

DK



DIE KOSMISCHE  
EXPANSION NIMMT  
FAHRT AUF



DIE UNBEWEGLICHEN  
STERNE WANDERN  
NACH WESTEN



DIE SUCHE NACH  
AUSSERIRDISCHER  
INTELLIGENZ MEINT  
DIE SUCHE NACH  
UNS SELBST



GRAVITATION  
ERKLÄRT DIE  
BEWEGUNG DER  
PLANETEN



DAS  
UNIVERSUM  
EXPANDIERT  
IN ALLE  
RICHTUNGEN



EIN KRÄUSELN DER RAUMZEIT



ICH DACHTE,  
ES WÄRE  
EIN KOMET,  
DA ER SICH  
FORTBEWEGTE

# DAS ASTRONOMIE BUCH



DER WEG  
ZU DEN  
STERNEN  
ÖFFNET  
SICH

EXAKTE LÖSUNG, WIE  
RELATIVITÄT SCHWARZE  
LÖCHER VORHERSAGT

AM BESTEN PASST  
EINE ELLIPSE



EIN  
LANGSAMER  
PROZESS DER  
VERNICHTUNG  
VON MATERIE



STERNE SIND  
DIE FABRIKEN DER  
CHEMISCHEN ELEMENTE

**BIG  
IDEAS  
EINFACH  
ERKLÄRT**

# INHALT

---

## EINLEITUNG

---

### VOM MYTHOS ZUR WISSENSCHAFT

---

600 V. CHR. – 1550 N. CHR.

---

#### **Tatsächlich – die Erde bewegt sich nicht**

Das geozentrische Weltbild

#### **Die Erde umläuft die Sonne auf einer kreisförmigen Bahn**

Das frühe heliozentrische Weltbild

#### **Die Äquinoktien – sie wandern**

Die Positionen der Sterne verändern sich

#### **Die Helligkeit des Mondes wird durch die Strahlung der Sonne erzeugt**

Theorien über den Mond

#### **Alles ist wichtig, wenn es um Theorien über den Kosmos geht**

Das Wissen verfestigt sich

#### **Die fixen Sterne wandern scheinbar nach Westen**

Die Erdrotation

#### **Eine kleine Wolke am Nachthimmel**

Die Kartierung von Galaxien

#### **Ein neuer Kalender für China**

Das Sonnenjahr

#### **Wir haben alle Sterne in Ptolemäus' Katalog revidiert**

Verbesserte Instrumente

## **Wir müssen die Sonne ins Zentrum stellen**

Das kopernikanische Weltbild



---

## **DIE TELESKOPREVOLUTION**

1550–1750

---

### **Tychos ungewöhnlicher Stern**

Das Tycho'sche Modell

### **Ein veränderlicher Stern – Mira Ceti**

Ein neuer Sterntyp

### **Am besten passt eine Ellipse**

Elliptische Umlaufbahnen

### **Unsere Augen machen uns auf vier Sterne aufmerksam, die den Jupiter umkreisen**

Galileos vortreffliche Teleskope

### **Ein kreisrunder Fleck mitten auf der Sonne**

Der Transit der Venus

## **Neue Monde im Saturnorbit**

Die Beobachtung der Saturnringe

## **Gravitation erklärt die Bewegung der Planeten**

Die Gravitationstheorie

## **Ich wage die Vorhersage, dass der Komet 1758 erneut auftauchen wird**

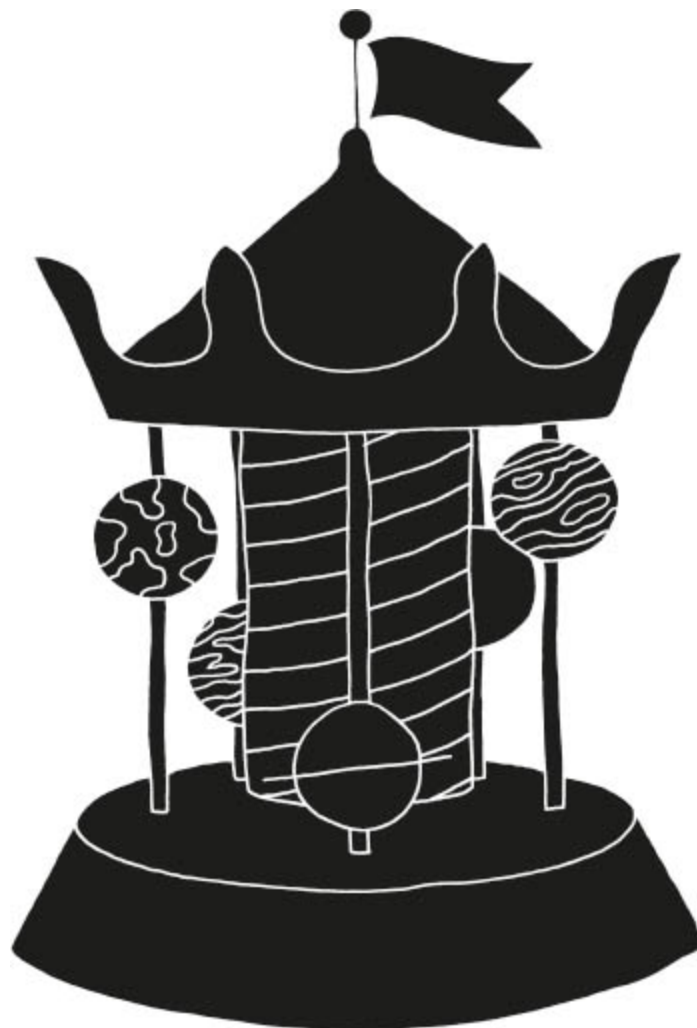
Der Halley'sche Komet

## **Diese Entdeckungen sind die Sensation des Jahrhunderts**

Sternaberration

## **Ein Katalog des südlichen Himmels**

Die Kartierung des Südhimmels



---

# URANUS UND NEPTUN

1750–1850

---

## **Da er sich fortbewegte, dachte ich, es wäre ein Komet**

Beobachtung des Uranus

## **Die Helligkeit des Sterns hat sich verändert**

Veränderliche Sterne

## **Die Milchstraße entspricht einer Wohnung, die Nebel sind die Städte**

Messier-Objekte

## **Über die Konstruktion des Himmels**

Die Milchstraße

## **Felsbrocken aus dem All**

Planetoiden und Meteoriten

## **Die Mechanik des Himmels**

Gravitative Bahnstörungen

## **Ich vermute, dass es etwas Besseres ist als ein Komet**

Die Entdeckung von Ceres

## **Übersicht über den Nachthimmel**

Die südliche Hemisphäre

## **Scheinbare Bewegungen der Sterne**

Sternparallaxen

## **Sonnenflecken unterliegen Zyklen**

Die Oberfläche der Sonne

## **Spiralförmige Strukturen werden aufgespürt**

Die Untersuchung von Nebeln

## **Der Planet, auf dessen Position hingewiesen wurde, existiert wirklich**

Die Entdeckung von Neptun





---

## **AUFSTIEG DER ASTROPHYSIK**

1850–1915

---

### **In der Sonnenatmosphäre wird Natrium entdeckt**

Das Spektrum der Sonne

### **Sterne gemäß ihren Spektren einstufen**

Sternenlicht analysieren

### **Enorme Massen an leuchtenden Gasen**

Eigenschaften von Nebeln

### **Das Gelb der Sonne ist anders als das terrestrischer Flammen**

Die Emissionen der Sonne

### **Mars ist von einem dichten Netzwerk aus Kanälen durchzogen**

Die Marsoberfläche kartieren

### **Die Sterne fotografieren**

Astrofotografie

### **Eine akribische Katalogisierung der Sterne**

Der Sternkatalog

## **Die Einteilung der Sterne gemäß ihren Spektren verrät ihr Alter und ihre Größe**

Die Eigenschaften der Sterne

## **Es gibt zwei Arten roter Sterne**

Absorptionslinien analysieren

## **Sonnenflecken sind magnetisch**

Die Eigenschaften von Sonnenflecken

## **Schwierige Entfernungsmessungen im Universum**

Die Vermessung des Universums

## **Sterne: entweder Zwerge oder Riesen**

Verfeinerung der Sternklassifikation

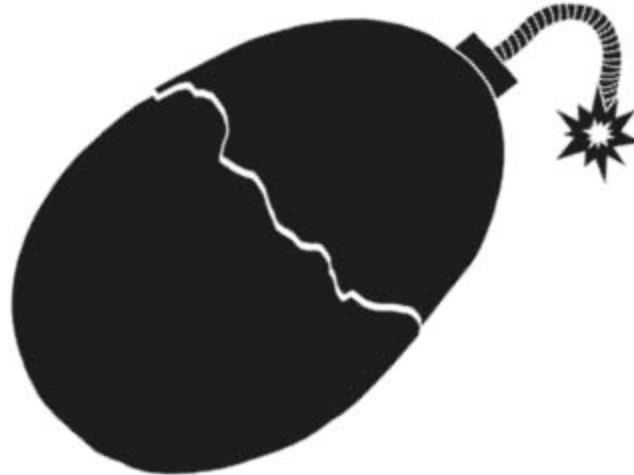
## **Durchdringende Strahlung aus dem Weltraum**

Kosmische Strahlung

## **Weiß, heiß, aber nicht sehr hell**

Die Entdeckung der Weißen Zwerge





---

## **ATOME, STERNE UND GALAXIEN**

1915–1950

---

### **Zeit, Raum und Gravitation sind nicht von Materie zu trennen**

Die Relativitätstheorie

### **Schwarzschild löst Einsteins Feldgleichungen**

Schwarze Löcher krümmen die Raumzeit

### **Spiralnebel sind Sternensysteme**

Spiralgalaxien

### **Sterne bestehen vor allem aus Helium und Wasserstoff**

Die Zusammensetzung der Sterne

### **Unsere Galaxie rotiert**

Die Form der Milchstraße

### **Ein langsamer Prozess der Materievernichtung**

Kernfusion in den Sternen

### **Ein Tag ohne gestern**

Die Geburt des Universums

### **Das Universum expandiert in alle Richtungen**

Jenseits der Milchstraße



## **Weißer Zwerge haben eine enorme Masse**

Der Lebenszyklus der Sterne

## **Das Radiouniversum**

Radioastronomie

## **Der explosive Übergang zum Neutronenstern**

Supernovae

## **Die Energiequelle der Sterne: Kernfusion**

Erzeugung von Energie

## **Jenseits der Planeten gibt es noch sehr viele Kometen**

Der Kuiper-Gürtel

## **Manche Galaxien haben in ihren Zentren aktive Kerne**

Galaxienkerne und Strahlung

## **Das Material von Erde und Mond ähnelt sich sehr**

Der Ursprung des Mondes

## **Entdeckungen werden künftig mit im Weltall basierten Teleskopen gemacht**

Weltraumteleskope

## **In knapp einer Stunde entstanden erste Atomkerne**

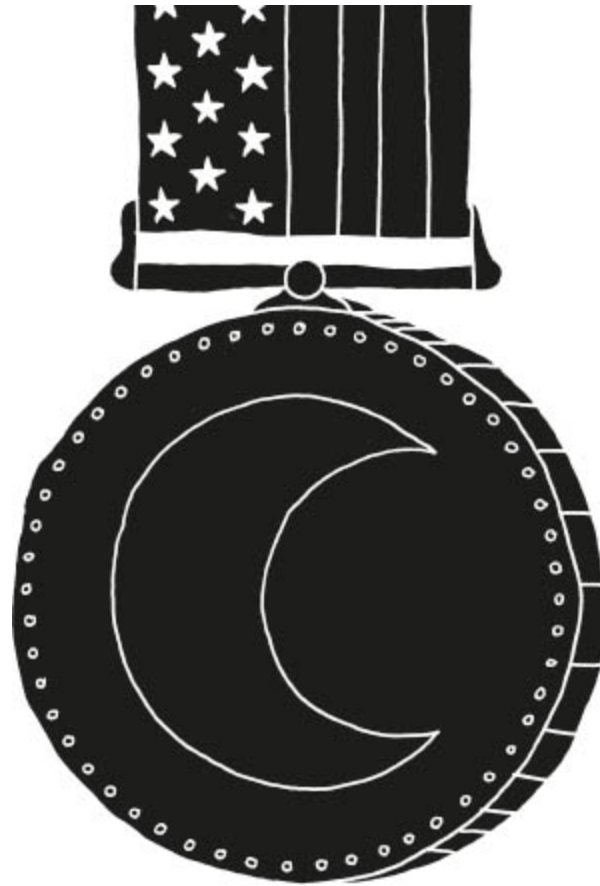
Das Uratom

## **Sterne – Fabriken der chemischen Elemente**

Die Nukleosynthese

## **Stätten der Sternengeburt**

Dichte Molekülwolken



---

## **NEUE FENSTER ZUM UNIVERSUM**

1950–1975

---

### **Eine Wolke umgibt das Sonnensystem**

Die Oort'sche Wolke

### **Kometen sind schmutzige Schneebälle**

Die Zusammensetzung von Kometen

### **Der Weg zu den Sternen öffnet sich**

Der Flug von Sputnik

### **Die Suche nach interstellarer Kommunikation**

Radioteleskope

### **Meteoriten verdampfen beim Einschlag**

Die Erforschung von Impaktkratern

## **Die Sonne schwingt wie eine Glocke**

Die Vibrationen der Sonne

## **Röntgenstrahlen, die von außerhalb des Sonnensystems zu kommen scheinen**

Kosmische Röntgenstrahlung

## **Heller als eine Galaxie, ansonsten eher ein Stern**

Quasare und Schwarze Löcher

## **Leiser Nachhall unseres eruptiven Beginns**

Die Suche nach dem Urknall

## **Die Suche nach außerirdischer Intelligenz ist die Suche nach uns selbst**

Leben auf anderen Planeten

## **Es musste eine neue Art von Stern sein**

Quasare und Pulsare

## **Galaxienwandel im Lauf der Zeit**

Sternentwicklung verstehen lernen

## **Wir wollten einfach zum Mond**

Der Wettlauf im All

## **Die Planeten entstanden aus einer Scheibe aus Gas und Staub**

Die Nebularhypothese

## **Solare Neutrinos kann man nur mit größtem Aufwand detektieren**

Das Homestake-Experiment

## **Ein Stern, den wir nicht sehen können**

Die Entdeckung der Schwarzen Löcher

## **Schwarze Löcher strahlen**

Die Hawking-Strahlung

---

# **TRIUMPH DER TECHNOLOGIE**

**1975–GEGENWART**

---

## **Die Grand Tour zu den großen Planeten**

Die Erforschung des Sonnensystems

## **Das Meiste des Universums fehlt**

Die Dunkle Materie

## **Negativer Druck erzeugt abstoßende Schwerkraft**

Kosmische Inflation

## **Galaxien scheinen sich auf den Oberflächen blasenförmiger Strukturen zu befinden**

Rotverschiebungs-Durchmusterungen

## **Sterne entstehen von innen nach außen**

Im Inneren riesiger Molekülwolken

## **Falten in der Zeit**

Die Beobachtung der CMB

## **Den Kuiper-Gürtel gibt es wirklich**

Entdeckungen jenseits des Neptun

## **Die meisten Sterne haben Planeten**

Exoplaneten

## **Die anspruchsvollste Karte des Universums aller Zeiten**

Eine digitale Darstellung des Kosmos

## **Im Zentrum unserer Galaxie sitzt ein massives Schwarzes Loch**

Das Herz der Milchstraße

## **Die kosmische Expansion nimmt Fahrt auf**

Die Dunkle Energie

## **13,5 Milliarden Jahre zurückgeblickt**

Die Erforschung entfernter Sterne

## **Die Mission: eine Landung auf einem Kometen**

Kometen verstehen lernen

## **Die gewaltsame Geburt des Sonnensystems**

Das Nizza-Modell

## **Nahaufnahme eines Außenseiters im Sonnensystem**

Die Erforschung des Pluto

## **Ein Labor auf dem Mars**

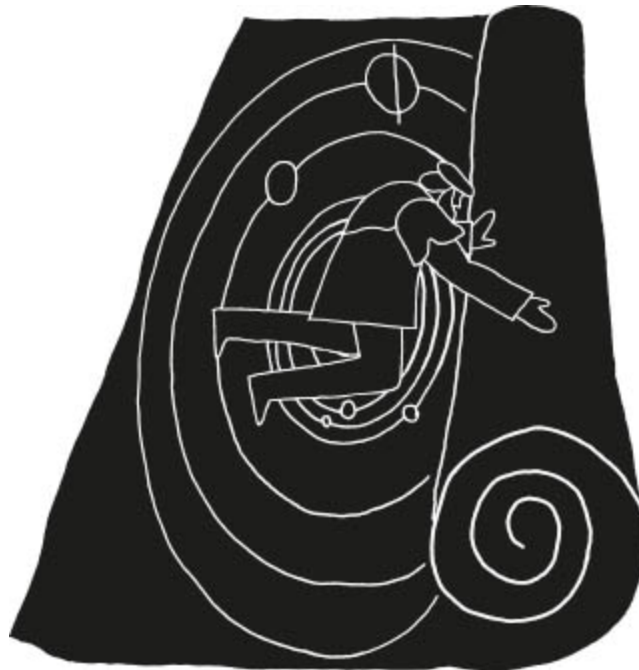
Die Erforschung des Mars

## **Mit Adleraugen den Himmel beobachten**

Tief in den Himmel geblickt

## **Gekräuselte Raumzeit**

Gravitationswellen



**WEITERE ASTRONOMEN**

**GLOSSAR**

**DANK UND BILDNACHWEIS**

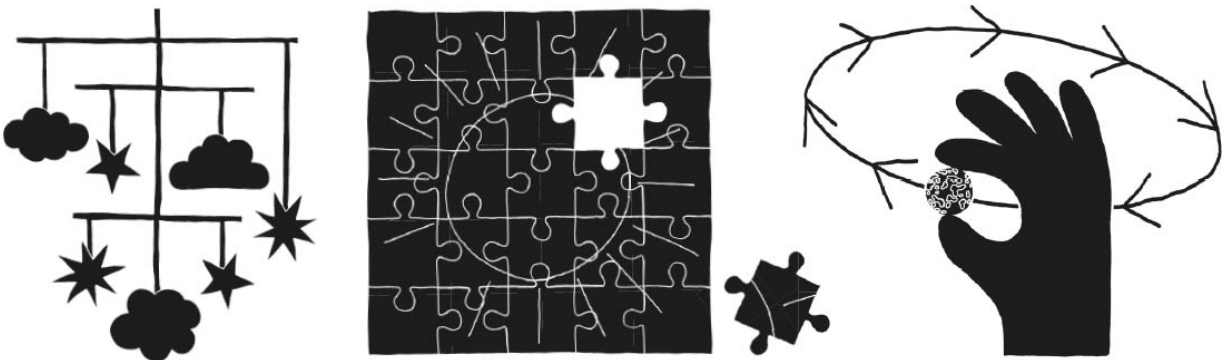




# EINLEITUNG

---

Im Lauf ihrer Geschichte verfolgte die Astronomie stets ihr wichtigstes Ziel: nämlich das Universum zu erklären. In der Antike fragten sich Astronomen, wie und warum die Planeten sich vor den Hintergrundsternen bewegten, was es mit den rätselhaften Kometen auf sich hatte und warum die Sterne so weit weg waren. Heute hat sich der Schwerpunkt verlagert und man fragt sich, wie das Universum begann, wie es aufgebaut ist und wie es sich veränderte. Auch die Frage nach der Art und Weise, in der die Bestandteile des Universums – Galaxien, Sterne und Planeten – in das größere Bild passen, und ob es irgendwo »da draußen« Leben gibt, will beantwortet werden.



## **Astronomie verstehen**

Stets haben alltägliche, oft verwunderte Äußerungen Forscher dazu angeregt, der Sache auf den Grund zu gehen. Seit Jahrtausenden inspirierten diese Fragen neugierige und kreative Köpfe, was in den Bereichen der Philosophie, Mathematik, Technik und Beobachtungsmethodik zu wegweisenden Fortschritten führte. Kaum scheint ein neuer Durchbruch beispielsweise die Gravitationswellen zu erklären, wirft eine weitere Entdeckung neue Fragen auf. Auch wenn

wir meinen, die uns bekannten Bestandteile des Universums, die sich in Teleskopen und Detektoren zeigen, ergründet zu haben, so ist doch eine der größten Entdeckungen das, was wir überhaupt nicht verstehen: dass mehr als 95 % der Materie des Universums in Form von »Dunkler Materie« und »Dunkler Energie« existiert.

## **Ursprünge der Astronomie**

In den dicht besiedelten Weltregionen können wir den Nachthimmel mittlerweile kaum noch wahrnehmen, weil künstliches Licht das schwache Sternenlicht überstrahlt. Diese Lichtverschmutzung ist seit Mitte des 20. Jahrhunderts förmlich explodiert. Früher hingegen waren Sternbilder, Mondphasen und die Konstellationen der Planeten ein vertrauter Teil unseres Alltags.

Die meisten Menschen sind tief bewegt, wenn sie in einer dunklen Nacht zum ersten Mal einen klaren Himmel erleben und zu dem magischen Bogen der Milchstraße emporblicken. So wurden auch unsere Vorfahren auf ihrer Suche nach Sinn und Ordnung am Himmel von einer Mischung aus Ehrfurcht und Neugier getrieben. Das Geheimnis und die Größe des Himmels vermuteten sie im Geistigen und Göttlichen. Gleichzeitig gab jedoch die Regelmäßigkeit sich wiederholender Himmelskörperzyklen erste Hinweise darauf, dass ein geregelter Zeitablauf dahinterstand.

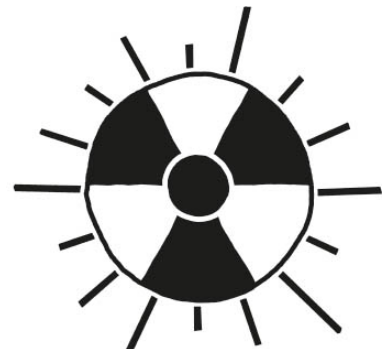
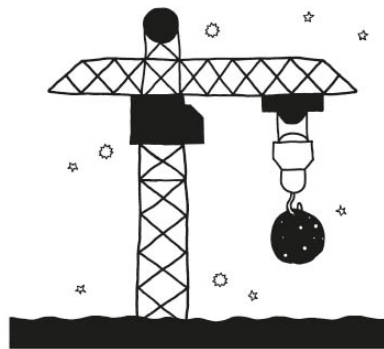
Die Archäologie führt reichlich Beweise an, dass auch in prähistorischen Zeiten astronomische Phänomene eine kulturelle Ressource für Gesellschaften auf der ganzen Welt waren. Wo es keine schriftlichen Aufzeichnungen gab, können wir über das Wissen und den Glauben, die frühen Gesellschaften zu eigen waren, nur spekulieren.

Die ältesten astronomischen Aufzeichnungen stammen aus Mesopotamien, dem Einzugsbereich der Flüsse Tigris und Euphrat im heutigen Irak und seinen Nachbarländern. Tontafeln, die mit solchen Informationen versehen sind, stammen aus der Zeit um 1600 v. Chr. Allerdings gehen einige der Sternkonstellationen, die wir heute

kennen, auf Mythen Mesopotamiens zurück, die noch einige Jahrhunderte älter sind.

»Die Philosophie ist in dieses große Buch des Universums hineingeschrieben, das für unseren Blick immer offen steht.«

### Galileo Galilei



### Astronomie und Astrologie

Die Babylonier beschäftigten sich viel mit Weissagungen. Für sie waren die Planeten Offenbarungen der Götter. Das geheimnisvolle Kommen und Gehen der Planeten und andere ungewöhnliche Geschehnisse am Himmel waren göttliche Zeichen. Diese interpretierten die Babylonier als das, was sie aus Erfahrung kannten. Aus ihrer Sicht waren detaillierte Langzeit-Aufzeichnungen notwendig, um eine Verbindung zwischen dem Himmlischen und dem Irdischen herzustellen – und so begann man im 6. Jh. v. Chr. damit, mit Horoskopen zu arbeiten. Diagramme zeigten, wo zu einer bestimmten Zeit – etwa an jemandes Geburtstag – Sonne, Mond und Planeten vor der Kulisse des Tierkreises erschienen.

Etwa 2000 Jahre lang gab es zwischen der Astrologie, die aus den Positionen der Himmelskörper auf den Verlauf des Lebens und auf die Geschichte eines Menschen schloss, und der Astronomie, auf die sie sich stützte, wenig Unterschiede. Die Bedarfe der Astrologie rechtfertigten die Himmelsbeobachtung. Mitte des 17. Jahrhunderts löste sich die Astronomie als Wissenschaft von der Astrologie – und heute lehnen Astronomen die Astrologie gänzlich ab, weil diese wissenschaftlich irrelevant ist. Dennoch sollten sie den alten Astrologen dankbar dafür sein, dass sie ihnen einen derart wertvollen historischen Schatz vererbt haben.

## **Zeit und Gezeiten**

Die astronomischen Beobachtungen, die einst der Astrologie dienten, gewannen als Mittel der Zeitmessung und Navigation zunehmend an Bedeutung. Die Länder hatten vor allem praktische Gründe – zivile wie auch militärische –, nationale Observatorien zu gründen, zumal sich die Welt industrialisierte und der internationale Handel wuchs. Viele Jahrhunderte lang verfügten nur Astronomen über die Fähigkeit und Ausrüstung, die Weltzeit exakt zu bestimmen. Dies blieb bis zur Entwicklung der Atomuhren Mitte des 20. Jahrhunderts der Fall.

Die menschliche Gesellschaft folgt dem Takt dreier astronomischer Uhren: (1) der Rotation der Erde, die uns den Tag vorgibt, was an der täglichen Wanderung der Sterne an der Himmelskugel nachzuvollziehen ist, (2) der Zeit, die die Erde für eine Umrundung der Sonne braucht, also ein Jahr, und (3) den monatlichen Mondphasen. Diese kombinierten Bewegungen von Erde, Sonne und Mond im Raum bestimmen auch Takt und Größenordnung der Gezeiten, die für Küstenbewohner, Seeleute und die marine Tierwelt bedeutsam sind.

Die Astronomie spielte zudem in der marinen Navigation eine wichtige Rolle, denn die Sterne waren Referenzpunkte, die von überall auf See zu sehen waren. Im Jahr 1675 trat der britische König Karl II. an das Königliche Observatorium in Greenwich bei London heran und gab seinem Direktor John Flamsteed, dem ersten Königlichen Astronomen, die Anweisung, er solle sich dafür einsetzen, die

Beobachtungen »in der Kunst der Navigation« zu perfektionieren«. In den 1970er-Jahren wurde die Astronomie als Navigationsbasis weitgehend durch künstliche Satelliten ersetzt.

»Man sollte die Vorstellungskraft dazu haben, eine Entdeckung auch als solche zu erkennen, wenn man sie gemacht hat.«

**Clyde Tombaugh**



### **Aufgaben der Astronomie**

Die praktischen Gründe für die Weiterführung der Astronomie und der Weltraumwissenschaft haben sich geändert. So ist Astronomie notwendig, um die Risiken einzuschätzen, die der Erde aus dem Weltraum drohen. Nichts veranschaulicht die Verletzlichkeit der Erde mehr als die ikonischen Bilder wie »Earthrise« und »Blue Marble«, die *Apollo*-Astronauten in den 1960er-Jahren machten und uns verdeutlichen, dass die Erde ein kleines Etwas im weiten Weltraum ist. Als Bodenbewohner mag uns der Schutz durch die Atmosphäre und das Erdmagnetfeld in Sicherheit wiegen, aber in Wirklichkeit sind wir einem rauen Weltall ausgeliefert, das uns mit Strahlung und

hochenergetischen Partikeln bombardiert und uns der Gefahr aussetzt, mit festen Himmelskörpern zu kollidieren. Je mehr wir über dieses Weltall wissen, desto besser vorbereitet können wir den potenziellen Bedrohungen gegenüberreten.

»Was für einen wunderbaren und erstaunlichen Entwurf hat uns die herrliche Weite des Universums beschert.«

### **Christiaan Huygens**

#### **Ein universelles Labor**

Noch ein weiterer wichtiger Grund spricht für die Astronomie. Das Universum ist ein großes Laboratorium, in dem man die Grundlagen der Materie, der Zeit und des Raumes erforschen kann. Die unvorstellbaren Dimensionen von Zeit, Größe und Distanz und die Extreme von Dichte, Druck und Temperatur gehen weit über die Bedingungen hinaus, die wir auf der Erde simulieren können. Schwarze Löcher und explodierende Sterne lassen sich nun mal nur aus sicherer Entfernung studieren.

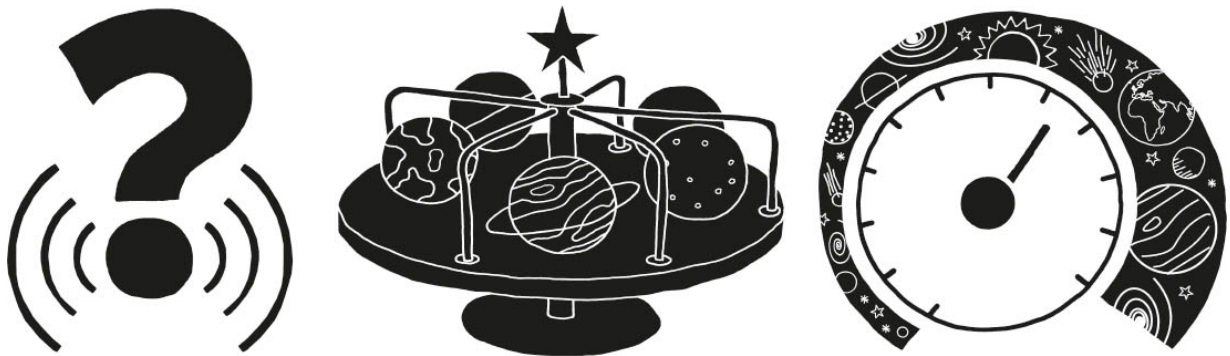
Astronomische Beobachtungen haben die Vorhersagen von Albert Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie spektakulär bestätigt. Nach seiner Aussage erklärte seine Theorie offensichtliche Anomalien in der Merkur-Umlaufbahn, bei denen Newtons Gravitationsgesetze versagten. Arthur Eddington bemerkte 1919 während einer totalen Sonnenfinsternis, wie das Sternenlicht von einer Geraden abwich, als es das Gravitationsfeld der Sonne passierte – ganz wie es die Relativitätstheorie vorhergesagt hatte. Dann wurde 1979 die erste Gravitationslinse entdeckt: Das Licht, das von einem Quasar kam, wurde durch eine Galaxie verzerrt und ließ den Quasar doppelt erscheinen (»Twin Quasar«). Die jüngste Bestätigung von Einsteins



Theorie erfolgte 2015 mit der ersten Detektion von Gravitationswellen, auslaufende Wellen im Gefüge der Raumzeit, die durch die Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher erzeugt werden.

### **Wann beobachten**

Eine der Hauptmethoden, anhand derer Forscher ihre Ideen prüfen und neue Phänomene untersuchen, besteht darin, Experimente zu entwerfen und sie unter kontrollierten Laborbedingungen durchzuführen. Zum größten Teil aber – mit Ausnahme des Sonnensystems, das nahe genug ist für Experimente, die mithilfe von automatisierten Prozessen ausgeführt werden können – müssen sich Astronomen mit ihrer Rolle als Sammler von Strahlung und Elementarteilchen, welche die Erde erreichen, begnügen. Dabei stellte sich heraus, dass eine ihrer wichtigsten Fähigkeiten ist, zu erkennen, wann was und wie zu beobachten ist. So ergab beispielsweise das Sammeln und Auswerten der durch Teleskope gewonnenen Daten, dass die Rotation von Galaxien gemessen werden kann. Das wiederum führte zu der Erkenntnis, dass eine unsichtbare »Dunkle Materie« existieren muss.



### **Ziele der Astronomie**

Bis zum 19. Jahrhundert konnten Astronomen nur die Positionen und Bewegungen der Himmelskörper kartieren. Das veranlasste 1842 den französischen Philosophen Auguste Comte dazu zu behaupten, dass man niemals die Zusammensetzung von Planeten oder Sternen

bestimmen könnte. Doch schon zwei Jahrzehnte später ermöglichten neue Technologien wie die Spektralanalyse des Lichts, die Natur der Sterne und Planeten zu untersuchen. Diesen neuen Bereich der Astronomie nennt man seitdem Astrophysik.

Die Astrophysik wurde nur eine von vielen Spezialdisziplinen bei der Erforschung des Universums, als Nächstes folgten die Astrochemie und die Astrobiologie. Sie verbinden die Kosmologie – das Studium von Ursprung und Evolution des Universums – mit der Himmelsmechanik, die sich mit der Bewegung von Körpern, vor allem im Sonnensystem, beschäftigt. Der Begriff »Planetologie« umfasst alle Aspekte des Studiums der Planeten inklusive dem der Erde. Eine weitere wichtige Disziplin ist die Sonnenphysik.

## **Technik und Innovation**

Mit dem Aufkommen der vielen Spezialdisziplinen, die sich mit dem Weltraum, einschließlich des Planeten Erde beschäftigen, entwickelte sich die Bedeutung des Begriffs »Astronomie« zurück zu einem, der wieder das gesamte Studium des Universums umfasst. Allerdings fällt ein eng damit verwandtes Thema nicht darunter: die »Raumforschung« – eine Kombination aus Technik und praktischen Anwendungen, die mit der Etablierung des »Raumzeitalters« in der Mitte des 20. Jahrhunderts aufblühte.

»Wenn die Astronomie eines lehrt, dann ist es das, dass  
der Mensch nur ein Detail in der Evolution des  
Universums ist.«

**Percival Lowell**

## **Kooperationen**

Jedes Weltraumteleskop und jede Mission, das Sonnensystem zu erforschen, bedient sich der Raumforschung. Daher fällt die Unterscheidung zwischen ihr und der Astronomie schwer. Zudem ist die Raumforschung nur ein Beispiel dafür, wie Fortschritte in anderen Bereichen, vor allem Technik und Mathematik (Teleskope, die Fotografie, neuartige Wege, Strahlung zu detektieren, sowie die digitale Computer- und Datenverarbeitung), zur Entwicklung der Astronomie beitragen. Somit ist die Astronomie der Inbegriff einer groß angelegten interdisziplinären Wissenschaft.

Um unseren Platz im Universum begreifen zu können, müssen wir uns einige essenzielle Fragen stellen: nämlich nach der Bedeutung der Erde als belebter Planet, der Schaffung der chemischen Elemente, aus denen sich das Sonnensystem bildete, und nach dem Ursprung des Universums als Ganzes. Astronomie ist das Werkzeug, mit dem wir diese großen Fragen anpacken. ■

# VOM MYTHOS ZUR WISSENSCHAFT

## 600 v. Chr.–1550 n. Chr.

---

um **550** v. Chr.

**Anaximander von Milet** ersinnt eines der ersten **wissenschaftlichen Konzepte** vom Aufbau des Universums.

**350** v. Chr.

Mit seinem Werk *Über den Himmel* entwirft **Aristoteles** ein **geozentrisches Weltbild** des Universums. Viele seiner Ideen dominieren in den nächsten 2000 Jahren das Denken.

um **200** v. Chr.

In Alexandria vermisst und berechnet **Eratosthenes** den **Erdumfang** und schätzt die Entfernung zwischen Erde und Sonne.

um **530** v. Chr.

**Pythagoras** gründet in Kroton eine Schule, wo er das Konzept eines Kosmos verfolgt, in dem sich die Himmelskörper auf **idealen Kreisen** bewegen.

um **220** v. Chr.

**Aristarchos von Samos** schlägt ein **heliozentrisches Modell** des Universums vor, das aber weithin unbeachtet bleibt.

um **150** n. Chr.

**Ptolemäus** verfasst den *Almagest*, wiederum ein **geozentrisches Modell**, das eine breite Akzeptanz genießt.

**499** n. Chr.

In seiner *Aryabhatiya* vertritt **Aryabhata** die Ansicht, dass die Sternenbewegung am Nachthimmel eine Folge der **Erddrehung** ist.

um **1180**

Der italienische Gelehrte **Gerhard von Cremona** übersetzt arabische Texte wie Ptolemäus' *Almagest* **ins Lateinische** und macht sie Europäern zugänglich.

**1437**

Der Timuridenfürst **Ulugh Beg** korrigiert viele Sternpositionen des *Almagest*.

**1025**

Der arabische Gelehrte **Alhazen** gibt eine Schrift heraus, in der er das **ptolemäische Weltbild** als zu komplex kritisiert.

**1279**

Der chinesische Astronom **Guo Shoujing** führt eine exakte Messung eines **Sonnenjahres** durch.

**1543**

In seinem Buch *Über die Umschwünge der himmlischen Kreise* vertritt **Nikolaus Kopernikus** das heliozentrische Weltbild.

Die Traditionen, auf denen die moderne Astronomie aufbaut, begannen im alten Griechenland und seinen Kolonien. Im nahe gelegenen Mesopotamien jedoch, wo die Babylonier für ihre himmelsmechanischen Vorhersagen mithilfe ihrer Arithmetik bekannt waren, war die Astronomie in der Mythologie verwurzelt, und die Babylonier beschäftigten sich vorrangig mit Prophezeiungen. Für sie war der Himmel das Reich der Götter und lag somit jenseits jeder rationalen Erforschung.

Im Gegensatz dazu versuchten die Griechen, alles was sie am Himmel sahen zu erklären. Thales von Milet (624–546 v. Chr.) gilt als der erste in einer Reihe von Philosophen, die dachten, dass Naturgesetze durch logisches Denken erklärt werden könnten. Zwei Jahrhunderte später lieferte Aristoteles (384–322 v. Chr.) die theoretische Grundlage, auf die sich die Astronomie bis ins 16. Jahrhundert stützte.

## **Aristoteles' Überzeugungen**

Aristoteles war wie sein Lehrer Platon von Pythagoras und dessen Anhängern beeinflusst, die glaubten, dass die natürliche Welt ein »Kosmos« im Gegensatz zum »Chaos« sei. Das bedeutete, dass der Kosmos vernünftig organisiert und nicht etwa unbegreifbar war.

Aristoteles glaubte, dass die himmlischen Reiche – anders als die Welt der Menschen – unveränderlich und perfekt waren, und begrüßte Ideen, die auf dem »gesunden Menschenverstand« fußten. Das bedeutete, dass die Erde unverrückbar war und im Zentrum des Universums stand. Trotz gewisser Inkonsequenzen wurde seine Philosophie als das akzeptabelste Gerüst für die Wissenschaft angenommen und fand Eingang in die christliche Theologie.

## **Geometrische Ordnung**

Mathematisch basierte ein Großteil der griechischen Astronomie auf der Geometrie, insbesondere der Kreise, die man als die perfekte Form erachtete. Indem man kreisförmige Bahnen kombinierte, wurden zur Vorhersage der Planetenpositionen aufwendige geometrische Schemata entworfen, und um 150 v. Chr. stellte der griechisch-ägyptische Astronom Ptolemäus in Alexandria das ultimative Kompendium der griechischen Astronomie zusammen. Doch bereits um 500 v. Chr. hatte der griechische Ansatz zur Astronomie an Dynamik verloren. Letztlich gab es in der Astronomie der abendländischen Tradition nach Ptolemäus fast 1400 Jahre lang keine bedeutenden neuen Ideen. Als die Astronomie in Europa stagnierte, etablierten unabhängig davon die Kulturen in China, Indien und der islamischen Welt ihre eigenen Traditionen. Chinesische, arabische und japanische Astronomen verzeichneten im Jahr 1054 eine Supernova im Sternbild Stier – der berühmte Krebsnebel ist der Rest von ihr. Obwohl die Explosion heller war als die Venus, übersah man sie in Europa.



»Es ist die Pflicht eines Astronomen, die Geschichte der Himmelsbewegungen durch sorgfältiges und kompetentes Studium zusammenzustellen.«

## **Nikolaus Kopernikus**

### **Ausbreitung des Lernens**

Letztendlich kehrte die griechische Wissenschaft über einen Umweg nach Europa zurück. Ab 740 n. Chr. wurde Bagdad ein bedeutendes Wissenszentrum. Ptolemäus' großartiges Kompendium wurde ins Arabische übersetzt und als *Almagest* bekannt. Im 12. Jahrhundert wurden viele Texte aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzt, sodass das Erbe der griechischen Philosophen über die islamischen Gelehrten Westeuropa erreichte. Die Erfindung des Buchdrucks Mitte des 15. Jahrhunderts erweiterte den Zugang zu Büchern. Nikolaus Kopernikus, der 1473 geboren wurde, sammelte zeitlebens Bücher, einschließlich die von Ptolemäus. Für Kopernikus hatte Ptolemäus die ursprüngliche Zielsetzung der griechischen Philosophen nicht richtig umgesetzt, nämlich die Natur zu beschreiben, indem man einfache Prinzipien zugrunde legt. Kopernikus verstand zwar intuitiv, dass das heliozentrische Konzept ein viel einfacheres System sein würde, hielt aber sein Manuskript aus Sorge, er würde sich blamieren, lange zurück, sodass es erst kurz vor seinem Tod gedruckt wurde. Wie zu erwarten, lehnten die Kirchenfürsten das neue Konzept empört ab, während viele Astronomen zustimmten. ■

# TATSÄCHLICH – DIE ERDE BEWEGT SICH NICHT

## DAS GEOZENTRISCHE WELTBILD



### IM KONTEXT

#### SCHLÜSSELFIGUR

**Aristoteles** (384–322 v. Chr.)

#### FRÜHER

**465 v. Chr.** Der griechische Philosoph Empedokles meint, es gäbe vier Elemente: Erde, Wasser, Luft und Feuer. Aristoteles behauptet, die Sterne und Planeten bestünden aus einem fünften Element, dem Äther.

**387 v. Chr.** Platos Schüler Eudoxus postuliert, die Planeten seien transparente rotierende Kugeln.

#### SPÄTER

**355 v. Chr.** Der Grieche Herakleides behauptet, der Himmel sei fix und die Erde drehe sich.

**12. Jh.** Thomas von Aquin, ein italienischer Theologe, beginnt, Aristoteles' Theorien zu lehren.

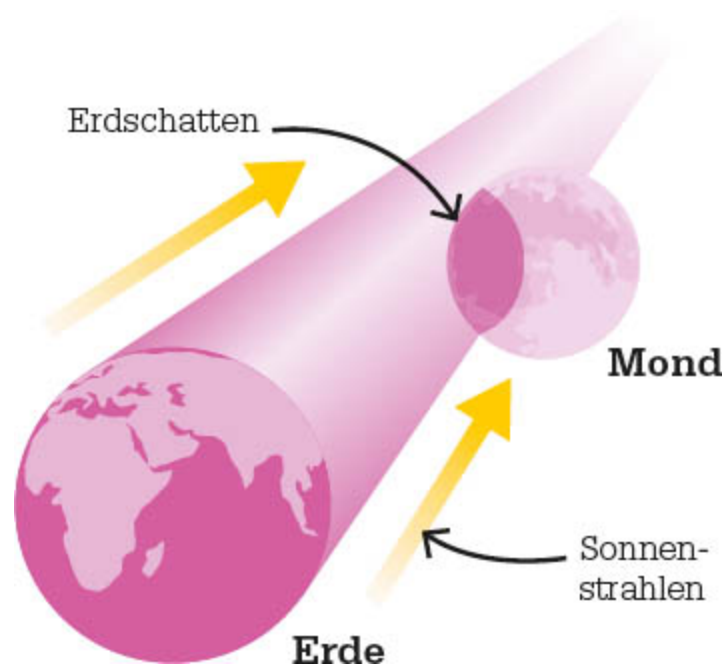
**1577** Tycho Brahe zeigt, dass der Große Komet weiter von der Erde weg ist als der Mond.

**1687** Isaac Newton erklärt in seinen *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* die Schwerkraft.

---

Aristoteles aus dem in Nordgriechenland gelegenen Mazedonien, einer der einflussreichsten westlichen Philosophen, glaubte, dass das Universum von physikalischen Gesetzen regiert wird. Er versuchte, diese durch Deduktion, Philosophie und Logik zu erklären.

Aristoteles beobachtete, dass die Positionen der Sterne scheinbar miteinander verknüpft waren und dass sich ihre Helligkeit niemals änderte. Die Sternbilder blieben immer dieselben und drehten sich täglich um die Erde. Auch Mond, Sonne und Planeten umrundeten unverändert die Erde. Ihre Bewegung, so glaubte er, war kreisförmig und ihre Geschwindigkeit konstant.



**Während einer Mondfinsternis** wirft die Erde einen kreisförmigen Schatten auf den Mond. Das überzeugte Aristoteles, dass die Erde eine Kugel ist.

Der Schatten, den die Erde während einer Mondfinsternis auf den Mond warf, überzeugten ihn, dass die Erde eine Kugel war. Er zog den Schluss, dass die sphärische Erde im Raum stationär blieb, sich niemals drehte oder ihre Position änderte, während der Kosmos sich

um sie herum drehte. Er war davon überzeugt, dass die Erde still in der Mitte des Universums verharrte.

Aristoteles' Theorie nach war auch die Erdatmosphäre stationär. An ihrer Obergrenze trat Reibung zwischen den atmosphärischen Gasen und dem rotierenden Himmel auf. Vulkanische Gase stiegen hoch empor. Entzündet durch die Reibung, brachten diese Gase Kometen hervor und – wenn das sehr schnell geschah – entstanden Sternschnuppen. So argumentierte man bis ins 16. Jahrhundert.