



Sun Kwok

# Unser Platz im Universum - II

Der wissenschaftliche Ansatz  
zur Entdeckung



Springer

## **Unser Platz im Universum - II**

Sun Kwok

# Unser Platz im Universum - II

Der wissenschaftliche Ansatz zur Entdeckung

Sun Kwok  
Department of Earth, Ocean, and  
Atmospheric Sciences  
University of British Columbia  
Vancouver, BC, Canada

ISBN 978-3-031-67562-1      ISBN 978-3-031-67563-8 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-67563-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Übersetzung der englischen Ausgabe: „Our Place in the Universe - II“ von Sun Kwok, © Springer Nature Switzerland AG 2021. Veröffentlicht durch Springer International Publishing. Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Buch ist eine Übersetzung des Originals in Englisch „Our Place in the Universe - II“ von Sun Kwok, publiziert durch Springer Nature Switzerland AG im Jahr 2021. Die Übersetzung erfolgte mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (maschinelle Übersetzung). Eine anschließende Überarbeitung im Satzbetrieb erfolgte vor allem in inhaltlicher Hinsicht, so dass sich das Buch stilistisch anders lesen wird als eine herkömmliche Übersetzung. Springer Nature arbeitet kontinuierlich an der Weiterentwicklung von Werkzeugen für die Produktion von Büchern und an den damit verbundenen Technologien zur Unterstützung der Autoren.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Nature Switzerland AG 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber\*in sind zu beachten.

Der Verlag, die Autor\*innen und die Herausgeber\*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor\*innen oder die Herausgeber\*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Ramon Khanna

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Nature Switzerland AG und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

# Vorwort

Dies ist der zweite Band des Buches *Unser Platz im Universum*. Der erste Band *Verständnis der grundlegenden Astronomie aus alten Entdeckungen* behandelt die Entwicklung der Astronomie von der Antike bis Newton. Das Buch nutzt die historische Entwicklung der Astronomie, um den Prozess des rationalen Denkens und seine Auswirkungen auf Philosophie, Religion und Gesellschaft zu veranschaulichen. Dieser Band folgt diesem Thema und diskutiert die Entwicklung der Astronomie nach Newton und die parallele Evolution von Ideen in Geologie und Biologie. Während die Auswirkungen der Wissenschaft auf die Technologie gut bekannt sind, werden die Auswirkungen der Wissenschaft auf unser Selbstbild und unsere Welt viel weniger geschätzt. Das Ziel dieses Buches ist es, zu demonstrieren, wie die Wissenschaft das intellektuelle Denken motivierte und einen großen Einfluss auf die soziale Entwicklung der Menschen im Laufe der Geschichte hatte. Insbesondere verwenden wir die Beispiele in der Entwicklung der Astronomie, um den Prozess der Wissenschaft zu veranschaulichen, und die Auswirkungen der Evolution in der Wissenschaft auf unsere Wahrnehmung des Universums und auf uns selbst.

In unserem Bildungssystem wird Wissenschaft oft als eine Reihe von Fakten präsentiert. In Wirklichkeit geht es bei der Wissenschaft um den Prozess des rationalen Denkens und der Kreativität. Was wir als Wahrheit betrachten, entwickelt sich ständig weiter und hat sich im Laufe der Menschheitsgeschichte sicherlich stark verändert. Das Wesen der Wissenschaft liegt nicht so sehr in der aktuellen Sicht auf unsere Welt, sondern darin, wie wir von einer Reihe von Ansichten zu einer anderen übergegangen sind. Dieses Buch handelt nicht vom Ergebnis, sondern vom Prozess.

Als Beispiel weiß jeder Schüler, dass die Erde sich um die Sonne dreht. Sie akzeptieren die heliozentrische Theorie als Tatsache, weil ihnen dies von einer Autorität gesagt wurde. In meiner Erfahrung konnte jedoch fast niemand ein einziges Stück direkter Beweise für die Erde, die sich um die Sonne dreht, zitieren. Wie wir in den Kap. 2 und 3 dieses Buches sehen werden, ist die direkte Bestätigung der heliozentrischen Theorie nicht trivial und kam erst zweihundert Jahre nach Copernicus. Die Tatsache, dass dies in unserem naturwissenschaftlichen

Unterricht nicht betont wird, ist in der Tat beunruhigend. Wir bitten unsere Schüler, bestimmte wissenschaftliche Tatsachen zu akzeptieren, ohne ihnen den mühsamen Prozess zu erklären, durch den wir zu dieser Schlussfolgerung gekommen sind. Das Ziel dieses Buches ist es zu zeigen, wie wir wissen.

Wissenschaft wird oft als „logisch“ dargestellt und die Entwicklung der Wissenschaft wird in Lehrbüchern als ein Erfolg nach dem anderen gelehrt. Die dargestellte Version der wissenschaftlichen Entwicklung ist oft eine bereinigte Version, in der nur Erfolge erwähnt werden. Tatsächlich gab es viele (jetzt vergessene) Misserfolge und Missverständnisse, die zu ihrer Zeit sehr beliebt waren. Als die richtigen Theorien auftauchten, wurden sie oft von den zeitgenössischen Autoritäten widerstanden, lächerlich gemacht oder ignoriert. Wenn wir uns solcher Kämpfe nicht bewusst sind, sind wir wahrscheinlich dazu verdammt, die gleichen Fehler zu wiederholen.

Einige könnten fragen: Warum Theorien lehren, von denen wir wissen, dass sie falsch sind? Die Tatsache ist, dass viele dieser Theorien zur damaligen Zeit als Wahrheit angesehen wurden. Nur indem wir den Entdeckungsprozess nachverfolgen, können wir verstehen, wie Wissenschaft funktioniert. Die Schüler werden in der Lage sein, aktuelle wissenschaftliche Theorien in einem kritischeren Licht zu sehen und Informationen, die uns heute von den Medien oder Behörden gegeben werden, objektiver zu bewerten. Für Wissenschaftler, wenn sie sich nicht über Fehler bewusst sind, die in der Vergangenheit gemacht wurden, könnten sie sich selbst dabei finden, ähnliche Fehler in ihrer aktuellen Forschung zu machen.

Dieses Buch basiert auf einem Kurs, der für das Common Core Programm der Universität von Hongkong (HKU) konzipiert wurde. Die HKU Common Core Kurse basieren nicht auf einer spezifischen Disziplin und sind darauf ausgelegt, den Studierenden zu helfen, breitere Perspektiven zu entwickeln und komplexe Probleme kritisch zu bewerten. Ich habe diesen Kurs entwickelt und von 2010 bis 2018 unterrichtet. Jedes Jahr bestand die Klasse aus etwa 120 Studierenden aus allen Fakultäten der Universität, einschließlich Architektur, Kunst, Wirtschaft und Ökonomie, Zahnmedizin, Bildung, Ingenieurwesen, Recht, Medizin, Naturwissenschaften und Sozialwissenschaften. Aufgrund der vielfältigen Hintergründe der Studierenden wurden keine mathematischen Ableitungen oder Berechnungen verwendet. Von den Studierenden wurde jedoch erwartet, dass sie qualitative Konzepte verstehen, geometrische Visualisierungen entwickeln und logische Schlussfolgerungen ziehen.

Am Ende jedes Kapitels gibt es einige Diskussionsthemen, die in Tutoriumssitzungen verwendet oder als AufsatztHEMAEN zugewiesen werden können. Diese Fragen sollen die Studierenden dazu anregen, über die Unterrichtsmaterialien hinaus zu denken und die Implikationen der behandelten Themen zu erforschen. Oft haben diese Fragen keine richtigen oder falschen Antworten und sind offen gestaltet, um kreatives Denken zu fördern.

Fachjargons sind große Hindernisse beim Lernen. In diesem Buch versuche ich, die Verwendung von Fachjargons so weit wie möglich zu minimieren und einige technische Begriffe werden durch einfache Wörter mit ähnlicher Bedeutung ersetzt. Einige Konzepte haben präzise Definitionen, und die Verwendung von

technischen Begriffen ist unvermeidlich. Alle Definitionen sind im Glossar zusammengestellt.

Für technisch versiertere Leser habe ich in diesem Buch einige optionale Mathematik- und Physikinhalte hinzugefügt, mit zusätzlichen Materialien, die in den Anhängen präsentiert werden. Nicht-mathematische Leser können diese Teile überspringen. Um den Fokus auf die Entwicklung von Konzepten zu legen, habe ich bestimmte Details bewusst weggelassen. Leser, die ein tieferes Verständnis bestimmter Themen wünschen, sollten die jeweiligen Lehrbücher konsultieren.

Jedes Jahr fragen mich Studenten, ob sie durch ihr fehlendes Vorwissen in Physik und Astronomie benachteiligt sein werden. Tatsächlich ist das Gegenteil der Fall. Studenten in den Naturwissenschaften werden alle modernen Konzepte beigebracht, haben aber oft nie gelernt, wie wir zu diesen Schlussfolgerungen gekommen sind. In diesem Buch versuchen wir, die historischen Schritte nachzuvollziehen, um herauszufinden, wie wir zu diesen Schlussfolgerungen gelangt sind.

Zusätzlich zu den Vorlesungen hatten wir wöchentliche Tutorien, Quizze, Aufgaben, Computerlaborübungen, eine Planetariumsshow und Prüfungen. Für die erste Hälfte des Kurses wurde eine Planetariumsshow entwickelt, um die Himmelsbewegungen zu veranschaulichen, die in verschiedenen Teilen der Welt und zu verschiedenen Zeiten in der Geschichte beobachtet wurden. Die Laborübungen basierten auf Computersoftware, die es den Studenten ermöglichte, aus erster Hand Erfahrungen mit der Betrachtung und Aufzeichnung von Daten aus simulierten Beobachtungen zu sammeln. Die Bewertungen wurden so gestaltet, dass sie testeten, ob die Studenten das Kursmaterial verstanden hatten, ob sie Material aus verschiedenen Teilen des Kurses verknüpfen konnten, ob sie einen gewissen Grad an Synthese erreicht hatten und ob sie das erworbene Wissen auf neue Situationen anwenden konnten.

Meine Hoffnung ist es, den Studierenden zu helfen, ihre Neugier zu entwickeln und das Vertrauen zu erlangen, Fragen zu stellen und Annahmen in Frage zu stellen. Moderne Universitätsstudierende sollten über unsere Welt informiert sein und wissen, wie die Natur funktioniert. Aus der historischen Entwicklung der Wissenschaft erhoffe ich mir, dass die Studierenden lernen, analytisch und quantitativ zu denken, einen offenen Geist zu bewahren und unabhängig von der öffentlichen Meinung zu bleiben. Sie sollten in der Lage sein, rationale Urteile über die komplizierten Probleme zu fällen, mit denen die Gesellschaft heute konfrontiert ist, und über die in der Gesellschaft vorherrschende Ignoranz und Vorurteile hinwegzukommen. Diese Ideen spiegeln sich in meinem Artikel „Wissenschaftliche Bildung im 21. Jahrhundert“ wider, der in *Nature Astronomy*, Vol. 2, S. 530–533 (2018) veröffentlicht wurde.

Für Dozenten können die beiden Bücher *Unser Platz im Universum: Grundlegende Astronomie durch antike Entdeckungen verstehen* und *Unser Platz im Universum: Der wissenschaftliche Ansatz zur Entdeckung* als Lehrbücher für zwei einsemestrige Allgemeinbildungskurse dienen. Der erste Kurs kann unabhängig unterrichtet werden, aber es ist ratsam, dass die Studenten den ersten Kurs belegen, bevor sie den zweiten Kurs belegen.

In den späteren Kapiteln dieses Buches habe ich einige neuere Forschungsergebnisse in der Astrobiologie aufgenommen. Ich habe das Privileg, in diesen aufregenden Zeiten zur Forschung in diesem Bereich beigetragen zu haben. Ich bin auch dankbar für die Möglichkeit, mit vielen zeitgenössischen Pionieren in diesem Bereich zusammenzuarbeiten und von ihnen zu lernen. Ich möchte ihnen meine aufrichtige Wertschätzung ausdrücken, obwohl viele ihrer Namen in diesem Buch nicht speziell erwähnt werden.

Während der acht Jahre, in denen ich den Kurs unterrichtete und als Dekan der Naturwissenschaften tätig war, wurde ich fähig von den Dozenten/Instruktoren Tim Wotherspoon, Jason Pun, Anisia Tang und Sze Leung Cheung unterstützt. Ich danke Gray Kochhar-Lindgren, dem Direktor des HKU Common Core Programms, für seine unerschütterliche Unterstützung.

Bruce Hrivnak und Anisia Tang haben hilfreiche Kommentare zu einem früheren Entwurf geliefert. Ich danke Ramon Khanna, meinem Lektor bei Springer, dafür, dass er mich ermutigt hat, dieses Buch zu veröffentlichen. Clara Wang hat viele der Illustrationen in diesem Buch geschickt gezeichnet. Joachim Köppen übernahm die Durchsicht der deutschen Übersetzung.

Ich wurde erstmals im zweiten Jahr meines Bachelorstudiums an der McMaster University auf das Thema der Wissenschaftsgeschichte aufmerksam, wo Prof. Bertram Brockhouse (Nobelpreis für Physik, 1994) mich in das Thema einführte. Sein Unterricht ließ mich erkennen, dass Physik mehr als nur mechanische Berechnungen ist; es ist ein Fach mit philosophischen und sozialen Implikationen.

Vancouver, BC, Kanada

Sun Kwok

# Prolog

天地玄黃，宇宙洪荒。日月盈昃，辰宿列張。

寒來暑往，秋收冬藏。閏餘成歲，律呂調陽。

千字文 周興嗣

Am Anfang gab es den schwarzen Himmel und die gelbe Erde. Das Universum war weit und ohne Grenzen. Die Sonne geht auf und unter, der Mond durchläuft Phasen und die Sterne verteilen sich über unterschiedliche Konstellationen am Himmel. Die warmen und kalten Jahreszeiten kommen und gehen, während wir im Herbst ernten und unser Getreide für den Winter lagern. Ein Jahr besteht aus einer ungeraden Anzahl von Monaten und die Harmonie der Musik regiert das Universum.

Die ersten acht Verse aus dem *Tausend Zeichen Aufsatz* von Zhou Xing Si (470–521 n. Chr.), übersetzt aus dem Chinesischen.

Zhou, ein Beamter am Hof der Liang-Dynastie, wurde vom Kaiser Wu 梁武帝 (regierte 502–549 n. Chr.) gebeten, einen Satz von 1.000 Zeichen in einen Aufsatz für die Bildung der jungen Prinzen zu arrangieren. Er verfasste einen gereimten Aufsatz aus 250 Vier-Zeichen-Versen, bei denen jedes Zeichen nur einmal verwendet wurde. Vom sechsten Jahrhundert bis zum frühen zwanzigsten Jahrhundert wurde dieser Aufsatz häufig als Grundtext verwendet, um jungen Kindern die chinesischen Zeichen beizubringen.

Der Aufsatz beginnt mit acht Versen, die den Wunsch der Menschen ausdrücken, das Universum zu verstehen und ihre Wertschätzung für die geordneten Bewegungen der Himmelskörper zum Ausdruck bringen. Wie Zhou es beschreibt, erkennen die Menschen auch, dass Beobachtungen der Sonne, des Mondes und der Sterne zur Entwicklung von Kalendern geführt haben und dass die Struktur des Universums durch theoretische Modelle verstanden werden kann.

Diese Verse veranschaulichen das Streben nach Wissen über unseren Platz im Universum, das von allen alten Kulturen geteilt wird. Durch unermüdliche Beobachtungen erfuhren unsere Vorfahren auf verschiedenen Kontinenten das Verhalten der Sonne, des Mondes, der Planeten und der Sterne. Sie waren sich bewusst, dass diese Muster regelmäßig, aber keineswegs einfach waren. Obwohl die gesammelten Daten in den Kulturen ähnlich waren, unterschieden sich die

Interpretationen der himmlischen Muster. Diese Interpretationen wurden in soziale, religiöse und philosophische Strukturen eingebunden. Im Laufe der Geschichte führte die Entwicklung unserer Modelle des Universums zu Veränderungen in diesen Strukturen. Dieses Buch ist ein Versuch, die Geschichte der Entwicklung der Astronomie über zwei Jahrtausende und ihre Auswirkungen auf unsere Gesellschaft zu erzählen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Von Copernicus zur Aufklärung</b>	1
1.1	Eine kugelförmige Erde . . . . .	3
1.2	Die ersten kosmologischen Modelle . . . . .	4
1.3	Ungleichförmige Bewegungen von Sonne und Planeten. . . . .	7
1.4	Das kopernikanische Modell . . . . .	10
1.5	Unveränderlichkeit des Himmels . . . . .	11
1.6	Ein physisches Universum . . . . .	11
1.7	Soziale Auswirkungen des Modells der Nachrenaissance vom Universum . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Empirische Beweise für das heliozentrische Modell</b> . . . . .	17
2.1	Empirische Beweise für die Rotation der Erde . . . . .	19
2.2	Endliche Lichtgeschwindigkeit . . . . .	22
2.3	Suche nach empirischen Beweisen dafür, dass die Erde sich um die Sonne dreht. . . . .	24
2.4	Verschiebung der Sternposition als Ergebnis der Orbitalbewegung der Erde . . . . .	27
2.5	Der dritte Beweis für die Revolution der Erde um die Sonne . . . . .	28
2.6	Eine lange Reise von der Theorie zur Bestätigung . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Auflösung der theoretischen Einwände gegen die heliozentrische Theorie</b> . . . . .	31
3.1	Das Konzept der Trägheit . . . . .	32
3.2	Warum fühlen wir nicht, dass wir uns um die Sonne bewegen? . . . . .	33
3.3	Warum fühlen wir nicht die Rotation der Erde? . . . . .	35
3.4	Evolution zu einem wahren heliozentrischen Modell . . . . .	35
3.5	Künstliche Satelliten und interplanetare Reisen . . . . .	37
3.6	Endgültige Bestätigung von Copernicus . . . . .	39
3.7	Ein Wendepunkt in unserer Sicht auf das Universum . . . . .	40

<b>4</b>	<b>Größe des Sonnensystems</b>	43
4.1	Wie schnell dreht sich der Himmel?	44
4.2	Keine weiteren Lichtpunkte	45
4.3	Wie weit sind die Planeten entfernt?	46
4.4	Wie weit entfernt ist die Sonne?	49
4.5	Ein sich wandelndes Verständnis der Größe des Sonnensystems	50
<b>5</b>	<b>Himmelsnavigation und Erforschung des Himmels</b>	53
5.1	Das Längenproblem	57
5.2	Sterne bewegen sich	60
5.3	Das Sonnensystem bewegt sich	61
5.4	Unerwartete Dividenden	62
5.5	Kosmologische Implikationen	64
<b>6</b>	<b>Neue Mitglieder des Sonnensystems</b>	65
6.1	Der Ursprung der Kometen	66
6.2	Entdeckung des Uranus	69
6.3	Vorhersage von Neptun	71
6.4	Suche nach Vulkan	72
6.5	Suche nach Planet X	74
6.6	Lektion zum Lernen	74
<b>7</b>	<b>Ist die Sonne ein Stern?</b>	77
7.1	Helligkeitsabfall mit der Entfernung	78
7.2	Entfernung zu Sternen	78
7.3	Sind alle Sterne gleich?	80
7.4	Herabstufung der Sonne	81
<b>8</b>	<b>Eine neue Denkweise</b>	83
8.1	Die wissenschaftliche Methode	85
8.2	Beispiele für die Anwendung der wissenschaftlichen Methode	86
8.3	Was ist eine gute wissenschaftliche Theorie?	87
8.4	Wie wissen wir, dass eine Theorie in Schwierigkeiten ist?	88
8.5	Was ist keine wissenschaftliche Frage?	89
8.6	Anwendung der wissenschaftlichen Methode auf andere Disziplinen	89
8.7	Grenzen der Wissenschaft	90
<b>9</b>	<b>Aus was bestehen Sterne?</b>	93
9.1	Farbe des Sonnenlichts und physischer Objekte	94
9.2	Dunkle Linien in der Sonne	95
9.3	Enthält die Sonne die gleichen Elemente wie die Erde?	96
9.4	Ein neues Element am Himmel	97
9.5	Das Geheimnis des Nebuliums	98
9.6	Der Beginn der Astrophysik	100

9.7	Verschiedene Arten von Sternen . . . . .	101
9.8	Vereinigung von Materie im Himmel und auf der Erde. . . . .	102
<b>10</b>	<b>Ursprung des Sonnensystems. . . . .</b>	<b>105</b>
10.1	Entstehung des Sonnensystems . . . . .	106
10.2	Extrasolare Planetensysteme . . . . .	107
10.3	Das äußere Sonnensystem . . . . .	110
10.4	Die Frage nach den Ursprüngen . . . . .	112
<b>11</b>	<b>Die Vielzahl der Welten . . . . .</b>	<b>115</b>
11.1	Was ist die Milchstraße? . . . . .	116
11.2	Form der Milchstraße. . . . .	119
11.3	Ein größeres Universum. . . . .	121
11.4	Das Entfernungsproblem . . . . .	122
11.5	Entfernung der Sonne vom Zentrum der Milchstraße . . . . .	123
11.6	Philosophische Implikationen . . . . .	125
<b>12</b>	<b>Die Natur der Nebel . . . . .</b>	<b>127</b>
12.1	Entdeckung von nichtsternförmigen Objekten . . . . .	128
12.2	Das Geheimnis der Spiralnebel . . . . .	131
12.3	Inseluniversen oder gasförmige Nebel? . . . . .	131
12.4	Die Auflösung . . . . .	134
12.5	Bewegung der Sonne in der Milchstraße . . . . .	137
12.6	Wie können Experten sich irren? . . . . .	138
12.7	Evolution unseres Verständnisses des Universums . . . . .	138
<b>13</b>	<b>Sind alle Bewegungen relativ? . . . . .</b>	<b>141</b>
13.1	Prinzip der Relativität . . . . .	142
13.2	Die Notwendigkeit einer fiktiven Kraft . . . . .	143
13.3	Wir können feststellen, dass die Erde sich dreht, ohne nach draußen zu schauen. . . . .	145
13.4	Ursprung der Trägheitskraft . . . . .	146
13.5	Mathematische Formulierung des Relativitätsprinzips . . . . .	148
13.6	Einstins Theorie der Schwerkraft . . . . .	149
13.7	Keine Aktion mehr auf Distanz . . . . .	151
<b>14</b>	<b>Die Natur von Licht und Materie . . . . .</b>	<b>153</b>
14.1	Grundlegende Elemente der irdischen Materie . . . . .	154
14.2	Bausteine der Materie . . . . .	157
14.3	Die Verwirrung zwischen Licht und Wärme . . . . .	160
14.4	Erweiterung des Farbbegriffs . . . . .	162
14.5	Wärme und Temperatur . . . . .	164
14.6	Alles strahlt . . . . .	165
14.7	Die Suche nach dem Äther . . . . .	168
14.8	Quantentheorie von Licht und Materie . . . . .	169
14.9	Wissenschaft und Nutzen . . . . .	170

<b>15 Die Verbindung zwischen Mensch und Stern . . . . .</b>	173
15.1 Was treibt die Sonne an? . . . . .	174
15.2 Quelle der Sonnenenergie . . . . .	176
15.3 Direkte Bestätigung der Kernfusion in der Sonne . . . . .	177
15.4 Die Sonne-Erde-Verbindung . . . . .	178
15.5 Herkunft der chemischen Elemente . . . . .	179
15.6 Chemische Zusammensetzung des menschlichen Körpers . . . . .	180
15.7 Universalität der Physik und Chemie. . . . .	181
<b>16 Ist das Universum endlich? . . . . .</b>	183
16.1 Blick zurück in die Vergangenheit . . . . .	184
16.2 Ausdehnung des Universums . . . . .	185
16.3 Großräumige Struktur des Universums . . . . .	188
16.4 Der Anfang der Zeit . . . . .	192
16.5 Ein sich entwickelndes Universum . . . . .	194
<b>17 Frühe Geschichte der Erde . . . . .</b>	197
17.1 Methoden zur Altersbestimmung . . . . .	198
17.2 Radioaktive Datierung . . . . .	199
17.3 Eine physische Verbindung zwischen Himmel und Erde . . . . .	202
17.4 Externer Beschuss der frühen Erde . . . . .	206
17.5 Entstehung des Mondes . . . . .	207
17.6 Entstehung des Ozeans und der Atmosphäre . . . . .	209
17.7 Die komplexe Geschichte der Erde . . . . .	210
<b>18 Gemeinsame Vorfahren . . . . .</b>	213
18.1 Die Evolution der lebenden Arten . . . . .	214
18.2 Leben jenseits dessen, was wir sehen können . . . . .	216
18.3 Eine neue Lebenswelt . . . . .	217
18.4 Der Baum des Lebens . . . . .	218
18.5 Soziale Implikationen des Darwinismus . . . . .	220
<b>19 Ursprung des Lebens . . . . .</b>	223
19.1 Spontane Erzeugung (Urzeugung) . . . . .	223
19.2 Panspermie: Leben von anderswo . . . . .	226
19.3 Unterscheidung zwischen Lebendigem und Nicht-Lebendigem . . . . .	226
19.4 Abiogenese: Ein chemischer Ursprung des Lebens . . . . .	229
19.5 Philosophie, die die Wissenschaft leitet . . . . .	230
19.6 Verbleibende Fragen . . . . .	232
<b>20 Komplexität im Universum . . . . .</b>	235
20.1 Moleküle und Feststoffe im interstellaren Medium . . . . .	237
20.2 Mineralien im Weltraum . . . . .	240
20.3 Die Entdeckung von extraterrestrischen organischen Stoffen . . . . .	241
20.4 Abiotische Synthese von organischen Stoffen . . . . .	244

20.5	Ungelöste Mysterien . . . . .	246
20.6	Erweiterung der Grenzen der Erforschung . . . . .	247
<b>21</b>	<b>Evolution der Erde durch die Zeitalter . . . . .</b>	<b>249</b>
21.1	Die Kontinente bewegen sich. . . . .	250
21.2	Die Sauerstoffentwicklung. . . . .	253
21.3	Explosion des Lebens . . . . .	254
21.4	Massenaussterben . . . . .	255
21.5	Aufkommen der Menschen . . . . .	258
21.6	Lektionen aus der Geschichte des Lebens auf der Erde . . . . .	260
<b>22</b>	<b>Klimaveränderungen durch die Zeitalter . . . . .</b>	<b>263</b>
22.1	Klimazyklen. . . . .	264
22.2	Die Warme Erde. . . . .	267
22.3	Menschlich verursachter Klimawandel . . . . .	269
22.4	Auswirkungen des Klimas auf die Gesellschaft . . . . .	270
22.5	Gleichgewicht zwischen Entwicklung und Erhaltung. . . . .	272
<b>23</b>	<b>Die Verbindung zwischen Sternen und Leben auf der Erde . . . . .</b>	<b>275</b>
23.1	Lebensdauern von Sternen. . . . .	276
23.2	Tod der Sonne . . . . .	278
23.3	Das endgültige Schicksal der Sterne . . . . .	279
23.4	Stellare Synthese von komplexen organischen Verbindungen. . . . .	282
23.5	Geburt neuer Sterne und Planetensysteme aus stellaren Trümmern. . . . .	282
23.6	Externe Lieferung von organischen Stoffen zur Erde und ihre Auswirkungen auf den Ursprung des Lebens . . . . .	283
23.7	Die Zukunft der menschlichen Spezies . . . . .	286
<b>24</b>	<b>Leben auf anderen Welten . . . . .</b>	<b>289</b>
24.1	Bedingungen für das Leben . . . . .	290
24.2	Suche nach Leben im Sonnensystem. . . . .	291
24.3	Suche nach Anzeichen von Leben auf anderen Planeten in der Galaxis . . . . .	292
24.4	Suche nach außerirdischer Intelligenz. . . . .	294
24.5	Direkter Kontakt mit außerirdischem Leben . . . . .	298
24.6	Haben Außerirdische die Erde besucht? . . . . .	299
24.7	Unterschiedliche Wege der wissenschaftlichen Entwicklung unter außerirdischen Zivilisationen . . . . .	301
24.8	Die soziale Bedeutung der Entdeckung außerirdischen Lebens . . . . .	302
24.9	Ethische Fragen der Planetenerkundung und -technik. . . . .	302
24.10	Nichtbiologisches außerirdisches Leben . . . . .	303
<b>25</b>	<b>Unser Platz im Universum . . . . .</b>	<b>307</b>
25.1	Veränderung der räumlichen Skala des Universums . . . . .	308

25.2	Über die Zeitskala . . . . .	309
25.3	Über die relative Skala. . . . .	310
25.4	Zusammensetzung der Materie . . . . .	311
25.5	Die Rolle des Menschen im Universum . . . . .	312
25.6	Blick in die Zukunft durch Lernen aus der Vergangenheit . . . . .	313
<b>26</b>	<b>Die gemeinsamen Verbindungen in unserer Reise. . . . .</b>	<b>315</b>
26.1	Eine 300-jährige Erfolgsgeschichte . . . . .	316
26.2	Die interdisziplinäre Natur der Wissenschaft. . . . .	318
26.3	Der Weg zur Entdeckung . . . . .	318
26.4	Die menschlichen Aspekte der Wissenschaft. . . . .	320
26.5	Wie sollte Wissenschaft unterrichtet werden? . . . . .	322
26.6	Wie Wissenschaft betrieben wird. . . . .	324
26.7	Die Ethik der Wissenschaft . . . . .	326
26.8	Wissenschaft und Technologie. . . . .	328
26.9	Wissenschaft und Gesellschaft. . . . .	330
26.10	Die verborgenen Annahmen hinter der modernen Wissenschaft . . . . .	330
26.11	Gibt es eine Grenze für die Wissenschaft?. . . . .	334
<b>Anhang I.</b>	<b>Hellste Sterne am Himmel . . . . .</b>	<b>339</b>
<b>Anhang II.</b>	<b>Maßeinheiten . . . . .</b>	<b>341</b>
<b>Anhang III.</b>	<b>Astronomische Messungen . . . . .</b>	<b>345</b>
<b>Anhang IV.</b>	<b>Photometrische Methode zur Schätzung der Entfernungen von Sternen. . . . .</b>	<b>347</b>
<b>Anhang V.</b>	<b>Masse der Milchstraße. . . . .</b>	<b>349</b>
<b>Anhang VI.</b>	<b>Beispiele für Trägheitskräfte . . . . .</b>	<b>351</b>
<b>Anhang VII.</b>	<b>Astronomie von anderen Planetensystemen. . . . .</b>	<b>353</b>
<b>Übungsfragen zur Wiederholung . . . . .</b>	<b>357</b>	
<b>Glossar . . . . .</b>	<b>361</b>	
<b>Weiterführende Literatur. . . . .</b>	<b>373</b>	

# Über den Autor

**Sun Kwok** ist ein professioneller Astronom und Autor, der sich auf Astrochemie und Sternentwicklung spezialisiert hat. Er ist am besten bekannt für seine Theorie über den Ursprung von planetarischen Nebeln und den Tod sonnenähnlicher Sterne. Seine jüngsten Forschungen behandelten das Thema der Synthese komplexer organischer Verbindungen in den späten Stadien der Sternentwicklung. Seine neuesten Bücher beinhalten *Der Ursprung und die Entwicklung von Planetarischen Nebeln* (Cambridge, 2000), *Kosmische Schmetterlinge* (Cambridge, 2001), *Physik und Chemie des interstellaren Mediums* (University Science Books, 2007), *Organische Materie im Universum* (Wiley, 2012), *Sternenstaub: Die kosmischen Samen des Lebens* (Springer, 2013), und *Unser Platz im Universum: Verständnis der grundlegenden Astronomie aus alten Entdeckungen* (Springer 2017). Er hat an vielen großen Universitäten, Forschungsinstituten und öffentlichen Foren auf der ganzen Welt ausgiebig Vorlesungen gehalten. Er war Gastbeobachter bei vielen Weltraummissionen, einschließlich des *Hubble-Weltraumteleskops* und des *Infra-rot-Weltraumobservatoriums*.

Er hat umfangreiche Dienste in internationalen Organisationen geleistet, einschließlich als Präsident der Astrobiologie-Kommission der Internationalen Astronomischen Union (IAU), Präsident der IAU-Kommission für interstellare Materie, Vorsitzender der IAU-Arbeitsgruppe für planetarische Nebel und Mitglied des Organisationskomitees der IAU-Arbeitsgruppe für Astrochemie. Seine akademischen Zugehörigkeiten umfassen den Dekan der Naturwissenschaften und den Lehrstuhl für Raumfahrtwissenschaften an der Universität von Hongkong, den Direktor des Instituts für Astronomie und Astrophysik, Academia Sinica in Taiwan, den Killiam Fellow des Canada Council for the Arts und den Professor für Astronomie an der Universität von Calgary in Kanada. Derzeit arbeitet er an der Universität von British Columbia in Kanada.

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Das erste kosmologische Modell einer flachen Erde und eines sphärischen Himmels. . . . .	3
Abb. 1.2	Unterschiedlicher Horizont auf einer kugelförmigen Erde. . . . .	5
Abb. 1.3	Das Zwei-Sphären-Universumsmodell. . . . .	6
Abb. 1.4	Eine Armillarsphäre. . . . .	7
Abb. 1.5	Die Verwendung von Exzentrizität, Epizyklus und Äquant in Ptolemäus' Modell der Planetenbewegung. . . . .	8
Abb. 1.6	Schematische Darstellung von Ptolemäus' kosmologischem Modell. . . . .	9
Abb. 2.1	Eine schematische Zeichnung des Tychonischen Systems. . . . .	18
Abb. 2.2	Illustration der Corioliskraft. . . . .	20
Abb. 2.3	Foucaults Pendel. . . . .	21
Abb. 2.4	Abplattung der Erde. . . . .	22
Abb. 2.5	Eine schematische Darstellung der von Rømer zur Messung der Lichtgeschwindigkeit verwendeten Methode. . . . .	23
Abb. 2.6	Eine schematische Darstellung, die die Messung der stellaren Parallaxe veranschaulicht. . . . .	25
Abb. 2.7	Eine schematische Darstellung, die die Aberration des Sternenlichts veranschaulicht. . . . .	26
Abb. 3.1	Ein Karussell. . . . .	34
Abb. 3.2	Copernicus' Modell der Planetenbewegung. . . . .	36
Abb. 3.3	Keplers Gesetz der Planetenbewegung. . . . .	37
Abb. 3.4	Künstliche Satelliten. . . . .	38
Abb. 3.5	Raumflug zum Mars. . . . .	40
Abb. 3.6	„Empedokles durchbricht die Kristallsphären“ ist ein Holzschnitt von einem unbekannten Künstler. . . . .	41
Abb. 4.1	Zusammenhang zwischen Entfernung und Winkeldurchmesser. . . . .	46
Abb. 4.2	Huygens Methode zur Bestimmung der Erde-Sonne-Entfernung. . . . .	47
Abb. 4.3	Die Methode der Triangulation. . . . .	48

Abb. 4.4	Transit der Venus am 6. Juni 2012. . . . .	49
Abb. 4.5	Die Veränderung der Erde-Sonne-Entfernung im Laufe der Geschichte (900–2000 n. Chr.). . . . .	51
Abb. 5.1	Weltkarte basierend auf den Arbeiten von Ptolemäus. . . . .	54
Abb. 5.2	Pfade von Sternen bei verschiedenen Breitengraden. . . . .	56
Abb. 5.3	Himmelsnavigation. . . . .	56
Abb. 5.4	Portugiesische Entdeckungsreisen. . . . .	57
Abb. 5.5	Ein Sextant wird verwendet, um die Höhe von Himmelskörpern über dem Horizont zu messen. . . . .	59
Abb. 5.6	Der Große Wagen wie er im Jahr 50.000 v. Chr. (links) und 2020 n.Chr. (rechts) zu sehen war. . . . .	62
Abb. 5.7	Der Einfluss der Sonnenbewegung auf die Eigenbewegungen der Sterne. . . . .	63
Abb. 6.1	Eine künstlerische Darstellung des Kometen von 1577, gesehen über Prag. . . . .	66
Abb. 6.2	Kegelschnitte. . . . .	67
Abb. 6.3	Der Halleysche Komet im Jahr 1066, dargestellt im Teppich von Bayeux. . . . .	68
Abb. 6.4	Eine schematische Zeichnung, die die Periheldrehung von Merkur veranschaulicht. . . . .	72
Abb. 7.1	Schematische Darstellung der photometrischen Methode zur Bestimmung der stellaren Entfernung. . . . .	80
Abb. 9.1	Dunkle Linien im Sonnenspektrum. . . . .	96
Abb. 9.2	Entdeckung des Emissionslinienspektrums in Sternen. . . . .	98
Abb. 9.3	Vergleich zwischen dem kontinuierlichen Spektrum des weißen Sonnenlichts und dem Emissionslinienspektrum eines Nebels. . . . .	99
Abb. 10.1	Eine schematische Zeichnung, die zeigt, wie die terrestrischen Planeten entstanden sind. . . . .	108
Abb. 10.2	Entdeckung extrasolarer Planeten mit der Methode der Radialgeschwindigkeit. . . . .	109
Abb. 10.3	Eine schematische Darstellung eines planetaren Transits. . . . .	109
Abb. 10.4	Eine schematische Zeichnung des Kuipergürtels und der Oortschen Wolke. . . . .	111
Abb. 11.1	Die Milchstraße. . . . .	117
Abb. 11.2	Die galaktische Ebene in der Himmelssphäre. . . . .	118
Abb. 11.3	Blick auf die Milchstraße von Honolulu, Hawaii, USA. . . . .	119
Abb. 11.4	Blick auf die Milchstraße von Melbourne, Australien. . . . .	120
Abb. 11.5	Modell der Milchstraße von Thomas Wright. . . . .	121
Abb. 11.6	Verteilung der Sterne, wie von Herschel kartiert. . . . .	121
Abb. 11.7	Kapteyns Modell der Milchstraße hat die Sonne in ihrem Zentrum . . . . .	122
Abb. 11.8	Kugelsternhaufen M13. . . . .	124
Abb. 11.9	Eine Karte der Verteilung der Kugelsternhaufen, projiziert auf die Ebene der Milchstraße. . . . .	125

Abb. 12.1	Messiers Zeichnung von M31, dem Andromeda-Nebel.....	129
Abb. 12.2	Zeichnung von M51, wie sie Lord Rosse mit seinem 72-Zoll-Teleskop im Jahr 1849 skizziert hat.....	130
Abb. 12.3	Modernes Bild der Spiralgalaxie NGC 4535.....	132
Abb. 12.4	Eine schematische Darstellung der Struktur der Milchstraße.....	135
Abb. 12.5	Ein Beispiel für eine seitlich betrachtete Spiralgalaxie. ....	136
Abb. 13.1	Prinzip der Relativität.....	143
Abb. 13.2	Pendel am Nordpol.....	146
Abb. 13.3	Vergleich zwischen den ptolemäischen (links) und kopernikanischen (rechts) Kosmologien. ....	147
Abb. 13.4	Der kürzeste Weg zwischen zwei Punkten auf einer Kugel ist ein Großkreis.....	150
Abb. 13.5	Ablenkung des Sternlichts durch die Krümmung des Raums.....	151
Abb. 14.1	Das Periodensystem. ....	156
Abb. 14.2	Beispiele für Knoten (oben) und Verbindungen (unten), die Lord Kelvins Idee der Atome als verknotete Strudel veranschaulichen. ....	158
Abb. 14.3	Eine vereinfachte Zeichnung des Bohrschen Atommodells....	160
Abb. 14.4	Das elektromagnetische Spektrum. ....	163
Abb. 14.5	Das Plancksche Strahlungsgesetz.....	166
Abb. 16.1	Die Geschwindigkeits-Distanz-Beziehung, wie sie ursprünglich von Hubble veröffentlicht wurde.....	187
Abb. 16.2	Die Ballonanalogie eines expandierenden Universums. ....	188
Abb. 16.3	Abell 2151 Galaxienhaufen. ....	189
Abb. 16.4	Eine schematische Darstellung, die die möglichen Geometrien des Universums veranschaulicht.....	190
Abb. 16.5	Eine schematische Darstellung, die veranschaulicht, wie wir die Geometrie des Universums bestimmen können.....	191
Abb. 17.1	Methode der Baumringdatierung. ....	199
Abb. 17.2	Schematische Darstellung des radioaktiven Zerfalls. ....	200
Abb. 17.3	Stichzeichnung, die den Leoniden-Meteoritenschauer von 1833 zeigt.....	204
Abb. 17.4	Kometen als Ursache von Meteoritenschauern. ....	205
Abb. 17.5	Karte einiger der größten Einschlagsbecken auf dem Mond mit Durchmessern >300 km.....	207
Abb. 17.6	Ursache der Gezeiten. ....	208
Abb. 17.7	Schwere Bombardierung während der frühen Geschichte der Erde. ....	210
Abb. 18.1	Reise der Beagle vom 27. Dezember 1831 bis zum 2. Oktober 1836. ....	214
Abb. 18.2	Gorillas, Schimpansen und Menschen haben sich zu unterschiedlichen Zeiten in der Vergangenheit vom Baum des Lebens abgespalten. ....	216

Abb. 18.3	Der Baum des Lebens basierend auf ribosomalen RNA-Sequenzdaten. . . . .	219
Abb. 19.1	Pasteurs Experiment zur Widerlegung der Urzeugung. . . . .	225
Abb. 19.2	Eine schematische Zeichnung der Doppelhelixstruktur des DNA-Moleküls. . . . .	228
Abb. 19.3	Das Miller-Urey-Experiment. . . . .	230
Abb. 20.1	Schematische Darstellung der Rotation, Streckung und Biegebewegung von Molekülen. . . . .	237
Abb. 20.2	Ein Beispiel für ein Spektrum des galaktischen Zentrums im Millimeterwellenbereich . . . . .	239
Abb. 20.3	Infrarotspektren von zwei Roten Riesen, wie sie vom <i>Infrared Astronomical Satellite Low-Resolution Spectrometer</i> beobachtet wurden. . . . .	241
Abb. 20.4	Die chemische Struktur von Benzol . . . . .	242
Abb. 20.5	Die unidentifizierten Infrarot-Emissionsbänder wurden erstmals im planetarischen Nebel NGC 7027 im Sternbild Schwan entdeckt. . . . .	245
Abb. 21.1	Der Ring des Feuers. . . . .	251
Abb. 21.2	Eine skizzenhafte Karte des Superkontinents Pangaea. . . . .	252
Abb. 21.3	Die Erde hat sieben große tektonische Platten und mehrere kleinere . . . . .	252
Abb. 21.4	Veränderung in der Komplexität der lebenden Organismen im Laufe der Erdgeschichte. . . . .	255
Abb. 21.5	Die fünf Massenaussterben seit der Kambriumzeit. . . . .	257
Abb. 21.6	Eine künstlerische Darstellung eines Asteroideneinschlags. . . . .	258
Abb. 21.7	Eine schematische Darstellung der Wege der menschlichen Migration aus Afrika basierend auf der Genomanalyse. . . . .	259
Abb. 21.8	Geologischer und biologischer Zeitstrahl der Geschichte der Erde. . . . .	260
Abb. 22.1	Temperaturschwankungen der Erde in der jüngsten Geschichte, wie sie aus antarktischen Eisbohrkernen ermittelt wurden. . . . .	265
Abb. 22.2	Schematische Darstellungen der drei Effekte, die zu den Milankovic-Zyklen beitragen. . . . .	266
Abb. 22.3	Treibhauseffekt. . . . .	268
Abb. 22.4	Globale atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen ( $\text{CO}_2$ ) in Teilen pro Million (ppm) für die letzten 800.000 Jahre. . . . .	270
Abb. 23.1	Sterne auf der Hauptreihe. . . . .	276
Abb. 23.2	Eine schematische Darstellung, die die Struktur eines Sterns auf dem Asymptotischen Riesenast veranschaulicht. . . . .	278
Abb. 23.3	NGC 6302 im Sternbild Skorpion ist einer von etwa 4000 bekannten Planetarischen Nebeln in der Milchstraße. . . . .	279
Abb. 23.4	Eine schematische Darstellung, die den Lebenszyklus eines sonnenähnlichen Sterns zeigt. . . . .	280
Abb. 23.5	Elektronenmikroskopisches Bild eines prä-solaren Siliziumkarbid (SiC) Korns. . . . .	284

Abb. 23.6	Eine Skizze, die die Herstellung organischer Verbindungen in Planetarischen Nebeln und ihre Ausstoßung in den interstellaren Raum veranschaulicht.....	285
Abb. 24.1	Eine künstlerische Darstellung der Oberfläche von Titan beruhend auf Daten, die von der <i>Cassini</i> Mission erhalten wurden. ....	293
Abb. 24.2	Das Spektrum der Erdatmosphäre und ihrer Wolken trägt Signaturen des Lebens. ....	294
Abb. 24.3	Erdschein. ....	294
Abb. 24.4	Eine schematische Zeichnung, die veranschaulicht, wie das atmosphärische Spektrum eines extrasolaren Planeten während des Planetentransits beobachtet werden kann. ....	295
Abb. 24.5	Gauss' Vorschlag zur Kommunikation mit Außerirdischen. ....	296
Abb. 24.6	von Littrows Vorschlag, Signale an intelligente Außerirdische auf dem Mars zu senden .....	297
Abb. 26.1	Eine schematische Darstellung, die den Verlauf der Rotationsgeschwindigkeit in einer typischen Spiralgalaxie zeigt. ....	317
Abb. A1	Eine nicht rotierende Erde. ....	354

# Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Minimale und maximale Winkeldurchmesser der Planeten . . . . .	45
Tab. 17.1	Beispiele für radioaktive Uhren. . . . .	201
Tab. A1	Entfernungs-Umwandlung. . . . .	342

# Kapitel 1

## Von Copernicus zur Aufklärung



Sobald Menschen ein Bewusstsein für ihre Umgebung entwickelten, erkannten sie, dass ihr Leben von täglichen Zyklen durch Tag und Nacht und jährlichen Zyklen durch Jahreszeiten bestimmt wird. Sie stellten auch die Verbindung her, dass diese Zyklen mit der Sonne zusammenhängen. Aus praktischen und religiösen Gründen wurden sie zu aufmerksamen Beobachtern des Himmels. Unsere Vorfahren waren nicht nur von der Existenz himmlischer Objekte – der Sonne, dem Mond und den Sternen – in Ehrfurcht, sondern auch von der Tatsache, dass sie sich alle bewegen. Sie bewegen sich nicht nur, sondern tun dies auch in regelmäßigen Mustern. Die Sonne, der Mond und die Sterne gehen Tag für Tag ohne Ausnahme auf. Nachdem die Sonne untergegangen ist und die Erde in Dunkelheit gehüllt ist, können Sterne gesehen werden, die vom östlichen Horizont aufsteigen, sich über den Himmel bewegen und am gegenüberliegenden Horizont untergehen. Die Existenz dieser wiederholten Muster wurde als Zeichen göttlicher Regierung und als Quelle von Botschaften der Götter angesehen. Motiviert durch den Wunsch, die verborgene Bedeutung dieser Muster zu entschlüsseln, beobachteten unsere Vorfahren die Bewegung der Himmelskörper mit großer Sorgfalt.

Sie lernten bald, dass diese Muster, obwohl regelmäßig, kompliziert waren. Die Sonne geht zu unterschiedlichen Zeiten auf und steigt jeden Tag auf unterschiedliche Höhen. Die Tageslänge variiert im Laufe des Jahres, mit längeren Tagen im Sommer und kürzeren Tagen im Winter. Wenn die Sonne am höchsten am Himmel steht, wirft ein senkrecht in den Boden gesteckter Stock immer seinen Schatten in die gleiche Richtung, die als „Norden“ bezeichnet wird.<sup>1</sup> Die Existenz dieser

---

<sup>1</sup>Um die Erzählung zu vereinfachen, beziehen sich unsere Hinweise auf Jahreszeiten und andere beobachtete Ereignisse auf die nördliche Hemisphäre. Diese Aussage trifft für einen Beobachter in mittleren nördlichen Breiten zu.

besonderen Richtung ermöglichte es unseren Vorfahren, vier Richtungen festzulegen: Süden als Gegenteil von Norden sowie Osten und Westen senkrecht zur Linie von Nord und Süd. Obwohl die Sonne in östlicher Richtung aufgeht, variiert der genaue Ort des Sonnenaufgangs jeden Tag. Die Sonne geht im Sommer weiter nördlich und im Winter mehr südlich auf. Bereits vor 3000 Jahren erkannten alte Zivilisationen, dass es vier besondere Tage im Jahr gibt: Sommersonnenwende wenn die Sonne in der nördlichsten Richtung aufgeht, Wintersonnenwende wenn die Sonne in der südlichsten Richtung aufgeht, und Frühlingsäquinoktium und Herbstäquinoktium wenn die Sonne genau im Osten aufgeht.

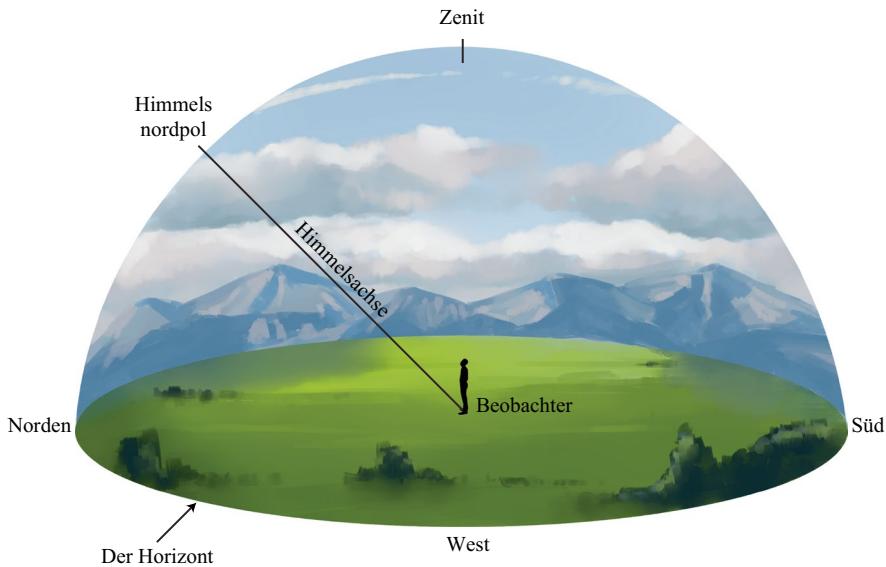
Sowohl die Sonne als auch die Sterne scheinen sich jeden Tag um die Erde zu drehen, aber die Umlaufzeit der Sterne ist etwas kürzer (um etwa 4 Minuten) als die der Sonne. Dies zeigt sich darin, dass die Sterne jede Nacht etwas früher aufgehen und am nächsten Abend neue Sterne am östlichen Horizont erscheinen. Dies führt dazu, dass zu unterschiedlichen Zeiten des Jahres verschiedene Sternbilder zu sehen sind: zum Beispiel das Sternbild Orion im Winter und das Sternbild Schütze im Sommer.

Wie die Sonne geht auch der Mond im Osten auf und im Westen unter. Im Gegensatz zur Sonne ändert der Mond jedoch täglich seine Gestalt und durchläuft Phasen. Der Mond ist manchmal nachts und manchmal tagsüber zu sehen, aber seine Erscheinungszeit hängt mit seinen Phasen zusammen. Der Vollmond geht am frühen Abend auf und ist nur nachts zu sehen, während der Neumond am frühen Morgen aufgeht. Obwohl der Neumond den ganzen Tag über am Himmel ist, ist er schwer zu sehen, da er nahe an der Sonne ist.

Die nicht-gleichzeitigen Bewegungen von Sonne und Sternen deuten darauf hin, dass die Sonne neben ihrer täglichen Bewegung auch gleichzeitig langsam relativ zu den Sternen über den Zeitraum eines Jahres bewegt. Die tägliche Bewegung der Sonne ist von Osten nach Westen, aber ihre jährliche Bewegung durch die Sterne ist von Westen nach Osten. Wie die Sonne bewegt sich auch der Mond relativ zu den Sternen, aber viel schneller. Anstatt eines Jahres durchläuft der Mond die Sterne über einen Zeitraum von 27,3 Tagen. Dieser Zeitraum ist nahe, aber nicht genau gleich, wie der Zeitraum der Mondphasen, der 29,5 Tage beträgt.

Sonne und Mond sind nicht die einzigen Objekte, die sich relativ zu den Sternen bewegen. Unsere Vorfahren kannten auch fünf helle Himmelskörper, die sich durch die Sterne bewegen. Aus diesem Grund werden sie Planeten genannt, was vom griechischen Wort für wandernde Sterne stammt. Die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn bewegen sich alle relativ zu den Sternen entlang des gleichen Pfades der Sonne (genannt die Ekliptik), aber mit unterschiedlichen Perioden. Wie die Sonne reisen sie normalerweise von Westen nach Osten relativ zu den Sternen. Aber am seltsamsten ist, dass sie von Zeit zu Zeit die Richtung zu wechseln scheinen.

Die regelmäßigen Bewegungsmuster der Himmelskörper gaben den Menschen den ersten Anstoß, das Wirken des Himmels zu verstehen. Dies legte den Grundstein für rationales Denken. Das erste Beispiel für abstraktes Denken ist die Entwicklung eines Modells des Universums. Die Tatsache, dass die Sonne und die Sterne scheinbar in kreisförmigen Bahnen um die Erde sich bewegen, führte zum



**Abb. 1.1** Das erste kosmologische Modell einer flachen Erde und eines sphärischen Himmels. Die Himmelsachse, um die sich die Sterne drehen, ist gegenüber dem Horizont (in Grün dargestellt) geneigt. Der nördliche Himmelpol ist der einzige Punkt auf der Himmelssphäre, der sich nicht dreht. Diese Abbildung entspricht einem Beobachter, der sich in mittleren nördlichen Breiten befindet

ersten kosmologischen Modell einer flachen Erde und eines sphärischen Himmels. Die Himmelskörper bewegen sich von Horizont zu Horizont auf der Oberfläche einer Kugel, die als Himmelssphäre bezeichnet wird. Von der Achse, um die sich die Sterne und die Sonne drehen, wird angenommen, dass sie der Pol ist, der das Himmelsgewölbe hält (Abb. 1.1).

## 1.1 Eine kugelförmige Erde

Obwohl die Erde aus unserer alltäglichen Erfahrung offensichtlich flach erscheint, gibt es einige beunruhigende Beobachtungen, die bei antiken Astronomen Zweifel an dieser Wahrnehmung hervorriefen. Wenn wir auf einer flachen Erde leben würden, würden wir die gleichen Sterne sehen, egal wo wir uns befinden. Einige Sterne können jedoch nur von bestimmten Orten auf der Erde aus gesehen werden: Canopus, der zweithellste Stern am Himmel, kann von Alexandria aus gesehen werden, aber nicht von Athen. Entgegen den intuitiven Erwartungen ist diese Polarachse, um die sich die Sterne drehen, nicht senkrecht aufgestellt, sondern ist in Bezug auf den Horizont geneigt. Dieser Neigungswinkel variiert von Ort zu

Ort: In Athen ist die Polarachse um  $38^\circ$  gegenüber dem Horizont geneigt; in Alexandria, Ägypten, beträgt sie  $31^\circ$ .

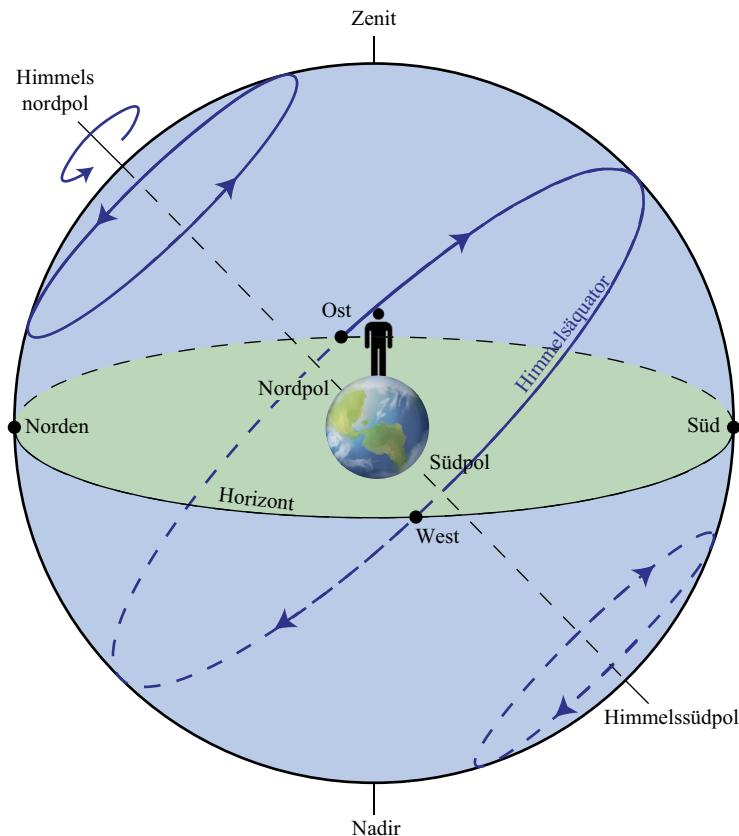
Um 500 v. Chr. leiteten griechische Astronomen aus der Form des Schattens der Erde während Mondfinsternissen ab, dass die Erde rund ist. Finsternisse treten zu einer genauen Zeit auf, aber die Stunde des Auftretens (gemessen ab der Mittagszeit) wird von Beobachtern im Osten immer später als von denen im Westen aufgezeichnet. Die Beweise für eine kugelförmige Erde wurden von Claudius Ptolemäus (100–175) in seinem Buch *Almagest* zusammengefasst.

Mit Hilfe eines einfachen am Boden befestigten Stocks und der Messung der Länge und des Winkels seines Schattens im Laufe eines Tages konnten antike Beobachter die genauen täglichen Pfade der Sonne nachzeichnen. Im Laufe eines Jahres variieren diese Pfade von Tag zu Tag. Beobachter an verschiedenen Orten auf der Erde sehen auch unterschiedliche scheinbare Pfade der Sonne am Himmel (Kap. 5, Bd. 1). Ein Beobachter in Athen sieht die Sonne nie direkt über sich, ein Beobachter in Südägypten schon. Diese Ergebnisse sind nicht mit der Vorstellung einer flachen Erde vereinbar. Durch Messung des Sonnenwinkels in Alexandria am längsten Tag des Jahres (Sommersonnenwende), wenn die Sonne senkrecht auf die Stadt Syene in Südägypten scheint, konnte Eratosthenes die Größe der kugelförmigen Erde bestimmen (Abschn. 12.1, Bd. 1). Durch die Beobachtungen der Sonne, des Mondes und der Sterne konnten antike Astronomen nicht nur feststellen, dass die Erde rund war, sondern auch die Größe der kugelförmigen Erde bestimmen.

## 1.2 Die ersten kosmologischen Modelle

Nachdem unsere Vorfahren erkannt hatten, dass die Erde rund und nicht flach ist, konnten sie viele Besonderheiten der Bewegung von Himmelskörpern erklären. Die unterschiedliche Neigung der Polarachse an verschiedenen Orten liegt daran, dass Beobachter auf verschiedenen Breitengraden unterschiedliche Horizonte haben (Abb. 1.2). Die Änderung der Ausrichtung des Horizonts erklärt, warum verschiedene Sterne von Beobachtern an verschiedenen Orten sichtbar sind. Während ein Beobachter Sterne auf- und untergehen sieht, ist ein Stern, der zu weit südlich des Himmelsäquators liegt, für einen Beobachter auf der Nordhalbkugel nie sichtbar, weil er nie über seinen Horizont steigt (Abb. 1.2).

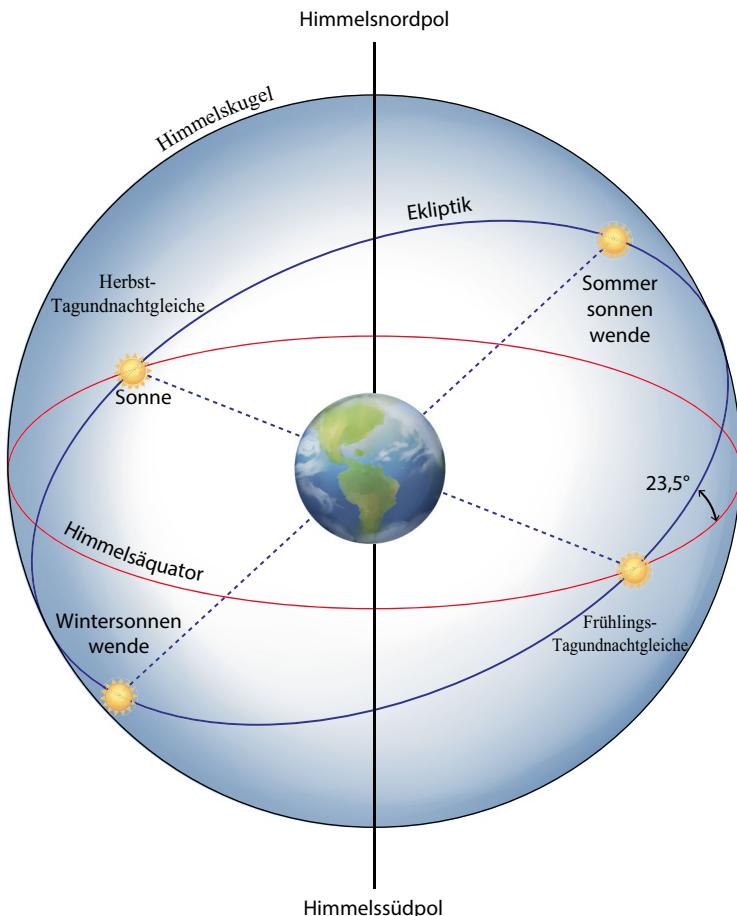
Alle scheinbaren Komplexitäten der Bewegung der Sonne und der Sterne können durch ein Zwei-Sphären-Modell des Universums erklärt werden, in dem eine kugelförmige Erde im Zentrum einer Himmelssphäre liegt, auf deren Oberfläche die Sterne liegen. In diesem Modell dreht sich die Himmelssphäre jeden Tag von Osten nach Westen um die Erde. Aufgrund der Rotation der Himmelssphäre steigen die Sterne im Osten über den Horizont und gehen im Westen unter den Horizont. Einige Sterne können die ganze Nacht hindurch gesehen werden, aber einige Sterne können überhaupt nicht gesehen werden (Abb. 1.2).



**Abb. 1.2** Unterschiedlicher Horizont auf einer kugelförmigen Erde. Die Sphäre der Sterne dreht sich um eine Achse, deren Neigungswinkel in Bezug auf den Horizont (die grüne Ebene) von der Position des Beobachters auf der kugelförmigen Erde abhängt. Diese Darstellung veranschaulicht das Beispiel eines Beobachters auf etwa  $45^\circ$  nördlicher Breite. Die blauen Kreise sind Beispiele für die Bahnen von drei Sternen mit unterschiedlichen Deklinationen über einen siderischen Tag. Teile der Bahnen, die unter dem Horizont liegen (als gestrichelte Linien dargestellt), können vom Beobachter nicht gesehen werden

Die Sonne dreht sich ebenfalls um die Erde, aber ihre Bewegung ist etwas langsamer als die der Sterne, um vier Minuten pro Tag. Im Laufe eines Jahres bewegt sich die Sonne relativ zu den Sternen von Westen nach Osten über die Himmelskugel entlang der Ebene der Ekliptik, die um  $23,5^\circ$  zur Äquator der kugelförmigen Erde geneigt ist (Abb. 1.3). Aufgrund dieses Neigungswinkels durchläuft die Sonne im Laufe eines Jahres auch eine Nord-Süd-Bewegung.

Die Schnittpunkte zwischen der Ekliptik und dem Himmelsäquator sind die Frühlings- und Herbstäquinoktien. Wenn die Sonne diese beiden Punkte überquert, scheint das Sonnenlicht direkt auf den Äquator und die Längen von Tag und Nacht sind gleich. An diesen beiden Tagen geht die Sonne genau im Osten auf



**Abb. 1.3** Das Zwei-Sphären-Universumsmodell. Das Modell besteht aus einer inneren Sphäre (der Erde) und einer äußeren Sphäre (der Himmelssphäre) und kann die scheinbare Bewegung der Sonne an allen Orten auf der Erde erfolgreich erklären. Die tägliche (Ost-West-) Bewegung der Sonne wird durch die Rotation der Himmelssphäre um die Nord-Süd-Achse der Erde erklärt. Senkrecht zu dieser Achse ist der Himmelsäquator (in rot), der die Projektion des Äquators der Erde auf die Himmelssphäre ist. Die jährliche (Nord-Süd-) Bewegung der Sonne wird durch ihre Bewegung entlang der Ekliptik (in blau) erklärt, die um  $23,5^\circ$  zum Himmelsäquator geneigt ist

und genau im Westen unter. Die nördlichsten und südlichsten Punkte der Ekliptik sind die Sommer und Winter-Sonnenwenden. Wenn die Sonne an diesen beiden Punkten ist, ist der Unterschied in den Längen von Tag und Nacht am größten. Sonnenaufgang und Sonnenuntergang werden an ihren nördlichsten (zur Sommersonnenwende) und südlichsten (zur Wintersonnenwende) Richtungen des Jahres sein. Das Zwei-Sphären-Modell, das von den Griechen vor über 2000 Jahren entwickelt wurde, kann erfolgreich die wechselnden Jahreszeiten und alle bekannten



**Abb. 1.4** Eine Armillarsphäre. Die kugelförmige Erde ist im Zentrum. Je nach Breitengrad des Beobachters ist die Nord-Süd-Achse der Erde in Bezug auf den Horizont (der breite Ring außen) geneigt. Die fünf Ringe senkrecht zur Nord-Süd-Achse sind der nördliche Polarkreis, Wendekreis des Krebses, der Äquator, Wendekreis des Steinbocks und der südliche Polarkreis. Die Ekliptik (ein breites Band) ist um  $23,5^\circ$  zum Äquator geneigt (Kap. 7, Bd. 1). Bild erstellt von der Technology-Enriched Learning Initiative der Universität von Hongkong

Beobachtungstatsachen der scheinbaren Bewegungen der Sonne und der Sterne erklären.

Ein praktisches Gerät namens Armillarsphäre (Abb. 1.4) basierend auf dem Zwei-Sphären-Universumsmodell kann verwendet werden, um die Zeit und Richtung von Sonnenaufgang/Sonnenuntergang von jedem Ort auf der Erde vorherzusagen. Es kann auch die Länge jedes Tages des Jahres für jeden Ort auf der Erde bestimmen. Das Zwei-Sphären-Universumsmodell war äußerst erfolgreich.

### 1.3 Ungleiche Bewegungen von Sonne und Planeten

Obwohl das Zwei-Sphären-Universumsmodell einen enormen Erfolg bei der Erklärung der Bewegung von Himmelskörpern darstellte, gibt es leider weitere Komplikationen. Obwohl die Jahreszeiten in regelmäßigen jährlichen Abständen zurückkehren, sind die Längen jeder Jahreszeit ungleich. Diese Anomalie war bereits um 330 v. Chr. von Kallippos (370–330 v. Chr.) erkannt, und die Längen der Jahreszeiten wurden von Hipparchos (185–120 v. Chr.) auf  $94\frac{1}{2}$ ,  $92\frac{1}{2}$ ,  $88\frac{1}{8}$ , und  $90\frac{1}{8}$  Tage für Frühling, Sommer, Herbst und Winter gemessen (auf der Nordhalbkugel). Obwohl die Planeten im Allgemeinen von Westen nach Osten um die Erde kreisen, wie die Sonne, scheinen sie von Zeit zu Zeit die Richtung umzukehren (retrograde Bewegung). Schließlich ist die Sphäre der Fixsterne nicht dauerhaft in Bezug auf die Ekliptik, den jährlichen Pfad der Sonne, ausgerichtet. Der Schnittpunkt zwischen dem Himmelsäquator und der Ekliptik verschiebt sich um etwa  $1^\circ$ .