steht *im* Skorpion, so steht sie von der Erde aus gesehen *vor* diesem Sternbild. Am Tageshimmel ist es also nicht zu sehen, weil es von der Sonne überstrahlt wird, und nachts auch nicht, weil das Sternbild dann zusammen mit der Sonne unter dem Horizont liegt.

Aber es gibt noch einen anderen, gravierenden Unterschied zwischen Sternbildern und Tierkreiszeichen. Um das zu erklären, müssen wir ein bisschen ausholen. Wie Sie wissen, ist die Erdachse um etwa 23,5 Grad gegen die Ekliptik geneigt. Das ist übrigens der Grund dafür, dass es zu den vier Jahreszeiten kommt. Nicht neu ist auch, dass sich die Erde in fast 24 Stunden – genau in 23 Stunden, 56 Minuten und 4,1 Sekunden – einmal um ihre Achse dreht. Dabei wirken Zentrifugalkräfte, die am stärksten längs des Äquators an der Erdkruste zerren. Infolgedessen ist die Erde auch kein exakt kugelförmiger Planet, sondern hat einen ausgeprägten Wulst am Äquator. Durch diesen Wulst übt nun der Mond aufgrund seiner Schwerkraft ein Drehmoment auf die Erde aus und versucht so die geneigte Erdachse aufzurichten. Der »Kreisel Erde« re-

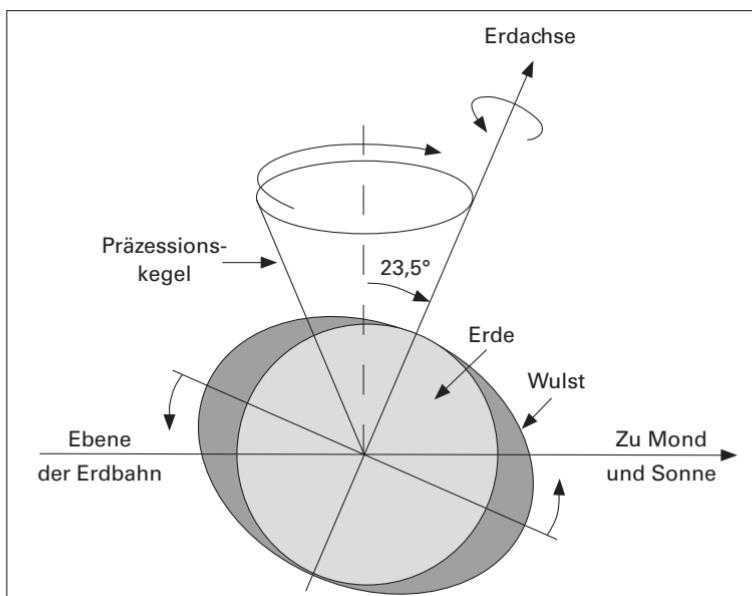


Abb. 7: Die Erdachse ist um 23,5 Grad gegen die Erdbahn um die Sonne geneigt. Da Sonne und Mond aufgrund ihrer Anziehungskraft ein Drehmoment auf die wulstartig verformte Erde ausüben und die Achse aufzurichten versuchen, reagiert die Erde wie ein Kreisel, wobei die Erdachse auf einem Kegelmantel umläuft. Ein solcher Umlauf dauert rund 26 000 Jahre.

agiert auf diese Störung, indem die Erdachse seitlich ausweicht. Würde man die Erdachse, beispielsweise am Nordpol, etwas über die Erdoberfläche hinaus verlängern, so würde die Spitze der Achse dann auf einem Kreis umlaufen. Man bezeichnet das auch als Präzession. Für einen vollen Umlauf benötigt die Erdachse rund 26 000 Jahre. Der Winkel der Erdachse gegen eine Senkrechte zur Ebene der Ekliptik bleibt dabei jedoch immer gleich. Was sich ändert, ist lediglich die Stellung der Erdachse im Raum (Abb. 7).

Stellen Sie sich jetzt vor, wir projizieren den Erdäquator an den Himmel und nennen diese Projektion Himmelsäquator. So wie die Erdachse gegen die Ekliptikebene geneigt ist, ist natürlich auch der Himmelsäquator gegen diese Ebene um 23,5 Grad gekippt. Das hat zur Folge, dass die eine Hälfte des Kreises, der den Himmelsäquator bildet, oberhalb, die andere unterhalb der Ekliptikebene verläuft. Zwangsläufig muss dabei der Himmelsäquator die Ekliptikebene an zwei Punkten durchstoßen. Diese beiden Punkte, die auf dem Himmelsäquator einander genau gegenüberstehen, bezeichnet man als den Frühlings- beziehungsweise Herbstpunkt. Läuft die Sonne auf ihrer scheinbaren Bahn um die Erde durch einen dieser Punkte, so sind Tag und Nacht gleich lang. Man bezeichnet diese Punkte daher auch als Äquinoxtialpunkte. In der Astrologie fällt das Tierkreiszeichen Widder mit dem Frühlingspunkt zusammen (Abb. 8).

Und jetzt kommt der springende Punkt! Als vor etwas mehr als 2000 Jahren die Sternbilder definiert wurden, deckten sich der Frühlingspunkt und damit das Tierkreiszeichen Widder mit dem Sternbild Widder. Heute ist das anders. Da der Erdäquator logischerweise fest mit der Erde verbunden ist, vollführen er und seine Projektion, der Himmelsäquator, die gleiche Präzessionsbewegung wie die Erdachse beziehungsweise die gesamte Erde. Dabei verschiebt sich natürlich auch der Frühlingspunkt längs der Ekliptik und damit die Tierkreiszeichen gegen die Sternbilder. Pro Jahr beträgt die Verschiebung rund 0,014 Grad. Und da seit der Einführung der Sternbilder mittlerweile mehr als 2000 Jahre vergangen sind, sind heute die