

Der Blick in die Sterne
Astronomie
gestern und heute

Der Blick in die Sterne Astronomie gestern und heute

8. Mai bis 7. August 2022

Herausgegeben vom Stadtmuseum | Stadtarchiv Langenfeld



INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	S. 7
Altsteinzeit	S. 10
Jungsteinzeit	S. 12
Bronzezeitliche Funde in Europa	S. 16
Hochkulturen außerhalb Europas	S. 20
Griechenland – Der Beginn der Wissenschaften	S. 26
Das Ptolemäische Weltbild	S. 34
Europäisches Mittelalter und die islamische Welt	S. 37
Frühe Neuzeit und die Kopernikanische Wende	S. 41
Auf dem Weg in die moderne Astronomie	S. 66
Der Mensch im unendlichen Universum	S. 70
Und wie geht es weiter?	S. 78

EINLEITUNG

Von jeher hat der Mensch den Blick in den Himmel gerichtet. Der Lauf der Sterne, Planeten und des Mondes ist mit bloßem Auge sichtbar und fasziniert die Menschheit. Der Versuch einer Deutung dieser Erscheinungen führte vielfach zu religiösen Interpretationen. Himmelskörper wurden mit Göttern gleichgesetzt oder als Göttersitz angesehen.

In vielen Kulturen versuchte man besondere astronomische Ereignisse, sei es das Auftauchen von Kometen, außergewöhnliche Planetenkonstellationen oder Sonnenfinsternisse, in den Zusammenhang mit irdischen Ereignissen zu stellen. Das Schicksal der Menschen sollte unter dem unmittelbaren Einfluss der Gestirne stehen. Durch die Erforschung dieser Phänomene versuchten Sternendeuter zukünftige Ereignisse vorherzusagen. Und auch der Einzelne suchte sein persönliches Glück oder Unglück in den Sternen. Was wir heute als Astrologie bezeichnen, war bis zum Zeitalter der Aufklärung untrennbar mit der Astronomie verbunden.

Astronomische Beobachtungen ermöglichten schließlich die Entwicklung erster Hochkulturen. Denn nur wer den Lauf der Gestirne kennt, ist in der Lage, einen Kalender zu erstellen, der das Leben in höher entwickelten Kulturen organisiert. Ein Kalender ermöglicht es, das kultische Jahr zu regeln und den exakten Termin für Aussaat und Ernte zu bestimmen.

Lange Zeit war es für uns selbstverständlich, dass sich die Himmelserscheinungen um uns herum bewegten. Die Erde wurde als der Mittelpunkt des Universums angesehen. Als sich das heliozentrische Weltbild mit der kopernikanischen Wende im 16. und 17. Jh. durchsetzte, revolutionierte dies die Astronomie. Ein weiterer Durchbruch stellte die Erfindung des Teleskops im 17. Jh. dar. Sternwarten entstanden seitdem überall auf der Welt. Seit Erfindung der Spektralanalyse im 19. Jh. lassen sich auch physikalische Eigenschaften der Himmelskörper untersuchen. Die Technologie entwickelt sich seitdem rasend schnell. Superteleskope lassen uns in nie erahnte Dimensionen des Weltalls vordringen.

In den Sternen erhoffen wir uns bis heute Antworten auf die großen Fragen des Lebens – wo kommen wir her und wo gehen wir hin. Bereits in den meisten alten Kulturen der Erde findet man Erklärungen zum Ursprung des Universums. In einem Schöpfungsmythos aus dem Kongo heißt es bspw., dass Sonne, Mond und Sterne von einem Riesen mit Bauchweh ausgespien wurden. Neben neun Tierarten wurde der Mensch mit einem letzten Würgen hinausgeschoben. Die Babylonier glaubten, das Universum sei bei einer kosmischen Schlacht der Götter entstanden. Inzwischen gilt die wissenschaftliche Urknalltheorie als erwiesen, wird auch seitens der Kirche anerkannt und gilt nicht länger als Widerspruch zu einem Schöpfergott. Damit sind noch lange nicht alle Fragen beantwortet. Technischer Fortschritt lässt uns immer mehr Geheimnisse des Universums entschlüsseln, aber neue Erkenntnisse geben nicht nur Ant-

worten, sondern werfen auch immer neue Rätsel auf. Letztendlich können wir uns der Wahrheit immer nur annähern, ob wir sie jemals ganz finden, steht noch in den Sternen...

ALTSTEINZEIT

Vereinzelte archäologische Funde weisen auf ein Interesse der Menschheit an Himmelserscheinungen bereits in prähistorischer Zeit hin. In der jungpaläolithischen Höhle von Lascaux befinden sich Wandmalereien, die manche Wissenschaftler als eine Karte des Himmels deuten. Einer Theorie zufolge stellen die Tierbilder in der Höhle eigentlich Sternbilder dar, da in den Zeichnungen immer wieder deutliche schwarze Punkte eingestreut sind. Zu sehen sein sollen der Tierkreis, der Sommerhimmel und im „Saal der Stiere“ die Plejaden. Die schwarzen Punkte in der oberen rechten Ecke über dem Stier sollen eine prähistorische Abbildung der sechs mit bloßem Auge erkennbaren Sterne der Plejaden sein. Möglicherweise hatten sie schon damals eine kalendarische Funktion. Die Sternengruppe tauchte jeweils im Herbst auf und erreichte zum Frühjahrsbeginn ihren Zenit. Sie waren somit ein wichtiger Anzeiger für die Jahreszeiten.



Felswand im „Saal der Stiere“ in der Höhle von Lascaux

Im „Schacht des toten Mannes“ finden sich Zeichnungen u. a. eines Wisents, eines Vogels und eines Vogelmenschen mit erigiertem Penis. Der Archäoastronom Michael Rappenglück sieht in den Augen der drei Figuren Darstellungen der Sterne Vega, Deneb und Altair, zusammen bekannt als Sommerdreieck.



Zeichnung im „Schacht des toten Mannes“

Unter dem Felsdach Abri Blanchard wurde ein rund 30.000 Jahre alter Adlerflügelknochen mit gereihten Punktmarkierungen gefunden. Die Anzahl und Anordnung der Punkte könnten möglicherweise die Mondphasen darstellen. Die Beobachtung des Mondes und der Sonne ist für den Steinzeitmenschen von großer Bedeutung gewesen. Das exakte Wissen um deren Bewegungen erleichterte ihnen die Planung des Jagens sowie die Vorbereitung der jahreszeitlich bedingten Wanderungen.

JUNGSTEINZEIT

Mit Beginn der Sesshaftwerdung des Menschen und des Ackerbaus gewinnt die genaue Vorausschau der Jahreszeiten an enormer Bedeutung. Um erfolgreich aussäen und ernten sowie ausreichend Vorräte für den Winter anlegen zu können, ist eine jahreszeitliche Planung unerlässlich. In diese Zeit fällt der Beginn der Kalendererstellung. Um diesen exakt errechnen zu können, sind genaue Beobachtungen des Himmels und gute Kenntnisse über die Mondphasen und den Verlauf der Sonne vonnöten. Es liegt nahe, dass der Beginn des Ackerbaus die Ausbildung von Astralkulten begünstigt hat. Riten, Kulte und religiöse Deutungen der Himmelserscheinungen sind damit verbunden. Schriftliche Zeugnisse aus dieser Zeit existieren nicht, jedoch verweisen zahlreiche erhaltene Bauwerke auf astronomisches Wissen. Viele Hügelgräber wurden nach einer bestimmten Himmelsrichtung ausgerichtet oder Megalith-Steinkreise sind bspw. exakt auf den Sonnenaufgang am Tag der Sommerwende ausgerichtet. Mit ihrer Entschlüsselung beschäftigen sich heute Archäoastronomen.

STONEHENGE

Stonehenge wurde vor über 4000 Jahren errichtet und ist das bekannteste Steinmonument in Großbritannien. Die genaue Funktion von solchen Steinkreisen ist bis heute nicht bekannt und es existieren zahlreiche wissenschaftliche Thesen und Studien. Einigkeit herrscht darüber,

dass es sich um rituelle Kultstätten, also um heilige Orte, handelte. Der Bau einer solchen Anlage war unglaublich schwierig. Riesige tonnenschwere Felsblöcke wurden teilweise über hunderte Kilometer transportiert und in bestimmte Formationen gebracht. Forscher rätseln bis heute, wie die Menschen dies bewerkstelligen konnten. Nur ein Ort von größter Wichtigkeit wird diesen Aufwand wert gewesen sein. Zu den gängigen Theorien gehört auch, dass die Steinkreise nicht nur für Rituale und Festlichkeiten genutzt wurden, sondern auch als Observatorien dienten.

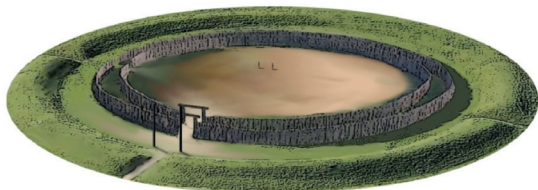


Stonehenge in der Nähe von Amesbury, England

Stonehenge besticht nicht nur durch seine schiere Größe, sondern auch durch seine Vielzahl an astronomischen Bezügen. Die Anlage wurde im Laufe der Jahrhunderte immer wieder verändert und von verschiedenen Völkern genutzt. Heute ist nur noch ein kleiner Teil der ursprünglichen Gesamtanlage erhalten. Die Ausrichtung der Megalithen erfolgte auf die Punkte der Sommer- und Wintersonnenwende, Tagundnachtgleiche, bestimmte Mondphasen und sogar auf die nur alle 18,6 Jahre vorkommende große Mondwende.

KREISGRABANLAGE VON GOSECK

1991 entdeckten Luftbildarchäologen eine rund 7.000 Jahre alte Kreisgrabanlage bei Goseck in Sachsen-Anhalt. Die Anlage wurde zwischen 2002 und 2004 vollständig ausgegraben, 2005 rekonstruiert und gilt als ältestes Sonnenobservatorium Europas. Besucher können hier heute wieder den Lauf der Sonne beobachten.



Rekonstruktion der Kreisgrabanlage von Goseck

Das Monument liegt auf einem Plateau und besteht aus einem annähernd kreisrunden Graben von ca. 70 m Durchmesser, der von einem Wall umgeben ist. Im Inneren befinden sich zwei dicht beieinanderstehende Palisadenringe (ca. 56 und 49 m Durchmesser) aus über drei Meter hohen Holzstämmen. Drei Zugänge im Norden, Südosten und Südwesten durchbrechen die Anlage bis zum Mittelpunkt. Diese Hauptachsen folgen einer astronomischen Ausrichtung. Am Tag der Wintersonnenwende geht die Sonne im südwestlichen Eingang unter und am nächsten Morgen im südöstlichen Tor wieder auf. Das nördliche Tor weist auf den Meridian, also nach Norden. Eine weitere Visierein-

richtung im Palisadenzaun erlaubte die Bestimmung der Sommersonnenwende.

Bis heute wurden über 100 solcher Anlagen in Europa gefunden. Ihre Zugänge sind häufig auf die Punkte der Sonnenauf- und Sonnenuntergänge zur Sommer- und Winter- sonnenwende oder der Tagundnachtgleiche ausgerichtet. In den Anlagen findet man auch immer wieder Menschenknochen, Scherben oder kleine Tonfiguren. Man vermutet daher, dass sie als Versammlungs-, Kult- und Gerichtsplatz dienten.

BRONZEZEITLICHE FUNDE IN EUROPA

Leider kannten die bronzezeitlichen Kulturen in Mittel- und Nordeuropa noch keine Schrift und so liefern uns weiterhin nur die sogenannten „stummen Zeugen“, also archäologische Funde, Rückschlüsse über ihr astronomisches Wissen. Die Interpretation der wenigen Funde ist schwierig, führen zu Kontroversen in den Wissenschaften und geben uns doch einen spannenden Einblick in das Leben der Menschen dieser Epoche.

GOLDHÜTE

Insgesamt vier kegelförmige Goldhüte aus der Bronzezeit wurden bislang in Europa gefunden. Sie enthalten das astronomische Wissen der Bronzezeit. Vermutlich dienten sie religiös-kultischen Zwecken im Rahmen eines zu dieser Zeit weit verbreiteten Sonnenkultes.

Die Artefakte bestehen aus dünnem Goldblech und wurden als Treibarbeit aus einem Stück hergestellt. Die Hüte sind aufwendig punziert und mit Ornamentbändern versehen. Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass auf den Goldhüten astronomische Kalenderfunktionen auf Basis eines lunisolaren Kalendersystems (Mondkalender) abgebildet sind. Die Ornamente zeigen die Zyklen der Sonne und des Mondes an.

Der größte und besterhaltende unter ihnen ist der etwa 3000 Jahre alte Berliner Goldhut. Dieser ist 74,5 cm hoch

und wiegt 745 Gramm. Der Hut wurde 1995 auf dem Kunstmarkt angeboten und wurde wahrscheinlich in Süddeutschland oder der Schweiz gefunden.



Berliner Goldhut

DIE HIMMELSSCHEIBE VON NEBRA

Bei dem rund 3.600 Jahre alten Artefakt handelt es sich um die älteste bekannte Darstellung des Himmels. Die kreisförmige Bronzeplatte misst 32 cm im Durchmesser und besitzt Applikationen aus Gold. Dargestellt ist die Sonne oder der Vollmond, eine Mondsichel sowie 32 Sterne. Die sieben eng beieinanderstehenden Sterne werden als Plejaden gedeutet. Die anderen Sterne stellen keine realen Sterne da, sondern dienen als Zierde. Im Laufe der Jahre wurde die Scheibe immer wieder verändert. Zuerst wurden am rechten und linken Rand goldene Horizontbögen ergänzt,

wovon der linke heute fehlt. Einzelne Sterne wurden überdeckt oder versetzt. Später wurde ein goldener Bogen am unteren Rand ergänzt, der als Schiffsdarstellung, als „Sonnenbarke“, und damit als mythisches Element interpretiert wird. Zuletzt wurde der Rand der Himmelsscheibe gelocht.

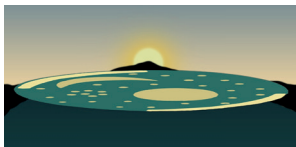


Himmelsscheibe von Nebra

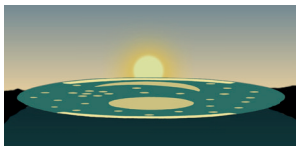
Anhand der Plejaden wurde der Termin zur Aussaat und Ernte bestimmt. Sie sind um den 10. März ein letztes Mal in der Abenddämmerung sichtbar und um den 17. Oktober tauchen sie am Morgenhimmel wieder auf. Im Frühling sieht man in der Abenddämmerung neben den Plejaden einen schmalen sichelförmigen Mond, im Herbst werden sie am Morgenhimmel von einem Vollmond begleitet. Beides könnte auf der Scheibe abgebildet sein.

Die Horizontbögen auf der Scheibe spannen einen Winkel von 82° auf, was auf dem Breitengrad von Nebra dem Unterschied der täglichen Sonnenbahn zwischen Sommer- und Wintersonnenwende entspricht. Wenn man die

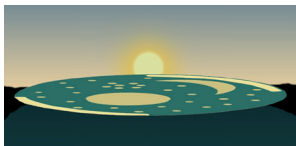
Himmelsscheibe von ihrem Fundort aus auf den Brocken ausrichtet, markiert der goldene Bogen die Wanderung der Sonnenuntergänge zwischen den Sonnenwenden.



Sommersonnenwende: Durch Ausrichtung vom Mittelberg zum Brocken wird die Scheibe justiert. Dargestellt ist der Sonnenuntergang.



Herbst- und Frühlingsanfang. Blick auf den Sonnenuntergang zur Tagundnachtgleiche. Die Sonne geht zu dieser Zeit 41° weiter südlich unter. Die Ausrichtung der Scheibe ist unverändert.



Wintersonnenwende: Der Sonnenuntergang hat seinen südlichsten Punkt erreicht und befindet sich nun 82° links seines nördlichsten Punkts. Die Ausrichtung der Scheibe ist unverändert.

Ob die bronzezeitlichen Menschen die Himmelsscheibe von Nebra tatsächlich in dieser Form nutzten oder nur vorhandenes Wissen abgebildet werden sollte, ist bis heute allerdings unklar.

HOCHKULTUREN AUSSERHALB EUROPAS

Während sich unsere Kenntnisse der vorgeschichtlichen Kultur in Europa und ihr Wissen bzw. Vorstellungen vom Wesen des Himmels auf archäologische Funde und Überreste stützen, haben uns die frühen Hochkulturen der Mesopotamier, Ägypter, Maya, Griechen, Chinas, Indiens und des Islams bereits schriftliche Zeugnisse hinterlassen. Ihre Beweggründe zur Ergründung des Himmels waren sowohl von mystisch-religiöser Natur als auch konkret praktisch motiviert.

MESOPOTAMIEN

Bereits im 3. Jahrtausend vor Christus begann man im Zweistromland den Lauf der Sterne und der Planeten, die Zeiten von Sonnenauf- und untergängen sowie ungewöhnliche Himmelsphänomene wie Kometen auf Tontafeln mittels Keilschrift festzuhalten und zu deuten. Auch die bekanntesten Tierkreiszeichen wurden bereits benannt. Durch lange Beobachtungsreihen gelang es den Babyloniern um 1000 v. Chr. die Positionen der Himmelskörper zu berechnen und bestimmte Himmelserscheinungen vorauszusagen.

Sogenannte Priesterastronomen versuchten in den Gestirnen den Willen der Götter zu ergründen. Die Mesopotamier benutzten einen Mondkalender. Das Mondjahr war in 12 Monate zu 30 oder 29 Tagen eingeteilt und somit 11 Tage

kürzer als das astronomische Sonnenjahr, welches 365,25 Tage beträgt. Zum Ausgleich wurde in bestimmten Jahren ein 13. Schaltmonat eingeführt. Erstaunlich sind die fast nahezu exakt errechneten astronomischen Daten.

Der synodische Monat (Mondmonat = Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichen Mondphasen) beträgt heute 29,530589 d (29 Tage, 12 Stunden, 44, Minuten, 2,9 Sekunden). Bereits um 380 v. Chr. errechneten die Babylonier einen Wert von 29,530594. Auch die Umlaufzeiten anderer Planeten, bspw. die der Venus oder des Mars konnten bereits genau berechnet werden. Auch die Entdeckung des Saroszyklus (Eine sich alle 18,03 Jahre wiederholende Finsternis) geht auf die Mesopotamier zurück.

ÄGYPTEN

Auch die ägyptische Astronomie reicht bis in das 3. vorchristliche Jahrtausend zurück. Sie war untrennbar mit der Mythologie und der Religion verbunden, so dass man im alten Ägypten von einer religiösen Astronomie spricht. Götter konnten sowohl in Gottgestalt als auch als himmlische Wesenheit auftreten. So wurden die Himmelserscheinungen mit Göttern personifiziert. Besondere Bedeutung hatte der Sonnengott Re.

Interessant ist, dass die Sonne zu verschiedenen Tageszeiten auch andere Gottheiten repräsentierte. So wird die Morgensonne mit Chepri (der Entstehende) und die Abendsonne mit Atum (der Vollendete) gleichgesetzt.

Ähnlich ist es mit dem Mond, seine Phasen konnten ebenfalls personifiziert werden. Auch ganze Sternzeichen, der Große Wagen wird etwa als Seth identifiziert, konnten Göttern entsprechen. Die sicht- und messbaren Erscheinungen am Himmel wurden mythologisch gedeutet und erzählen mitunter ganze Geschichten. Die Ägypter besaßen durchaus ein umfangreiches astronomisches Wissen, jedoch lag der Fokus ihres Interesses im Religiösen. Dem König kam hierbei eine Schlüsselrolle zu. Er war das Bindeglied zum Kosmos und wurde bereits zu Lebzeiten nicht mehr als normaler Mensch angesehen, sondern als Empfänger der göttlichen Befehle des Himmels.



Nut ist die Göttin des Himmels. Sie symbolisiert das schützende Firmament und gilt als die Mutter der Gestirne. Sie wird meist nackt mit bogenartig gewölbtem Leib über den Erdgott Geb dargestellt. Die Abbildung stammt von dem 3000 Jahre alten Begräbnis-Papyrus des Amun-Priesters Djed-chonsu-iaf-anch in Karnak.

Die von den Ägyptern verwendeten Messmethoden sind nicht bekannt. Ihr Sonnenkalender hatte 365 Tage und wurde in 12 Monate aufgeteilt. 10 Tage dauerte eine Woche („Dekane“). Das Jahr begann mit dem Aufgang des Sirius im Osten (um den 17. Juli herum), da sein Erscheinen die Nilschwemme ankündigte, die die Fruchtbarkeit der Felder

garantierte. Zu jeder „Dekane“ gehörte ein Sternbild oder ein Einzelstern.

CHINA

Astronomie hat in China eine lange Tradition und entwickelte sich völlig unabhängig von der babylonischen und der westlichen. Die Erforschung des Himmels verfolgte dabei zwei unterschiedliche Ziele: Die *lifa* (die Kalenderkunde) ordnete das irdische Leben durch die Schaffung eines Kalenders und die *tianwen* (die Himmelszeichen) suchten in den kosmischen Vorgängen nach Botschaften des Himmels. Die Beobachtung der Gestirne war Aufgabe der Hofastronomen.

Der Kaiser von China wurde als Sohn des Himmels bezeichnet. Ihm oblag es, die Himmelserscheinungen richtig vorherzusagen und zu interpretieren. Gelang ihm dies nicht, konnte ihm das als himmlische Missgunst ausgelegt werden und das Volk in Aufruhr versetzen. Beamte, die den Kaiser schlecht berieten, verloren schnell ihr Leben, wie die beiden Astronomen Ho und Hi, denen es 2136 v. Chr. nicht gelang, eine Sonnenfinsternis vorherzusagen. Astronomische Aufzeichnungen sind aus dem Bereich der *lifa* bis etwa 100 v. Chr. überliefert, die der *tianwen* reichen bis ca. 1100 v. Chr. zurück. Der erste bekannte Sternenkatalog von Shi Shen stammt aus dem 4. Jh. v. Chr. Sein Zeitgenosse Gan De machte die ersten detaillierten Beobachtungen des Jupiters und sichtete wahrscheinlich als Erster den Jupitermond Ganymed. Eine Entdeckung, die erst rund 1500

Jahre später wieder Galileo machen sollte. Die älteste erhaltene Sternenkarte ist die sog. Dunhuang-Sternkarte, die vermutlich aus dem Jahre 649 bis 684 n. Chr. stammt und die 257 Sternbilder mit über 1300 Sternen zeigt.



*Ausschnitt aus der Gegend um den Nordpol des Himmels
aus der Dunhuang-Sternenkarte*

MAYA

Die Maya sind für ihre Kalenderberechnung berühmt, vor allem seit Hollywood ihre angebliche Weltuntergangsprognose für den 21. Dezember 2012 vermarktete, ein Irrglaube, der sich bis heute hartnäckig hält. An diesem Tag endete lediglich ein Zyklus im Maya-Kalender und nicht die ganze Welt. Faszinierend ist der Maya-Kalender, der aus drei Elementen besteht, dennoch. Er kann es in puncto Genauigkeit durchaus mit dem Gregorianischen Kalender aufnehmen. Das astronomische Wissen dieser mesoamerikanischen Hochkultur war enorm und ihre Mathematik

war der der Römer weit überlegen. Der Kalender „Haab“ teilte das Sonnenjahr in 18 Monate mit jeweils 20 Tagen. Am Ende kamen fünf Tage hinzu, so dass man auf 365 Tage kam. Mit dem 260 Tage zählenden Ritualkalender „Tzolkin“ wurden Riten festgelegt und Wahrsagerei betrieben. Die „Lange Zählung“ ist ein absoluter Kalender und beginnt - nach unserer Zeitrechnung - am 13. August 3114 v. Chr. und zählt fortlaufend die Tage. Die Kalender bestimmten den Alltag und die Mythologie der Maya. Verantwortlich hierfür waren die Priester. Sonne, Venus und Mond wurden als Gottheiten verehrt und ihre Bewegungen genauestens studiert und festgehalten. Das Sonnenjahr wurde auf 365,2420 Tage berechnet und weicht somit nur 17,28 Sekunden zu heute ab.



Haab Zyklus: 18 Monate mit je 20 Tagen plus ein Monat mit nur fünf Tagen

GRIECHENLAND - DER BEGINN DER WISSENSCHAFTEN

Das enorme astronomische Wissen der Mesopotamier erreichte auch den Mittelmeerraum und wurde von den antiken Gelehrten und Philosophen aufgenommen. Die Griechen übernahmen die Planetenbezeichnungen und verschiedene Messmethoden und verbesserten diese im Laufe der Zeit. Auch das Wissen um periodisch wiederkehrende Himmelsereignisse wurde gesammelt und genutzt. Im Unterschied zu den Babyloniern suchten die Griechen im Himmel jedoch nicht nach göttlichen Vorzeichen, sondern nach den Hintergründen der Natur. Ihre Vorstellungen vom Wesen des Kosmos waren nicht religiös-mystisch, sondern rational.

Man begann erstmals Astronomie aus rein wissenschaftlichen Zwecken zu betreiben. Die Griechen waren die ersten, die über die reine Beobachtung hinausgingen und nach allgemeingültigen Prinzipien suchten. Zur Ergründung der Himmelsphänomene stützten sie sich nicht auf mathematische Methoden, die Mesopotamier hatten das Universum arithmetisch verstanden, sondern sie entwickelten eine geometrische Herangehensweise. Sie postulierten als Erste ein geozentrisches Weltbild, welches bis zur Aufklärung seine Gültigkeit behielt. Auch die Kugelgestalt der Erde erkannten die Griechen. Im Laufe der Jahrhunderte entwickelten sie allumfassende Modelle und Weltbilder.

THALES VON MILET (624 - 547 v. CHR.)

Er gilt als Begründer der ionischen Naturphilosophie, Astronomie und Geometrie. Er löste die kosmischen Vorstellungen vom Mythos, entwickelte als Erster ein naturwissenschaftliches Denken und versuchte die Welt rational zu erklären. Er entwickelte die These, dass das Wasser der Ursprung aller Dinge sei. Thales soll die Sonnenfinsternis vom 28. Mai 585 v. Chr. vorhergesagt haben, was allerdings umstritten ist.

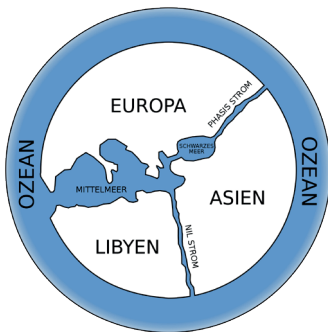


*Thales soll in einen Brunnen gefallen sein, als er zu den
Sternen schaute und nicht auf seine Füße achtete.
(The Astrologer who Fell into a Well. Fable by Jean de La Fontaine)*

ANAXIMANDER (UM 610 - NACH 547 v. CHR.)

Er gilt als Schüler von Thales und suchte ebenfalls nach dem Ursprung alles Seins. Für ihn war jedoch nicht das Wasser der Urstoff, sondern das *Ápeiron* (das grenzenlos Unbestimmte). In seinem Weltbild löste er die Erdscheibe

vom gewölbten Himmel und beschrieb sie als freischwebend innerhalb einer Himmelskugel. Dabei stellte er die Erde in den Mittelpunkt des Universums. Er postulierte somit als Erster das geozentrische Weltbild. Allerdings hatte die Erde noch die Gestalt eines Zylinders, dessen Breite dreimal so groß wie dessen Höhe war. Sonne, Mond und Sterne stellte er sich als mit Feuer gefüllte Räder und Zylinder vor, die um die Erde kreisen. Durch Löcher wäre das Feuer (als Gestirne) von der Erde aus sichtbar. Anaximander verwendete als Erster den Ausdruck Kosmos, nutzte die Sonnenuhr und fertigte eine Erdkarte sowie einen Himmelsglobus an.



Weltbild des Anaximanders (von oben betrachtet)

ANAXIMENES (UM 585 - 525 v. CHR.)

Er war der Schüler von Anaximander. Für ihn war das Urprinzip der Welt die Luft, welche auch die Erdscheibe

trägt. Er stellte sich den Himmel wiederum als Halbschale vor, auf der sich Sonne und Mond in Bahnen bewegen. Sie bewegen sich nicht unter der Erde durch, sondern um die Erde herum. Nachts wird die Sonne von höheren Erdteilen verdeckt. Die Sterne sollten am Himmelsgewölbe wie Nägel befestigt sein. Anaximenes erkannte als Erster, dass der Mond nicht von sich aus strahlt, sondern dass er das Licht der Sonne reflektiert.

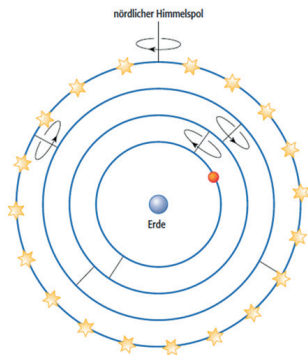
PYTHAGORAS VON SAMOS (UM 570 - NACH 510 V. CHR.)

Er sah in der Kugelgestalt den idealen Körper und schrieb diese Gestalt somit auch der Erde und dem Himmel zu. Zusammen mit der Sonne und den anderen Planeten sollten diese auf Bahnen um ein Zentralfeuer, welches den Mittelpunkt des Universums bildet, kreisen. Die bewohnten Teile der Erde lagen jedoch stets abgewandt vom Zentralfeuer, so dass dieses für die Menschen nicht sichtbar ist. Auf der innersten Bahn kreist die für uns unsichtbare Gegenerde. Darauf folgt die Erdbahn, dann die Bahnen von Mond und Sonne, gefolgt von den Planetenbahnen. Als letztes folgt eine kugelförmige Schale, auf der die Fixsterne befestigt sind. Die Schule der Pythagoreer entwickelten die Idee der Sphärenharmonie. Hierbei handelt es sich um einen für den Menschen unhörbaren kosmischen Klang, der durch die Kreisbewegungen der Planeten entsteht.

EUDOXOS (UM 397 - 340 v. CHR.)

Er entwickelte mit seiner Theorie der homozentrischen Sphären ein System zur Beschreibung der Planetenbewegungen im Rahmen eines geozentrischen Weltbildes. Für jeden Himmelskörper nahm er ein eigenes System konzentrischer Sphären (Kugelschalen) an. Dadurch, dass er jedem Planeten mehrere miteinander verbundene Sphären zuordnete, konnte er die scheinbar widersprüchlichen Bewegungen am Himmel besser erklären. Jede Sphäre dreht sich mit einer anderen Geschwindigkeit um ihre Achse. Bereits den Mesopotamiern war das Phänomen bekannt, dass Planeten, bspw. der Mars, gelegentlich rückwärts laufen. Mit den bisherigen Himmelsmodellen ließen sich diese retrograden Bewegungen nicht erklären. Eudoxos waren sieben sich bewegende Himmelskörper bekannt: Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Jedem dieser „Wandelsterne“ ordnete er 2 bis 3 Sphären sowie die äußerste Fixsternsphäre zu. Im Zentrum aller Sphären setzte er die unbewegliche Erde. Somit konnte er nicht nur die Himmelsphänomene erklären, sondern entsprach auch den philosophischen Grundsätzen, wonach die Himmelsmechanik an gleich- und kreisförmige Bewegungen gebunden ist.

Man stellte sich den Kosmos wohlgeordnet vor, für Unregelmäßigkeiten gab es keinen Platz. Insgesamt bestand Eudoxos' Himmel aus 26 konzentrischen, einander umkreisenden Sphären. Den Mittelpunkt des Universums bildet die Erde.



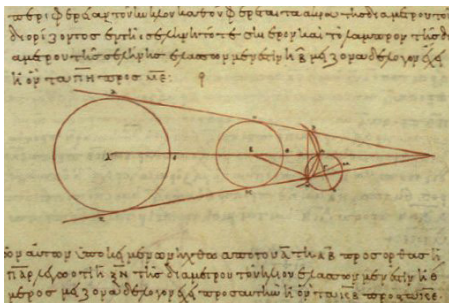
Querschnitt durch die homozentrischen Kugeln eines Eudoxos Modells

Natürlich konnte Eudoxos' Modell nicht alle Probleme beheben. Versuchte man doch, die Wanderungen der Planeten im Rahmen eines geozentrischen Modells vorherzusagen. Folglich wurden Verbesserungen vorgenommen. Kallippos von Kyzikos (ca. 370 - 300 v. Chr.) schrieb der Sonne und dem Mond je zwei weitere Sphären und Merkur, Venus und Mars je eine weitere Sphäre zu. Aristoteles (384 - 322 v. Chr.) erweiterte das Modell auf insgesamt 55 Sphären. Zudem erkannte Aristoteles die Kreisförmigkeit des Erdschattens bei einer Mondfinsternis und sah hierin den Beweis, dass die Erde eine Kugel ist.

ARISTARCHOS VON SAMOS (UM 310 - 230 v. CHR.)

Er formulierter als Erster ein heliozentrisches Weltbild. Er rückte nicht nur die Sonne in den Mittelpunkt und ließ die

Planeten einschließlich der Erde um diese kreisen, sondern er erkannte auch bereits, dass die Erde sich um sich selbst dreht und damit den Tag/Nacht-Rhythmus erzeugt. Weiter ließ er die Erde in einem jährlichen Umlauf um die Sonne kreisen und erklärte somit die Jahreszeiten. Seine Theorie fand wenig Beachtung und konnte sich folglich nicht durchsetzen. Es sollte noch bis ins 16. Jh. dauern, bis das heliozentrische Modell wieder aufgegriffen wurde. Aristarchos entwickelte zudem eine Methode zur Bestimmung des Verhältnisses der Entfernungen von Erde-Mond und Erde-Sonne und zog Rückschlüsse auf die Größe der Himmelskörper.



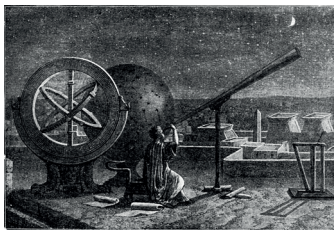
Aristarchos' Berechnungen der Größen von Erde, Sonne und Mond.

ERATOSTHENES VON KYRENE (UM 276 - 194 v. CHR.)

Ihm gelang es erstmals, den Umfang der Erde erstaunlich genau zu berechnen. Er errechnete einen Wert von 252.000 Stadien, was ca. 39.690 km entspricht. Der tatsächliche Erdumfang beträgt im Mittel 40.030 km.

HIPPARCHOS VON NICÄA (UM 190 - 120 v. CHR.)

Er gilt als der bedeutendste Astronom der Antike. Er erstellte ein 850 Fixsterne erfassendes Verzeichnis nebst Sternkarte, das bis Kopernikus als Grundlage für alle weiteren Verzeichnisse verwendet wurde. Auch die Sternenhelligkeit wurde erstmals von ihm erfasst. Hipparchos fertigte einen mathematisch exakten Himmelsglobus an. Er entdeckte die Präzessionsbewegung der Erde, durch welche sich die Verschiebungen der Sterne erklären lassen. Durch die Einwirkung der Masseanziehung von Mond und Sonne auf die Neigung der Erdachse ändert sich der Anblick der Sterne einmal alle 25.772 Jahre um 360 Grad. Das von ihm errechnete Sonnenjahr weicht nur 6,5 Minuten von der tatsächlichen Länge ab. Hipparchos stellte die unterschiedliche Länge der Jahreszeiten fest und führte diese auf eine exzentrische Bahn der Sonne um die Erde zurück. Exzentrisch bedeutet, dass der Kreis die Erde umspannt, die Erde aber nicht im Mittelpunkt des Kreises liegt. Er entwickelte präzise genaue Messmethoden und seine Beobachtungen waren überaus genau.



Hipparchos auf der Sternwarte von Alexandrien, Holzstich 1876

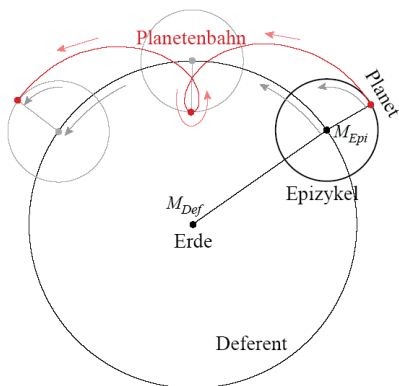
DAS PTOLEMÄISCHE WELTBILD



Neuzeitliches Idealpoträt von Claudius Ptolemäus, 1584

Claudius Ptolemäus (um 100 - 160 n. Chr.) ist wohl der bekannteste Astronom der Antike und Begründer eines geozentrischen Weltbildes, welches für die nächsten eineinhalb Jahrtausende Bestand haben sollte. Über das Leben des Astronomen, Mathematikers und Geografen ist nur so viel bekannt, dass er in Alexandria lebte, einem bedeutenden Zentrum für astronomische Forschung. Ptolemäus fasste das damalige Wissen seiner Vorfahren über Astronomie und Mathematik zusammen und veröffentlichte dieses in seinem Hauptwerk *Megiste Syntaxis*. Die Originalschrift ging verloren, jedoch wurde sie später im arabischen Raum unter dem Namen *Almagest* veröffentlicht. Darin übernahm er den Sternenkatalog des Hipparch und erweiterte diesen

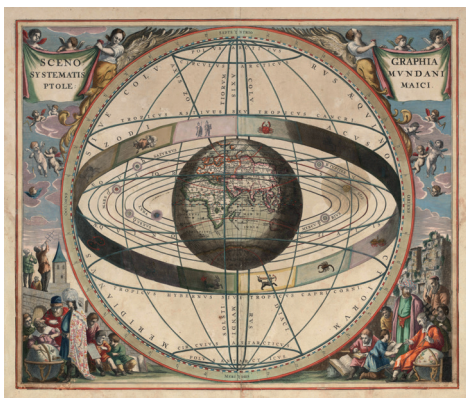
auf 1025 Sterne, deren Koordinaten er genau festlegte. Er beschreibt weiter 48 Sternbilder und einige sichtbare Nebel. Sein Buch wurde zum Standardwerk und Grundlage für astronomische Wissenschaften bis in die Frühe Neuzeit. Das darin von ihm entworfene Ptolemäische Weltbild blieb bis zur kopernikanischen Wende unantastbar.



Ptolemäisches Weltbild mit Epizykel und Deferent. Dargestellt ist eine Schleifenbahn eines Planeten nach der Epizykeltheorie. Die Erde steht unbeweglich im Mittelpunkt. Der Planet beschreibt die beobachtete rückläufige Bahn.

Auch bei Ptolemäus stand die Erde fest und unbeweglich im Mittelpunkt des Himmels. Alle anderen Himmelskörper umkreisen diese auf ihren Kugelschalen. Ganz außen befindet sich die Kugelschale mit den Fixsternen. Allerdings konnten die Astronomen beobachten, dass die Helligkeit der Planeten nicht immer gleich ist, was sich nur durch un-

terschiedliche Entfernungen zur Erde erklären lässt. Auch konnten die unregelmäßigen Bewegungen der Planeten nicht mit den gleichförmigen Kreisbewegungen in Einklang gebracht werden. Dieses Problem löste Ptolemäus, indem er sein Weltbild mit sogenannten Epizykeln ergänzte. Diese sind kleine Hilfskreise, die mit den Hauptkreisen, den Deferenten, verbunden sind. Die Himmelskörper bewegen sich dadurch auf einer Kombination mehrerer Kreisbahnen. Der Epizykel rotiert um die Stelle des Deferenten, an der er mit diesem verbunden ist, und mit ihm bewegt sich der Planet. Es entstehen dadurch Ellipsen, durch die der Abstand zwischen Planeten und Erde variiert. Mit den Epizykeln lassen sich auch die scheinbaren Schleifenbewegungen der Planeten erklären.



*Karte aus der Harmonia Macrocosmica von Andreas Cellarius, 1660,
Der Kosmos des Ptolemäus*

EUROPÄISCHES MITTELALTER

UND DIE ISLAMISCHE WELT



*Das griechische Weltbild wurde im Mittelalter häufig mit christlichem Inhalt gefüllt.
Das Stundenbuch des Neville von Hornby zeigt z. B. gefallene Engel, 14. Jh.*

Das geozentrische Weltbild des Ptolemäus sollte während des gesamten Mittelalters seine Gültigkeit behalten. An frühmittelalterlichen Klosterschulen wurde Astronomie im Rahmen des Quadriviums zwar unterrichtet, galt aber im Wesentlichen als abgeschlossenes Fach. Dem Klerus ging es vor allem darum, das Osterdatum korrekt berechnen zu können. Insgesamt blieben jedoch die astronomischen Kenntnisse eher dürftig. Ein großer Teil des antiken Wis-

sens war im lateinsprachigen Westen im Zuge der Völkerwanderung verlorengegangen. Die wenigen erhaltenen astronomischen Werke wurden in Klöstern lediglich abgeschrieben und weitergegeben. Das astronomische Handbuch Megiste Syntaxis des Ptolemäus hatte sich zunächst unter dem Titel *Almagest* im arabischen Raum verbreitet. Erst im 12. Jahrhundert wurde das Werk sowie weitere astronomische Schriften der Antike aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzt und standen nun auch christlichen Astronomen und Studierenden an den Universitäten zur Verfügung. Wesentliche neue Erkenntnisse wurden allerdings nicht gewonnen.



Illustrationen aus dem Buch der Fixsterne des persischen Astronomen Abd ar-Rahman as-Sufi, ca. 964. Die traditionellen arabischen Sternbilder werden in dem Werk mit dem Sternkatalog des Ptolemäus zusammengeführt.

Im Gegensatz zum christlich geprägten Mitteleuropa machten die Astronomen der arabischen Welt einige Fortschritte in den Wissenschaften von den Gestirnen. Sie übersetzten und studierten nicht nur die griechischen Werke, sondern rezeptierten auch indisches und spätbabylonisches Wissen. Die Sternenkundler beobachteten den Himmel sehr genau und es setzte eine rasche Entwicklung auf dem Gebiet der Astronomie ein. Die Gelehrten verbesserten Vermessungstechniken und entwickelten astronomische Instrumente weiter, wie etwa das Astrolabium. Dies hatte auch religiöse Hintergründe: Die Gebets- und Fastenzeiten sowie die genaue Gebetsrichtung nach Mekka während des Gebetes konnten mittels der Astronomie berechnet werden.

Ab dem 8. Jahrhundert entstanden neue Sternenkataloge und Tabellen zur Planetenbewegung. Mittels der Trigonometrie gelang ihnen eine äußerst exakte Kartierung der Erde und des Himmels. Um neue astronomische Daten möglichst genau ermitteln zu können, wurden auch Sternwarten gebaut. Im Jahre 829 eröffnete in Bagdad das erste Observatorium. Im 10. Jahrhundert beschrieb der persische Astronom Abd ar-Rahman as-Sufi erstmals die Andromeda Galaxie, die der Erde nächstgelegene Galaxie. Ein Jahrhundert später wurden die gewonnenen astronomischen Daten in den Toledaner Tafeln zusammengetragen. Sie enthalten Tabellen zur Berechnung der Stellung von Sonne, Mond und den Planeten. Die Tafeln gelangten auch nach Europa und wurden dort durch die Alfonsinischen Tafeln im 13. Jahrhundert ersetzt. Aufgrund ihrer Beobachtungen bemerkten einige der arabischen Astro-

nomen Unstimmigkeiten im geozentrischen Weltbild des Ptolemäus. Sie verwarfen die Lehre der Epizykel und Exzentrizität und man versuchte eigene Theorien aufzustellen. Überwunden wurde das geozentrische Weltbild jedoch nicht. Die Schriften der arabisch-islamischen Wissenschaftler wurden im ausgehenden Mittelalter zunehmend in Europa studiert und diskutiert. Es sollte aber noch bis Kopernikus und seinen Nachfolgern dauern, bis bahnbrechende astronomische Erkenntnisse das Weltbild für immer veränderten.

FRÜHE NEUZEIT

UND DIE KOPERNIKANISCHE WENDE

Die sog. kopernikanische Wende bezeichnet den Übergang vom Mittelalter zur Neuzeit. Eine Zeit, die für weite Teile der Welt tiefgreifende Veränderungen mit sich brachte und letztendlich zu einem grundlegenden Wandel im menschlichen Selbstverständnis führte.

Im Laufe des 15. und 16. Jhs. verwandelte sich die Lebenswelt der Menschen in Mitteleuropa maßgeblich. Ausdruck des Wandels, aber auch Motor für diesen Umbruch war eine Reihe epochaler Ereignisse, von denen nur die drei markantesten hier genannt werden sollen: Um 1450 erfand Johannes Gutenberg den Buchdruck mit beweglichen Lettern und sorgte damit für eine mediale Revolution, deren Bedeutung mancher heute mit der Digitalisierung gleichsetzt. 1492 betrat Christoph Kolumbus als erster neuzeitlicher Europäer amerikanischen Boden und eröffnete damit den Zugang zu einem bisher unbekannten Kontinent. Schließlich führte Martin Luther mit seinen 1517 angeschlagenen Thesen die Spaltung der Kirche herbei, die letztendlich bis heute spürbare politische, soziale und kulturelle Auswirkungen hatte.

War die Welt des mittelalterlichen Menschen in Westeuropa über Jahrhunderte in erster Linie von Glauben und Kirche bestimmt und sein irdisches Leben auf das Jenseits ausgerichtet, trat der Mensch nun als Individuum in den Fokus.

Er blickte mit anderen Augen auf seine Umwelt und in den Himmel. Lange Zeit hatte man am geozentrischen Weltbild festgehalten, das eine unbewegte Erde ins Zentrum des unveränderlichen Universums stellte.

Doch nun traten Gelehrte auf den Plan, die durch intensive Beobachtungen und Berechnungen belegen konnten, dass nicht die Erde, sondern die Sonne das Zentrum bildet, um das alles kreist. Das heliozentrische Weltbild setzte sich durch. Nicht dem plötzlichen Geistesblitz eines einzigen klugen Kopfes ist die neue Sicht auf das Universum zu verdanken. Vielmehr war es ein allmählicher Prozess, der von mehreren Seiten angestoßen wurde und immer wieder auf Widerstände traf.

Es sind vor allem drei Namen, die noch heute mit den Fortschritten der frühneuzeitlichen Astronomie in Verbindung gebracht werden: Nikolaus Kopernikus, Galileo Galilei und Johannes Kepler. Wohl weniger bekannt sind heute Simon Marius und Tycho Brahe, deren Beiträge zur Forschung jedoch nicht geringer zu schätzen sind.

Letztendlich war es schließlich Isaak Newton, der mit seinen Gesetzen den Wandel der Astronomie von einer beobachtenden zu einer physikalischen Wissenschaft einleitete.

NIKOLAUS VON KUES (1401-1446)

Jahrhunderte hindurch wurde nicht klar zwischen Geistes- und Naturwissenschaften getrennt. Die Astronomie gehör-

te seit der Antike zu den sieben freien Künsten und wurde auch aus philosophischer Perspektive betrachtet.



*Stifterbild vom Hochaltar der Kapelle des St.-Nikolaus-Hospitals,
Bernkastel-Kues, um 1450/60.*

Mitte des 15. Jhs. war es der Kardinal Nikolaus von Kues (1401-64), der aus theologisch-philosophischen Überlegungen heraus anzweifelte, dass die Erde wirklich das unbewegte Zentrum des Universums bilde. In seiner Schrift *De docta ignorantia* (Über die belehrte Unwissenheit, 1440) legte er dar, dass es in einem unendlichen Weltall, dessen Anfang und Ende nicht festlegbar ist, auch keinen Mittelpunkt geben kann. Von daher war auch die Heliozentrik für ihn keine Option.

Mit seinen Überlegungen, deren geistesgeschichtliche Wurzeln in der mittelalterlichen Scholastik lagen, über diese aber hinausgingen, legte Kues die Grundlagen für die Abwendung vom geozentrischen Weltbild.

NIKOLAUS KOPERNIKUS (1473-1543)

RÜCKT DIE SONNE INS ZENTRUM

In der wahren Mitte von allem sitzt die Sonne

Nikolaus Kopernikus versetzte einem mehr als 1.000 Jahre für gültig gehaltenen Weltbild den ersten maßgeblichen Todesstoß und wurde damit zum Namenspatron eines fundamentalen historischen Umbruchs: der kopernikanischen Wende.



Ausschnitt aus dem Kopernikus-Epitaph der Kirche St. Johann in Thorn', 16. Jh.

1473 in Thorn, (Polen), geboren, studierte Kopernikus in Krakau, Bologna, Padua sowie Ferrara und erwarb einen Dokortitel in Kirchenrecht. Zurückgekehrt in seine Heimat hatte er bis zu seinem Tod das Amt des Domherrn im

damaligen Frauenburg inne. Schon in Krakau hatte Kopernikus begonnen, sich mit der Sternkunde zu beschäftigen. Seine astronomischen Forschungen und Beobachtungen brachten ihn dazu, vom tradierten geozentrischen Weltbild abzurücken und die Sonne in das Zentrum des Universums und der Planetenbewegungen zu stellen. Nicht nur das: Er folgerte aus seinen Beobachtungen und Berechnungen, dass sich die Erde im Laufe eines Tages einmal um sich selbst drehe.

Erstmals hielt er seine Überlegungen vermutlich um 1509 in den sog. *Comentariolus* fest, die er jedoch nicht veröffentlichte. Sein eigentliches Hauptwerk *De revolutionibus orbium coelestium* erschien erst unmittelbar vor seinem Tod 1543. Grund für das lange Zögern, mit seinen Ideen an die Öffentlichkeit zu treten, war wohl weniger die Angst vor einer Verfolgung durch die Kirche, als vielmehr die Furcht, sich der Lächerlichkeit preiszugeben.

Mit seinen Erläuterungen widersprach Kopernikus nicht nur dem von der Kirche vertretenen Weltbild, sondern auch den alltäglichen Wahrnehmungen und somit augenscheinlich dem gesunden Menschenverstand. Müsste, wenn sich die Erde wirklich drehe, ein in die Luft geworfener Gegenstand nicht an einem anderen Ort wieder zu Boden fallen? Warum spüren wir diese enorm schnelle Bewegung nicht? Und müsste die Erde bei ihrer Kreisbewegung nicht den Mond verlieren? Kopernikus ging davon aus, dass sich die Atmosphäre zusammen mit der Erde bewege und somit auch alle Gegenstände dieser Bewegung folgten.

Kopernikus hielt weiterhin an der Vorstellung kreisrunder Planetenbahnen fest. Daraus ergaben sich jedoch ähnliche Probleme, wie die, mit denen schon die antiken Forscher zu kämpfen hatten. Auch bei ihm stimmte der tatsächliche Lauf einiger Himmelskörper nicht mit der Vorstellung überein, sie bewegten sich gleichmäßig auf runden Bahnen um ein Zentrum. Zwar konnte er die vermeintlichen Schleifen der Planeten mit den unterschiedlichen Umlaufgeschwindigkeiten erklären, doch zur Berechnung anderer Unstimmigkeiten musste auch er sich der Epizykel bedienen.

TYCHO BRAHE (1564-1601)

ENTWICKELT SEIN EIGENES WELTBILD

Auch in der Astrologie haben wir eine Arbeit vollbracht, auf die nicht von denen herabgesehen werden sollte, die den Einfluss der Sterne studieren. Unser Ziel war es, dieses Gebiet von falschen Annahmen und Aberglauben zu befreien.



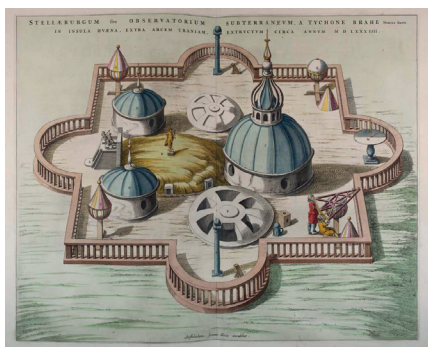
Tycho Brahe, 1596, Skokloster Slott.

Im Jahr 1572 konnte der dänische Astronom Tycho Brahe ein helles Licht im Sternbild Kassiopeia beobachten. Ein Phänomen, das auch anderen Gelehrten der Zeit nicht entgangen war. Doch Brahes Deutung war revolutionär: Er sah darin einen neuen Stern, eine nova stella. Etwas, das bis zu diesem Zeitpunkt für unmöglich gehalten worden war. Fußend auf Aristoteles' Lehre von der Unveränderlichkeit der himmlischen Sphären, war man davon ausgegangen, dass vergleichbare Phänomene auf Vorgänge in der Atmosphäre zurückzuführen seien. Brahe konnte nun durch präzise Beobachtung belegen, dass die Himmelserscheinung auf gleicher Ebene wie die Fixsterne liegen musste. Beweis dafür war das Fehlen einer parallaktischen Bewegung, also das Ausbleiben einer Verschiebung vor dem Fixsternhintergrund, wenn man seinen Standpunkt auf der Erde änderte. Heute weiß man, dass es sich nicht um die Geburt, sondern um den Tod eines Sternes handelte - um eine Supernova.

1546 in eine dänische Adelsfamilie geboren, wandte sich Brahe früh der Astronomie zu. Im Laufe seiner Forschungen wurde ihm klar, wie wichtig sorgfältige und wiederholte Beobachtungen mit präzisen Instrumenten waren. Damit widersprach er der gängigen Auffassung seiner Zeit, dass gelehrte Erkenntnisse das Ergebnis göttlicher Eingebung seien.

1576 überließ der dänische König Frederick II. Brahe die Insel Hven für seine Forschungen. Der Astronom ließ mit Uraniborg (1580) die modernste und bestausgestattete Sternwarte seiner Zeit errichten. Dort beschäftigte er ein

Heer von bis zu 100 Mitarbeitern und Angestellten. Aufgrund der Feststellung, dass der Wind die Genauigkeit seiner Messungen beeinflusste, ließ Brahe 1586 ein weiteres, nun teilweise unterirdisches Observatorium bauen, das er Stjerneborg nannte. In der Zeit auf Hven sammelte er eine enorme Menge an Daten, die auf kontinuierlichen Beobachtungen beruhten. Mit den größten und präzisesten Instrumenten seiner Zeit erzielte Brahe Messgenauigkeiten im Bereich von wenigen Bogenminuten. Eine Präzision, die lange Zeit ihresgleichen suchte.



*Stjerneborg (Sternenburg), 1586, aus:
Johan Blaeu, Atlas Major, Amsterdam, 1662.*

Nach dem Tod Fredericks II. 1588 verlor Brahe den Rückhalt im dänischen Königshaus und ging schließlich 1598 an den Hof von Kaiser Rudolf II. in Prag. Beeindruckt von dessen Berechnungen, lud er 1600 Johannes Kepler zu sich ein und beschäftigte ihn als Assistenten. Die bahnbrechenden Erkenntnisse Keplers, den er zu seinem Nachfolger

machte, erlebte Brahe jedoch nicht mehr: Er starb im Oktober 1601.

Brahe hatte sich mit dem Weltbild Kopernikus' beschäftigt, es jedoch nicht anerkannt. Er entwickelte ein eigenes kosmisches System, in dem noch immer die Erde das Zentrum bildet, um das Sonne, Mond und die äußere Schale der Sterne kreisen. Die übrigen Planeten ließ Brahe jedoch die Sonne umrunden.

Heute häufig in Vergessenheit geraten, lässt sich Brahes Beitrag zur neuzeitlichen Astronomie nicht hoch genug einschätzen, bildeten seine Aufzeichnungen doch die Grundlage sowohl für die Berechnungen Keplers als auch die Erkenntnisse Newtons.

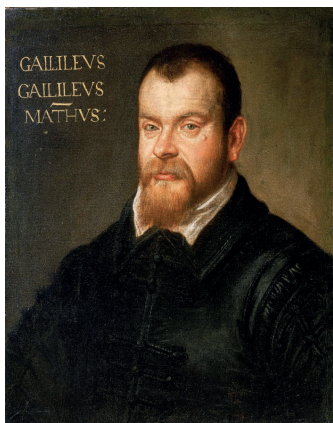


Andreas Cellarius (ca. 1596-1665): Tychonisches Weltbild, aus:
Harmonia Macrocosmica, Amsterdam 1661.

GALILEO GALILEI (1564-1642) - FORSCHUNG UND KIRCHE

... so ist es die Aufgabe der weisen Ausleger, sich zu bemühen, den wahren Sinn der Bibelstellen, der mit den Naturgesetzen übereinstimmt, zu finden.

Und sie bewegt sich doch - hat er es nun gesagt, oder nicht? Die Galileo-Forschung ist sich bis heute uneinig. Einige halten es für gut möglich, andere für unwahrscheinlich. Diesen Satz soll der italienische Gelehrte Galileo Galilei 1633 im Prozess um seine Schrift *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo* vor der Inquisition gemurmelt haben, nachdem er sich gezwungen sah, das heliozentrische Weltbild offiziell abzulehnen.



Domenico Tintoretto: Galileo Galilei, ca. 1602 – 07.

Galilei war ein überzeugter Verfechter des kopernikanischen Systems, wie aus zahlreichen Briefen u. a. an Kepler hervorgeht. Nachdem er von der Erfindung des Teleskopes erfahren hatte, begann er selbst Fernrohre von bisher nicht gekannter Qualität zu bauen. Mit seinen späteren Modellen erreichte er bis zu 33-fache Vergrößerungen. Ihm gelangen damit Beobachtungen, die die Theorie untermauerten, die Sonne bilde das Zentrum des Weltalls.

Seine ersten Beobachtungen, darunter die der vier größten Jupitermonde, veröffentlichte er 1610 im *Sidereus Nuncius*. Auch beschrieb er dort, dass die Oberfläche des Mondes von Bergen und Tälern geprägt sei und widersprach damit der seit der Antike überlieferten Vorstellung von den ebenmäßigen, perfekten Himmelskörpern und der damit verbundenen göttlichen Vollkommenheit der himmlischen Sphären, die auch vom Christentum postuliert wurde. Dass bisher nicht sichtbare Sterne nun durch das Teleskop erkannt werden konnten, regte ihn zu dem Gedanken an, dass sie sich in unterschiedlichen Entfernungen zur Erde befinden müssten, ging man von der Prämisse aus, dass grundsätzlich alle Sterne gleich hell strahlten.

Im Herbst 1610 gelang Galilei eine weitere bahnbrechende Entdeckung als er eine sichelförmig erscheinende Venus durch das Teleskop erblickte. Weitere Beobachtungen belegten, dass es, wie beim Mond, unterschiedliche Venusphasen gibt. Das war nur möglich, wenn sich die Venus nicht stetig zwischen Erde und Sonne bewegte, sondern die Sonne umkreiste und so in unterschiedlichen Winkeln von

ihr angestrahlt würde. Ebenso wie andere Astronomen, unter ihnen Thomas Harriot, Christoph Scheiner oder Johannes Fabricius, veröffentlichte Galilei seine Beobachtungen von Sonnenflecken. Diese Flecken belegten nicht nur, dass auch die Sonne nicht makellos und ebenmäßig ist. Vor allem Fabricius und Scheiner sind Erkenntnisse über die Bewegung der Sonnenflecken und die daraus abgeleitete Eigenrotation der Sonne und ihren Neigungswinkel zu verdanken.



Galileo Galilei: Zeichnungen der Mondoberfläche, 1610.

Galilei wurde zunächst vom Vatikan als bedeutender Entdecker geehrt. Immer deutlicher wurde der Geistlichkeit jedoch die Brisanz seiner Beobachtungen, so dass ihm schließlich geraten wurde, seine Gedanken zum Heliocentrismus nur als Hypothese vorzutragen. Der Astronom vertrat jedoch weiterhin das kopernikanische Weltbild und suchte dies mit seiner Theorie über die Gezeiten zu bele-

gen, die er fälschlicherweise als Resultat der Eigenrotation der Erde und ihres Umlaufs um die Sonne ansah. 1616 verfügte der Vatikan, dass Kopernikus' *De revolutionibus* nur noch überarbeitet verbreitet werden durfte. Auch Kepler wurde indiziert. Galilei, nun vorsichtiger geworden, verpackte seine Überzeugungen in einem fiktiven Dialog über die zwei vorherrschenden Weltbilder. Die Kirche erkannte im *Dialogo* (1632) jedoch seine Absicht, damit einen verkappten Beweis des heliozentrischen Weltbildes zu verbreiten. Im Mai 1633 musste er vor der Inquisition erscheinen. Nur seine offizielle Ablehnung des kopernikanischen Systems bewahrte ihn vor der Hinrichtung. Galileo Galilei verbrachte den Rest seines Lebens im Hausarrest und wurde erst 1992 von der katholischen Kirche rehabilitiert.

SIMON MARIUS (1573—1624) UND DAS TELESKOP

Damals sah ich den Jupiter zum ersten Mal, der sich in Opposition zur Sonne befand; und ich entdeckte winzige Sternchen bald hinter, bald vor dem Jupiter, in gerader Linie mit dem Jupiter.



Simon Marius, Porträt aus Mundus Iovialis, 1614; Destillationsgerät und Zirkel in seinen Händen verweisen auf seine Tätigkeiten als Arzt und Astronom.

Eine bahnbrechende Erfindung sollte Anfang des 17. Jhs. die Astronomie revolutionieren: das Teleskop. Erstmals 1608 auf einer Messe in Den Haag präsentiert, war Simon Marius einer der Ersten, die mit dem Instrument arbeiteten. Marius hatte kurz vor dessen Tod mit Tycho Brahe zusammengearbeitet und kam während seines Medizinstudiums in Padua (1601-05) mit Galileo Galilei in Kontakt.

Das Teleskop eröffnete neue Einsichten in den Sternenhimmel. Plötzlich konnte man bislang unbekannte Himmelskörper sehen. Es wurde deutlich, dass die Milchstraße aus einer Vielzahl von Sternen besteht und mit der Entdeckung der Venusphasen und der Jupitermonde rückte die Astronomie ein Stück weiter vom geozentrischen Weltbild ab.

Um die Entdeckung der vier großen Jupitermonde entbrannte eine Auseinandersetzung zwischen Simon Marius und Galileo Galilei. Letzterer hatte 1610 in seiner Schrift *Sidereus Nuncius* davon berichtet, am 7. Januar des gleichen Jahres erstmals Himmelskörper gesehen zu haben, die den Planeten Jupiter umkreisen. Vier Jahre später erläutert Marius in seinem Buch *Mundus lovalis*, die gleiche Erscheinung Ende des Jahres 1609 beobachtet zu haben. Daraufhin bezichtigte Galilei ihn des Plagiats. Der Italiener fühlte sich in seiner Eitelkeit, die auch aus seinen Schriften spricht, tief verletzt. Die Tatsache, dass Marius jedoch Details beschrieb, die seinem italienischen Kollegen entgangen sind, belegt, dass beide die gleiche Entdeckung unabhängig voneinander gemacht haben. Dennoch gilt Galilei weiterhin

als derjenige, der die Jupitermonde als Erster beschrieben hat. Denn Marius datierte noch nach dem julianischen Kalender während Galilei bereits den neuen gregorianischen für seine Datumsangabe nutzte. Und nach diesem fielen die ersten Aufzeichnungen von Marius' Beobachtung auf den 8. Januar 1610. Das schmälert jedoch nicht seine Verdienste auf dem Gebiet der Astronomie, zu denen das Zusammentragen von Daten genauso gehört wie die Beobachtung der Venus-Phasen und die Beschreibung von Sonnenflecken und deren Bewegungen. Als erster Europäer beobachtete er mit dem Andromedanebel eine andere Galaxie. Von 1606 bis zu seinem Tod 1625 war er Hofmathematiker in Ansbach. Zu seinen Aufgaben gehörte neben der Beobachtung der Sterne das Erstellen von jährlichen Kalendern mit astrologischen Voraussagen.

Die Tatsache, dass himmlische Objekte den Planeten Jupiter umkreisen, war zwar kein Beleg für ein heliozentrisches System, zeigte jedoch, dass sich nicht alles um die Erde als alleinigem Zentrum des Universums dreht. Durch seine Beobachtungen kam er zudem zu der Erkenntnis, dass Jupiter wiederum die Sonne umkreise: „...zusammen mit dem Jupiter aber sind sie nicht auf die Erde, sondern auf die Sonne als Mittelpunkt gerichtet“, schrieb er im *Mundus lovalis*.

Dennoch ließ sich Marius nicht vom kopernikanischen Weltbild überzeugen. Zu groß waren für ihn die damit verbundenen Fragezeichen, allen voran die fehlende Parallaxe der Sterne, also die fehlende Bewegung der Fixsterne, die

nach weit verbreiteter damaliger Vorstellung mit einer Bewegung der Erde im Universum zu beobachten sein müsste. Daher verschrieb sich Marius dem tychonischen Weltbild. Eine Ehrung wurde dem Forscher zuteil, indem man im 20. Jh. den vier von ihm beobachteten Jupitermonden, seinem Vorschlag folgend, die Namen von Geliebten des Gottes Jupiter gab: Io, Ganymed, Europa und Callisto.

JOHANNES KEPLER (1571—1630)

Die Geometrie gab es schon vor der Erschaffung der Welt. Sie ist ewig wie der Geist Gottes.



Jakob van der Heyden: Johannes Kepler, 1601 u. 1633.

Als der junge Johannes Kepler in der elterlichen Gastwirtschaft im schwäbischen Weil die Gäste mit seinen mathematischen Fähigkeiten beeindruckte, hat sich wohl niemand vorstellen können, dass er einmal zu einem der bedeutendsten Wissenschaftler der Menschheitsgeschichte werden sollte.

Nach seinem Studium der Theologie und Mathematik fand Kepler eine erste Anstellung als Mathematiklehrer an der evangelischen Stiftsschule in Graz. Hier verfasste er 1596 seine erste bedeutende Schrift, das *Mysterium Cosmographicum*, in der er versuchte, die Bahnen der damals bekannten 5 Planeten mit den 5 platonischen Körpern in Beziehung zu setzen.

Der zunehmende Einfluss der Gegenreformation veranlasste den überzeugten Protestanten Kepler Graz 1600 zu verlassen. Noch im gleichen Jahr zog er auf Einladung von Tycho Brahe nach Prag, wo er dessen Assistent und schließlich sein Nachfolger wurde. Kepler war ein überragender Mathematiker und weniger beobachtender Astronom, nicht zuletzt weil sein Sehvermögen nach einer Pockenerkrankung in der Kindheit eingeschränkt war. In Prag konnte er nun aber mit der überbordenden Fülle an Daten arbeiten, die Brahe im Laufe seines Lebens zusammengetragen hatte.

Seit seinen Studententagen war Kepler ein überzeugter Anhänger des heliozentrischen Weltbildes. In unzähligen Berechnungen und Überlegungen versuchte er die vorliegenden Daten mit der Vorstellung der Heliozentrik in Übereinstimmung zu bringen.

1609 veröffentlichte er die *Astronomia Nova*, in der er zwei der drei Kepler'schen Gesetze festhielt, die noch heute zu den wichtigsten Grundlagen der Astronomie zählen und diese Wissenschaft revolutioniert haben:

1. Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen.
2. Die Verbindungslinie Sonne-Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen. Das bedeutet, dass die Planeten sich langsamer bewegen, wenn sie weiter von der Sonne entfernt und schneller, wenn sie ihr nah sind.
Das dritte Gesetz, das 1618 in der *Harmonice mundi* erschien, ermöglichte es, die planetaren Umlaufzeiten mit ihren Sonnenabständen in Beziehung zu setzen und so den relativen Abstand der Planeten zueinander zu berechnen:
3. Die Quadrate der Umlaufzeiten je zweier Trabanten um ein gemeinsames Zentrum sind proportional zu den dritten Potenzen der großen Halbachsen ihrer Ellipsenbahnen.

1626 wurden Keplers *Tabulae Rudolphinae*, eine Sammlung von Tafeln und Regeln zur Vorhersage der Planetenstellungen, veröffentlicht. Sie verbesserten die bisherigen Kalkulationen deutlich und bildeten bis weit ins 18. Jh. eine wesentliche Grundlage für astronomische Berechnungen.

Neben der Astronomie und zahlreichen anderen Forschungsbereichen beschäftigte sich Kepler auch mit der Optik und entwickelte eine alternative Bauart des Fernrohres, in dem die Lichtstrahlen durch zwei konkave Linsen gebrochen werden (beim Galileo-Fernrohr sind es eine konkave und eine konvexe Linse) und ein größeres Gesichtsfeld und lichtstärkeres Bild erzeugen, das allerdings auf dem Kopf steht. Zu seinen Ehren wurde das NASA-Weltraumteleskop, das im März 2009 gestartet wurde, um

nach extrasolaren Planeten zu suchen, Kepler-Teleskop getauft.

Und auch Isaac Newton honorierte die Leistungen seines Vorgängers, indem er sich auch auf Kepler bezog, als er sagte: „Wenn ich weiter geblickt habe, so deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stehe.“



Georg Cöler: Frontispiz der Tabulae Rudolphinae, 1627.

RENÉ DESCARTES (1596-1650)



Frans Hals: René Descartes, 1648.

Auch wenn er durchaus wissenschaftliche Experimente durchführte, entwickelte Descartes seine Überlegungen zu Kosmologie und zu Naturgesetzen in erster Linie aus einem philosophischen Gedankengebäude heraus.

Unter dem Eindruck des Galileo-Prozesses schreckte er zunächst vor einer Veröffentlichung zurück. Erst 1644 ging Descartes mit ihnen, getarnt als Hypothese, in seinen *Principia philosophiae* an die Öffentlichkeit.

Laut seiner Kosmologie schuf Gott die allem zugrunde liegende Materie, gab den anfänglichen Impuls, auf den alle Bewegung beruhe sowie die allem innewohnenden Naturgesetze. Descartes weitete das Universum über unser Sonnensystem hinaus aus. In seiner Überlegung, dass das Universum ein Resultat immerwährender Entwicklung sei,

wandte er sich radikal von der antiken Vorstellung der unveränderlichen himmlischen Sphären ab.

Im Universum, so Descartes, ist alles mit feiner Materie gefüllt, die sich in Wirbeln bewegt. Im Zentrum eines jeden Wirbels befindet sich ein Stern. Da die Eigenschaften der Materie überall gleich seien, herrschten auch überall die gleichen Naturgesetze. Auch das eine revolutionäre Überlegung.

Die Philosophie des Cartesianismus fand zahlreiche Anhänger.

ISAAC NEWTON (1642-1727)

BERECHNET DIE GRAVITATION

Ich kann die Bewegungen der Himmelskörper berechnen, aber nicht die Verrücktheit der Menschheit



Godfrey Kneller: Isaac Newton, 1689.

Es mag zunächst verwundern, aber letztendlich war es die Pest, die die Entwicklung einer der umwälzendsten physikalischen Erkenntnisse beförderte. Isaac Newton hatte gerade sein Studium in Cambridge abgeschlossen, als ein Pestausbruch ihn zwang, sich 1665 in seine Heimat Woolthorpe zurückzuziehen. Dort entwickelte er nach eigenen Aussagen die wesentlichen Grundlagen für seine epochalen mathematisch-physikalischen Erkenntnisse zur Infinitesimalrechnung, zur Zusammensetzung des Lichtes und zur Gravitation.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

So lautet ist die Formel, mit der nun endlich die Kraft berechnet werden konnte, die das Universum maßgeblich geformt hat: die Gravitation. Schon Kepler war davon ausgegangen, dass es eine von der Sonne ausgehende Kraft sei, die die Planeten bewege. Newtons Zeitgenosse Robert Hooke veröffentlichte 1674 eine These zur Schwerkraft und ihre Wirkung auf die Gestirne und lieferte eine erste Berechnungsgrundlage. Doch es war Newton, der die mathematische Basis für alle theoretischen Überlegungen bot und feststellte, dass die Gravitation nicht nur auf Himmelskörper, sondern auf sämtliche Materie wirke. Damit war auch die cartensiensche Wirbeltheorie widerlegt, die den Raum an die Materie koppelte.

In seinem Hauptwerk *Philosophiae naturalis principia mathematica* veröffentlichte Newton neben dem Gesetz der universellen Gravitation auch seine drei newtonschen Bewegungsgesetze, die universell anwendbar sind und mit

denen sich nahezu alle bekannten mechanischen Vorgänge erklären ließen. Sie besagen, dass:

1. jedes Objekt, das sich in einem Zustand gleichförmiger Bewegung befindet, in diesem Zustand verbleibt, sofern keine äußere Kraft auf es einwirkt (Trägheitsprinzip).
2. Kraft gleich Masse mal Beschleunigung ist (Aktionsprinzip). Die Einheit für Kraft wird nach dem Forscher als Newton bezeichnet.
3. es für jede Aktion eine gleiche und entgegengesetzte Reaktion gibt (Wechselwirkungsprinzip). Die Erde beeinflusst mit ihrer Anziehungskraft also nicht nur den Mond, sondern der Mond wirkt auch auf die Erde. Entsprechend haben alle Körper einen Einfluss auf die sie umgebenden Körper.

Newton zögerte lange, mit seinen Thesen an die Öffentlichkeit zu gehen. Schließlich war es Edmond Halley zu verdanken, dass die Prinzipia doch gedruckt werden sollte. Er ermunterte Newton zur Veröffentlichung und finanzierte zudem die erste Auflage.

Maßgeblich sind auch Newtons Forschungen im Bereich der Optik. Durch Versuche mit Prismen konnte er belegen, dass weißes Licht aus einer Vielzahl von Farben zusammengesetzt ist und durch Brechung nicht, wie bisher angenommen, verändert, sondern zerlegt wird. Aufgrund seiner Forschungen entwickelte er zudem 1668-72 eine ver-

besserte Version des ca. 50 Jahre zuvor erstmals gebauten Spiegelteleskops. Durch die Einführung eines Hilfsspiegels konnten nun Abbildungsfehler reduziert werden.

Mit seinen drei Gesetzen hat Newton die Grundlage für die moderne Mechanik, die Basis für die Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper gelegt, in zahlreichen anderen Wissenschaftsgebieten Bahnbrechendes geleistet und so die Wissenschaft auf eine neue Ebene gehoben. Er gilt als einer der ersten systematisch arbeitenden Naturwissenschaftler.



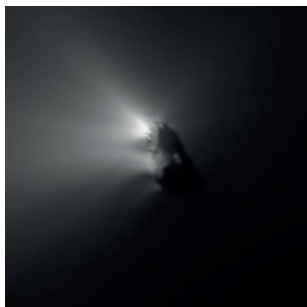
Replik von Newtons zweitem Spiegelteleskop, 1972.

EIN KOMET BEWEIST DIE GRAVITATION

1687 war es Edmond Halley gelungen, Newton von der Veröffentlichung seiner Erkenntnisse zu überzeugen. Ausgangspunkt war ein Gespräch zwischen Halley, Robert Hooke und Christopher Wren, die nach einem Beweis für

die Keplerschen Gesetze suchten. Halley wandte sich an Newton, der ihm mitteilte, dass er die entsprechenden Berechnungen längst gemacht hätte.

Eines fehlte jedoch: der endgültige Beweis für die Korrektheit von Newtons Thesen. Halley kam schließlich auf die Lösung, als ihm auffiel, dass auffallende Kometenerscheinungen in relativ regelmäßigen Abständen dokumentiert worden waren. Könnte es nicht derselbe Komet sein, der auf einer festen Umlaufbahn immer wieder an der Erde vorbei flog?



Aufnahme des Halleyschen Kometen, gemacht von der Raumsonde Giotto, 1986.

Dank der Formeln von Newton und unter Berücksichtigung der Gravitationswirkung der Planeten gelang es Halley, die Bahn des schließlich nach ihm benannten Kometen zu berechnen und sein nächstes Erscheinen für Ende 1758 / Anfang 1759 vorherzusagen. Den Beweis für die Richtigkeit seiner Berechnungen erlebte Halley nicht mehr: Er starb bereits 1742 im Alter von 85 Jahren.

AUF DEM WEG IN DIE MODERNE ASTROPHYSIK

Technische Neuerungen, wie die Erfindung der Fotografie, und deutlich präziserer Instrumente ermöglichten einen immer tieferen Blick in den Weltraum. War es dank Newton möglich, die Himmelsmechanik zu berechnen, standen nun Fragen zur Beschaffenheit der Himmelskörper im Zentrum.



Lemuel Francis Abbott: Friedrich Wilhelm Herschel, 1785.

Einen entscheidenden Beitrag zur Beantwortung lieferten Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822) und seine Schwester Caroline (1750-1848). Mit selbst konstruierten und enorm präzisen Teleskopen blickten sie weiter in den Himmel als es bisher gelungen war. Herschel entdeckte den Uranus und stellte fest, dass nebelartige Gebilde aus zahlreichen Einzelsternen bestehen. Mit seiner Theorie, dass sich Sterne durch die Kräfte der Gravitation aus kleinsten

Materieteilchen bilden, wurde die Vorstellung von der Unveränderlichkeit des Universums endgültig ad Acta gelegt. Während der Arbeit an qualitativ hochwertigeren Linsen entdeckte Joseph Fraunhofer (1787-1826) Anfang des 19. Jhs. schwarze Balken im Lichtspektrum der Sonne, die nach ihm benannten Fraunhoferschen Linien. Ca. 50 Jahre später waren es Robert Bunsen (1811-1899) und Gustav Kirchhoff (1824-1887) die feststellten, dass bestimmte Bereiche des Lichtes mit bestimmten chemischen Elementen korrespondieren. Auf dieser Basis konnte sich die Spektroskopie entwickeln, mit der noch heute die Beschaffenheit von Himmelskörpern ermittelt wird. Damit wurde endgültig der wissenschaftliche Fuß auf den Pfad der Astrophysik gesetzt.



*Kirchhoff (links) und Bunsen (Mitte) zusammen
mit dem Chemiker Henry Enfield Roscoe, 1862.*

1838 gelang schließlich Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) der Nachweis einer Fixsternparallaxe, also der op-

tischen Verschiebung eines nahen Sterns vor dem Hintergrund weiter entfernter Sterne. Damit lag endgültig der Beweis für die Rotation der Erde um die Sonne vor.

James Clerk Maxwell (1831-1879) entdeckte Ende des 20. Jhs. die elektromagnetische Strahlung, entwickelte eine Formel zur Berechnung ihrer Geschwindigkeit und schloss, dass auch das Licht eine Form von elektromagnetischer Strahlung sein müsse. Er war der Meinung, dass die wellenförmigen Strahlen ein Trägermedium zur Ausbreitung benötigen. Fußend auf Theorien aus dem 17. Jh., die wiederum auf Aristoteles zurückzuführen sind, ging er davon aus, dass der Raum mit dem sog. Lichtäther gefüllt sei. Allerdings mehrten sich im Laufe der Zeit Zweifel, als es nicht gelang, Äther in Versuchen nachzuweisen (Michelson-Morley-Experiment, 1879). Dennoch sollte sich die Äthertheorie noch bis in das 20. Jh. halten.

Zunehmend machten sich auch Frauen einen Namen in der Astronomie. 1918–24 veröffentlichte Anni Jump Cannon (1863–1941) den sog. Henry-Draper-Katalog. Zusammen mit ihrem Mitarbeiterstab, darunter die Astronominnen Williamina Fleming (1857–1911) und Antonia Maury (1866–1952), hatte sie darin 225.300 Sterne nach Position und Spektraltyp katalogisiert.



Die als Harvard Computers bezeichnete Gruppe von Mitarbeiterinnen des Harvard College Observatory um Williamina Fleming und Antonia Maury, um 1890.

Es war jedoch Albert Einstein, basierend auf den Formeln Maxwells, der die bisherigen Vorstellungen von Raum, Zeit, Materie und Energie völlig auf den Kopf stellte und die Astronomie damit revolutionieren sollte.

DER MENSCH IM UNENDLICHEN UNIVERSUM

Schon lange hatten sich Menschen Gedanken über die Größe des Universums gemacht. Einige, wie Nikolaus von Kues oder Newton, glaubten an die Unendlichkeit des Weltraums, andere lehnten diese Vorstellung strikt ab. Noch zu Beginn des 20. Jhs. herrschte die Meinung vor, dass unsere Galaxis das gesamte Weltall bilde, weil es in einem unendlichen Universum unendlich viele Sterne geben und der Nachthimmel daher hell sein müsse.

Durch immer ausgefeiltere Messmethoden wurde deutlich, dass die Milchstraße deutlich größer sein müsse als bisher angenommen. Entscheidende Erkenntnisse dazu erbrachten die Forschungen von Harlow Shapley (1855-1972). Schließlich war es Edwin Hubbel (1889-1953), der endgültig die Grenzen unserer Galaxis sprengte und verdeutlichte, dass die Dimensionen des Weltalls weit größer waren als bisher vorstellbar.

Er konnte nicht nur beweisen, dass es sich bei kosmischen Nebeln um weit entfernte Galaxien handelt, sondern auch, dass diese sich immer weiter von uns entfernen. Und das umso schneller, je weiter sie von uns entfernt sind — eine sensationelle Entdeckung, die belegte, dass das Weltall expandiert und die Vorstellung vom Kosmos und dessen Entstehung erneut revolutionieren sollte.



Edwin Hubble, 1931.

Verfolgt man diese Überlegung in die andere Richtung, so müssen alle Objekte des Universums einmal in einem einzigen Punkt versammelt gewesen sein. Das unterstützte die Urknalltheorie, die wenige Jahre zuvor von George Lemaître (1894-1966) auf der Basis von Einsteins Relativitätstheorie formuliert worden war. Einstein, der die Vorstellung vom expandierenden Universum lange Zeit abgelehnt hatte und auf die kosmologische Konstante beharrte, bezeichnete seine Ablehnung letztendlich als „die Eiselei seines Lebens“. Den endgültigen Beweis für den Urknall lieferte der Nachweis der Hintergrundstrahlung (CMB) durch Arnold Penzias (geb. 1933) und Robert Woodrow Wilson (geb. 1936) im Jahr 1964. Einer Strahlung, die sich kurz nach dem Urknall bildete und bis heute sehr gleichmäßig im Universum verteilt ist.



Albert Einstein und Georges Lemaître, 1933.

Mit dem Sprung des Menschen ins Weltall hat sich unsere Kenntnis von der Kosmologie und den Vorgängen im Universum vervielfacht. Von den ersten unbemannten Flügen ins All in den 1940er Jahren über Juri Gagarin, der 1961 als erster Mensch die als Kármán-Linie bezeichnete Grenze zum Weltraum überquerte, den ersten menschlichen Schritten auf dem Mond 1969 bis hin zu längerfristigen Aufenthalten auf der internationalen Weltraumstation ISS. Das Weltraumteleskop Hubble liefert seit 1990 mit seinen aufsehenerregenden Bildern die Grundlagen für weitere wissenschaftliche Erkenntnisse. Die neuesten Hoffnungen der Forschung ruhen auf den Erkenntnissen, die verschiedene Sonden liefern, ebenso wie auf den Aufnahmen des James-Webb-Weltraumteleskops, das Anfang dieses Jahres seine Umlaufbahn erreicht hat.

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)

Ich habe keine besondere Begabung, sondern bin nur leidenschaftlich neugierig.

Eine weitere revolutionäre Wendung in der Geschichte der Astronomie ist untrennbar mit dem Namen Albert Einstein verbunden. Stets hatte man es als unumstößlichen Fakt angesehen, dass die Zeit eine unabänderliche Größe ist, die überall in einem als absolut angesehenen Raum gleichmäßig vergeht. Anfang des 20. Jhs. erschien plötzlich ein junger Angestellter des Berner Patentamtes auf der Bildfläche, der genau diese scheinbaren Gewissheiten in Frage stellte. 1905 veröffentlichte Albert Einstein vier Abhandlungen, die die Wissenschaftswelt auf den Kopf stellen sollten.

Er stellte u. a. die Theorie auf, dass Licht aus Portionen (Quanten) von Energie besteht. Dieser Gedanke, eine der Grundlagen der Quantenphysik, war so bahnbrechend, dass Einstein 1921 dafür der Nobelpreis für Physik verliehen wurde.

Im dritten Beitrag beschäftigte sich Einstein mit der Elektrodynamik bewegter Körper, aus der er die spezielle Relativitätstheorie entwickelte. Sie fußt auf der Erkenntnis, dass die Lichtgeschwindigkeit absolut, also immer gleich ist und zudem schnellste Geschwindigkeit im Universum. Daraus und aus der Beobachtung, dass die Wahrnehmung von Entfernung und Geschwindigkeit vom Standpunkt des Beobachters abhängt, schloss Einstein, dass Zeit und Entfernung veränderliche Größen sein müssen.

Der vierte Aufsatz hat die Äquivalenz von Materie und Energie zum Thema und führte zu der berühmten Formel $E = mc^2$ (Energie = Masse $\times$ Lichtgeschwindigkeit²). Eine Formel, die nicht nur belegt, dass ein Teilchen an Masse zunimmt, je schneller es sich bewegt, sondern auch, dass winzige Spuren von Materie eine ungeheure Energie enthalten. Damit bildete die Formel die Grundlage für die Nutzung der Atomkraft ebenso wie für das Verständnis für die Entstehung von Energie in den Gestirnen.

1916 veröffentlichte Einstein schließlich Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Darin ging er über die spezielle Relativitätstheorie hinaus, indem er die Gravitation einbezog und seine Überlegungen auf ein allgemeines und übergreifendes System übertrug. Einstein stellte fest, dass Gravitationsfelder die Bahnen des Lichtes und damit auch den Raum und die Zeit krümmen. Oder präziser ausgedrückt: die Raumzeit, in der dreidimensionaler Raum und eindimensionale Zeit zu einer vierdimensionalen mathematischen Struktur verbunden werden.



Albert Einstein mit dem Mitarbeiterstab des Yerkes-Observatoriums vor einem 40-Zoll-Refraktor, 1921.

Dank der allgemeinen Relativitätstheorie wurde die Astronomie nun in die Lage versetzt, das gesamte Universum zu berechnen und das weit präziser und umfassender als mit den Gesetzen Newtons. Sie ermöglichte den Nachweis von schwarzen Löchern und von dunkler Materie, also eines Phänomens, das mit anderen naturwissenschaftlichen Methoden nicht nachweisbar ist, sondern nur auf der Basis der Einstein'schen Theorie berechnet werden kann.

Einsteins Darlegungen stießen in Forscherkreisen zunächst auf Skepsis. Erst durch den von Arthur Stanley Eddington geführten Beweis, der während einer Sonnenfinsternis 1919 belegte, dass Sternenlicht vom Gravitationsfeld der Sonne gekrümmt wird, wurde die allgemeine Relativitätstheorie anerkannt und Einstein zum gefeierten Wissenschaftsstar. Albert Einstein hat die Vorstellung von Raum, Zeit, Materie und Energie neu definiert und damit das Verständnis des Universums in völlig neue Bahnen gelenkt und unsere Welt um eine 4. Dimension - die Zeit - bereichert.

DIE SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE

Ein Beispiel mag helfen, die spezielle Relativitätstheorie anschaulich zu machen.

Ausgangspunkt ist ein sich in schneller Geschwindigkeit bewegendes Fahrzeug. Darin sind in senkrechter Anordnung zwei Spiegel angebracht, zwischen denen sich ein Lichtpunkt hin und her bewegt. Ein Betrachter im Fahrzeug wird die Bewegung des Lichtpunktes als senkrecht

wahrnehmen. Für einen außerhalb stehender Beobachter beschreibt das Licht aber eine Zickzacklinie. Der Weg des Lichtes wird von außen also länger, die Zeit zwischen den Berührungen mit den Spiegeln bleibt jedoch gleich. Da sich das Licht immer in einem konstanten Tempo bewegt, müssen sich Entfernung und Zeit verändern. In dem Fahrzeug vergeht die Zeit also langsamer und die Entfernungen werden kürzer. Man spricht von Zeitdilatation und Längenkontraktion. Ersteres konnte 1971 im sog. Hafele-Keating-Experiment durch den Vergleich zweier Atomuhren auf der Erde und in einem Linienflugzeug bewiesen werden. Für die Längenkontraktion steht der Beweis aus. Sie konnte bis heute lediglich mathematisch hergeleitet werden.

DIE ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE

Die allgemeine ist noch komplexer und abstrakter als die spezielle Relativitätstheorie und übersteigt bei Weitem den täglichen Erfahrungshorizont des Menschen.

Ausgangspunkt war die Überlegung, dass ohne einen Bezugspunkt nicht festgestellt werden kann, ob ein Gegenstand durch Beschleunigung oder durch die Gravitation bewegt wird. Entsprechend nahm Einstein an, dass Schwerkraft und Beschleunigung austauschbar seien (Äquivalenzprinzip).

Fällt ein waagerechter Lichtstrahl durch ein Loch in eine Kiste, die schnell nach oben bewegt wird, wird der Lichtstrahl in einem Bogen nach unten gelenkt. Der Lichtstrahl

wird also durch die Beschleunigung gekrümmt. Entsprechend dem Äquivalenzprinzip muss auch die Gravitation Lichtstrahlen krümmen.

In jahrelangen Berechnungen legte Einstein dar, dass es nicht die Gravitation ist, die die Lichtstrahlen krümmt, sondern dass Massen die Raumzeit krümmen und das Licht lediglich den kürzesten Weg durch dieses vierdimensionale Medium nimmt.

UND WIE GEHT ES WEITER?

Ob Mann im Mond, Marsmännchen oder Ufo-Sichtungen, schon lange hat die Frage um die Existenz außerirdischen Lebens die Fantasie der Menschen angeregt. Inzwischen steht die Suche nach extraterrestrischen Lebensformen auf wissenschaftlichen Füßen. In erster Linie suchen Astrobiologen heute nach Spuren von Mikroorganismen auf Exoplaneten, also auf Planeten außerhalb unseres Sonnensystems. Intelligenten Lebensformen versuchen dagegen seit den 1960er Jahren verschiedene SETI-Projekte (Search for Extraterrestrial Intelligence) auf die Spur zu kommen. Dabei werden aus dem All empfangene Radiowellen auf Auffälligkeiten hin analysiert. Bisher ohne Erfolg.



Das Green-Bank-Radioteleskop in den USA ist seit 2020 im Einsatz.

Mit jeder neuen Erkenntnis über das Weltall und jeder Entdeckung tauchen auch neue Fragen auf. Die Theorie vom Urknall, vom Big Bang, war ein riesiger Schritt auf dem Weg zum Verständnis der Entstehung des Weltalls und seiner Beschaffenheit. Alle Erkenntnisse deuten bisher darauf hin, dass die gesamte Energie des Universums in einem winzigen Punkt, der Singularität, vereint war und vor ca. 13,8 Milliarden Jahren begann, sich auszudehnen. Doch damit stoßen auch die modernen Naturwissenschaften an ihre Grenzen. Sie benötigen Zeit und Raum, um arbeiten zu können. Doch beides entstand erst mit dem Urknall. Oder vielleicht doch nicht? Fragestellungen und Überlegungen, Thesen und Hypothesen werden immer komplexer und immer abstrakter. Sind Raum und Zeit erst mit dem Urknall entstanden oder gab es ein Wo und Wann? Ist das Universum einzigartig oder lediglich ein unbedeutender Bestandteil eines Multiversums? Heute sind Wissenschaftler auf der Suche nach der Weltformel, der Theorie von Allem (englisch: theory of everything, TOE), einer Formel, die alle physikalischen Phänomene im bekannten Universum präzise beschreiben und verknüpfen soll, in der Hoffnung, damit Antworten auf die wesentlichen Fragen zu finden. Große Hoffnungen werden derzeit in die String-Theorie gesetzt, die davon ausgeht, dass die Grundbausteine der Materie keine Teilchen, sondern Fäden (engl. strings) sind. Mit der String-Theorie ist es gelungen, die lange als unvereinbar geltende Relativitäts- mit der Quantentheorie zu verknüpfen. Wie komplex diese Theorie ist, zeigt sich allein an der Tatsache, dass sie mit einer Vielzahl von Dimensionen arbeitet.

Es war ein weiter Weg, seitdem der Mensch einen ersten Blick auf die Sterne richtete und begann, sich Gedanken über die funkelnden Objekte am Himmel zu machen. Sie veranlassten ihn, über die Entstehung der Welt und des Himmels nachzudenken und seinen eigenen Standpunkt in Raum und Zeit zu reflektieren. Im Laufe der Jahrtausende rückte der Mensch immer weiter aus dem Zentrum und seine Stellung im Universum wurde mit zunehmenden technischen Möglichkeiten und den damit verbundenen Entdeckungen immer unbedeutender. Trotz aller rationalen Erkenntnisse hat jedoch der Blick in den nächtlichen Himmel bis heute seinen Zauber nicht verloren.



Panoramabild des ALMA-Observatorium in Chile.



BILDNACHWEISE:

Titelbild: Aufnahme: Hubble Weltraumteleskop, 2020 © NASA, ESA, and STScI; Flammennebel NGC 2024, © ESO/J. Emerson/VISTA. Acknowledgement: Cambridge Astronomical Survey Unit S. 4; Francesco Bandarin, CC BY-SA 3.0 IGO <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/deed.en>>, via Wikimedia Commons (Bildausschnitt) S. 10; I, Peter80, CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons S. 11; Operarius, CC BY-SA 3.0 DE <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/deed.en>>, via Wikimedia Commons S. 13; Von Kenny Arne Lang Antonsen - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=79253998> (Bildausschnitt) S. 14; Sailko, CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons S. 17; Von Dbachmann, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1500795> S. 18; Von Rainer Zenz - Eigenes Werk von Rainer Zenz ursprünglich auf de.wikipedia hochgeladen (16:03, 14. Okt 2004). Der Dateiname war Nebra-5.jpg, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=486977-79-80> S. 19; SenemTSR, Public domain, via Wikimedia Commons S. 22; Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=577062> S. 24; Von theilr - originally posted to Flickr as Mayan Zodiac Circle, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9424675> S. 25; Von Stobaïos, Scan aus eigenem Besitz - Jean de La Fontaine — Fables, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25829601> S. 27; User:Bibi Saint-Pol, Public domain, via Wikimedia Commons S. 28; Gemeinfrei. (<https://www.antike-griechische.de/Eudoxos.pdf>) S. 31; Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=877028> S. 32; Von Hermann Göll - Aus fernen Welten by Bruno H. Brugel, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75289250> S. 33; Von Autor unbekannt - This reproduction is taken from Popular Science Monthly Volume 78, April, 1911, page 316, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19423714> S. 34; Benutzer:Marc Layer, CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons S. 35; Gemeinfrei, Ptolemäisches Bild des Kosmos aus Andreas Cellarius'

Harmonia Macrocosmica S. 36; Gemeinfrei, Stundenbuch des Neville von Hornby, British Library, S. 37; Gemeinfrei, Buch der Fixsterne von Ab dar-Rahman as-Sufi, Metropolitan Museum of Art S. 38; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Nikolaus_von_Kues#/media/Datei:Nicholas_of_Cusa.jpg S.43; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Kopernikus,_Nikolaus_Epitaph_Thorn.jpg#/media/Datei:Kopernikus,_Nikolaus_Epitaph_Thorn.jpg S. 44; Gemeinfrei https://en.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe#/media/File:Portr%C3%A4t_av_Tycho_Brahe_-_Skoklosters_slott_-_90153.tif S. 46; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Stjerneborg#/media/Datei:Tycho_Brahe's_Stjerneborg.jpg S. 48; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe#/media/Datei:Cellarius_Harmonia_Macrocosmica_-_Planisphaerium_Braheum.jpg S.49; Gemeinfrei https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Works_by_Galileo_Galilei?uselang=de#/media/File:Galileo_Galilei,_Disegni_originali_delle_Lune,_1609,_Biblioteca_Nazionale_Centrale,_Firenze.jpg S. 50; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Simon_marius.jpg S. 53; Gemeinfrei https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Portraits_of_Johannes_Kepler?uselang=de#/media/File:Johannes_Kepler,_van_der_Heyden.jpg S.56; Gemeinfrei <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johannes-kepler-tabulae-rudolphinae-google-arts-culture.jpg?uselang=de> S. 59; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes#/media/Datei:Frans_Hals_-_Portret_van_Ren%C3%A9_Descartes.jpg S.60; Von User:Solipsist (Andrew Dunn) - www.andrewdunnphoto.com, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=513483> S. 64; https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/11/Comet_Halley_close_up S. 65; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Herschel#/media/Datei:William_Herschel01.jpg S.66; Gemeinfrei https://de.wikipedia.org/wiki/Gustav_Robert_Kirchhoff#/media/Datei:Kirchhoff_Bunsen_Roscoe.jpg S. 67; Gemeinfrei [https://de.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble#/media/Datei:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_\(cropped\).JPG](https://de.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble#/media/Datei:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_(cropped).JPG) S. 71; Gemeinfrei https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yerkes_Observatory_Astro4p7_composite.jpg S. 74; Von Cyberbaud - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3877445> S. Y. Beletsky (LCO)/ESO S. 78; Von Galileo Galilei - Biblioteca Nazionale, Firenze, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36872390>, S. 52;

Von Nach Godfrey Kneller - <http://www.newton.cam.ac.uk/art/portrait.html>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37337>, S. 61; Gemeinfrei, S. 69; Gemeinfrei, S. 72

Sollte trotz umfangreicher Recherche ein Rechteinhaber nicht korrekt ermittelt worden sein, so bitten wir in diesem Falle, sich mit dem Stadtmuseum Langenfeld in Verbindung zu setzen.

