

MARK EMMERICH SVEN MELCHERT

ALLES — ÜBER ASTRO NOMIE

KOSMOS



DIE WUNDER DES WELTALLS
STERNE & PLANETEN BEOBACHTEN

Dieses E-Book ist die digitale Umsetzung der Printausgabe, die unter demselben Titel bei KOSMOS erschienen ist. Da es bei E-Books aufgrund der variablen Leseinstellungen keine Seitenzahlen gibt, können Seitenverweise der Printausgabe hier nicht verwendet werden. Statt dessen können Sie über die integrierte Volltextsuche alle Querverweise und inhaltlichen Bezüge schnell komfortabel herstellen.

INHALT

Unser Universum

WELTRAUMFORSCHUNG

Himmelsbeobachtung durch die Jahrhunderte

Astronomische Teleskope

Die Vermessung des Weltalls

Radioastronomie

Satellitenteleskope

Raumsonden

UNSER SONNENSYSTEM

Das Sonnensystem in Zahlen

Die Sonne

Merkur

Venus

Die Erde

Der Mond

Mars

Kleinplaneten

Jupiter

Saturn

Uranus

Neptun

Pluto

Kometen

Rosetta und „Tschuri“

DAS UNIVERSUM DER STERNE

Die Milchstraße

Die Sterne

Geburt der Sterne

Exoplaneten

Offene Sternhaufen

Planetarische Nebel

Supernovae

Kugelsternhaufen

Die Magellanschen Wolken

GALAXIEN UND DER URKNALL

Galaxien

Galaxienhaufen

Quasare

Die Rätsel des Universums

HIMMELSBEOBACHTUNG

Ein Blick zum Nachthimmel

Alles dreht sich am Sternenhimmel

Mond und Planeten

Finsternisse mit Sonne und Mond

Der Sternenhimmel des Monats

ASTRONOMIE ALS HOBBY

Die Welt der Hobbyastronomen

Ferngläser und Teleskope

Sonne, Mond und Planeten

Sternhaufen, Nebel und Galaxien

Astrofotografie

Zum Weiterlesen
Impressum

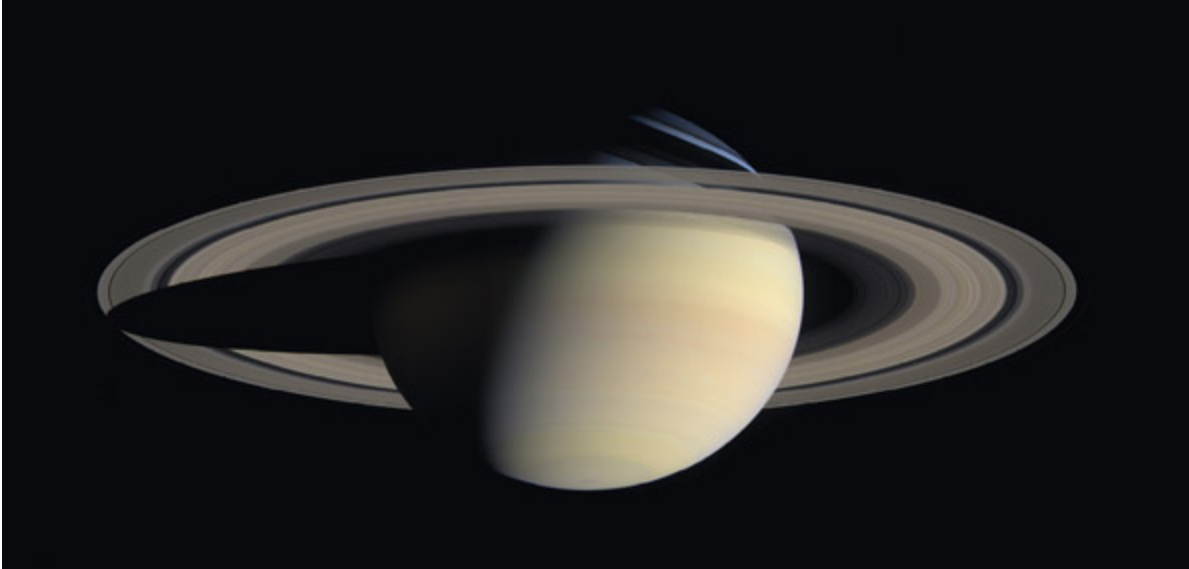
UNSER UNIVERSUM

— *Willkommen im Weltall*

Wie ist das Universum entstanden? Gibt es auch anderswo Leben im All? Was sind Schwarze Löcher? Astronomie ist die faszinierende Wissenschaft des Weltalls. Dieses Buch fasst die wichtigsten und spannendsten Themen leicht verständlich zusammen.

Das Raumschiff rast mit über 100.000 Kilometern pro Stunde durch das All. In vier Stunden ist der Mond erreicht, in anderthalb Monaten der Mars. Das Raumschiff hat Menschen an Bord, viele Menschen. Aber es kann nicht fliegen, wohin es will. Unser Raumschiff Erde ist an die Sonne gebunden. Die Sonne ist ein Stern unter vielen. Bis zum nächsten Nachbarstern wäre unser Raumschiff mit dieser Geschwindigkeit über 46.000 Jahre unterwegs. Das ist eine lange Zeit, kann das Raumschiff denn nicht schneller fliegen?

Die schnellste Geschwindigkeit im Universum ist die Lichtgeschwindigkeit, rund 300.000 Kilometer in der Sekunde oder eine Milliarde Kilometer pro Stunde. Am Mond flitzt man damit in 1,3 Sekunden vorbei, bis zum Mars vergehen 15 Minuten und bis zum nächsten Nachbarstern etwas mehr als vier Jahre. Das ist schon besser, aber kann das Raumschiff nicht noch schneller fliegen?



Saturn ist ein Planet des Sonnensystems. Dort gibt es sicher kein Leben, doch vielleicht auf einem seiner Monde.
© NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

Nein. Die Lichtgeschwindigkeit ist das Tempolimit des Universums. Noch schneller geht es nur in Science-Fiction-Filmen, wenn die Enterprise mit Warp 8 durch das All düst. Genau genommen ist auch sie nicht schneller als das Licht, faltet aber den sie umgebenden Raum zusammen, so dass die Strecke kürzer wird. Das ist eine intelligente Idee, doch leider hat bis heute niemand herausgefunden, wie man sie verwirklichen kann.

Die astronomische Forschung hat hingegen viel herausgefunden. Vor 400 Jahren dachte man noch, die Erde sei das Zentrum von allem. Beim ersten Blick an den Nachthimmel klingt das auch plausibel, denn alle Gestirne scheinen sich um die Erde zu drehen. Dabei ist es die Erde, die sich um sich selbst dreht und gleichzeitig mit 100.000 Kilometern pro Stunde die Sonne umrundet. Eine ganze Runde um die Sonne dauert ein Jahr, genau genommen 365,25 Tage, weshalb alle vier Jahre ein Schalttag im Kalender erscheint. Doch die Sonne ist nur ein Stern von vielen. Alle Sterne am Himmel sind Teil einer Galaxie, die wir Milchstraße nennen. In der Milchstraße gibt es Milliarden Sterne, sie alle umlaufen deren Zentrum. Für eine Runde um das Milchstraßenzentrum benötigt unsere Sonne mit ihren Planeten eine lange Zeit – rund 220 Millionen Jahre.

Die schnellste Reisezeit bis zum nächsten Stern beträgt wie gesagt etwas mehr als vier Jahre. Das kann man noch als kosmische Nachbarschaft bezeichnen, denn andere Sterne sind Hunderte oder Tausende Lichtjahre von uns entfernt. So lange braucht ihr Licht, bis es uns erreicht. Und so lange brauchen eventuelle

Funksignale von Außerirdischen, bis wir sie empfangen können. Das gilt auch umgekehrt: die irdischen Funkwellen haben bisher nur eine Entfernung von 100 Lichtjahren durchdrungen. Vielleicht wurden sie bereits von Aliens empfangen und man hat uns geantwortet, doch bis deren Nachricht bei uns ankommt, vergehen weitere Jahrzehnte.

Kann es überhaupt Leben fern der Erde geben? Noch wurde keines gefunden, doch Astronomen haben in den letzten Jahren bei anderen Sternen zahlreiche Planeten entdeckt. Darunter sind auch einige Kandidaten, die unserer Erde womöglich ähnlich sind. Und je besser die künftige Beobachtungstechnik wird, desto mehr Exoplaneten werden gefunden. Schon bald werden neue Teleskope auf die Jagd nach Exoplaneten gehen.



Die Sonne ist ein Stern unter vielen. Unser nächster Nachbarstern ist Proxima Centauri. Dort wurde ein Planet gefunden, vielleicht eine zweite Erde? Hier eine künstlerische Darstellung seiner Oberfläche.

© ESO/M. Kornmesser

Sind wir allein im Universum? Wahrscheinlich nicht. Doch es ist leider sehr unwahrscheinlich, dass wir von den Nachbarn im All aufgrund der großen Entfernungen jemals etwas erfahren werden. Außer, jemand erfindet den Warp-Antrieb, dann ist der erste Kontakt mit einer fremden Zivilisation nicht mehr fern. Bis es so weit ist, arbeiten die Astronomen fleißig weiter und entlocken dem Universum seine Geheimnisse.



Totale Sonnenfinsternis am 2. Juli 2019 über dem „European Southern Observatory“ auf La Silla in den chilenischen Anden.

© R. Lucchesi/ESO

HIMMELSBEOBSACHTUNG

— *durch die Jahrhunderte*

Die Geschichte der Astronomie hat mehrmals unser Weltbild revolutioniert. In den Gestirnen sah man Götter, entwickelte mit ihnen Kalender, benutzte sie für Horoskope und versuchte, Anfang und Ende der Welt zu erklären.

Wer hin und wieder den Sternenhimmel betrachtet, wird einige Gesetzmäßigkeiten entdecken können. Jedes Jahr tauchen zur gleichen Jahreszeit vertraute Sternmuster auf. So hatte die Beobachtung des Nachthimmels für

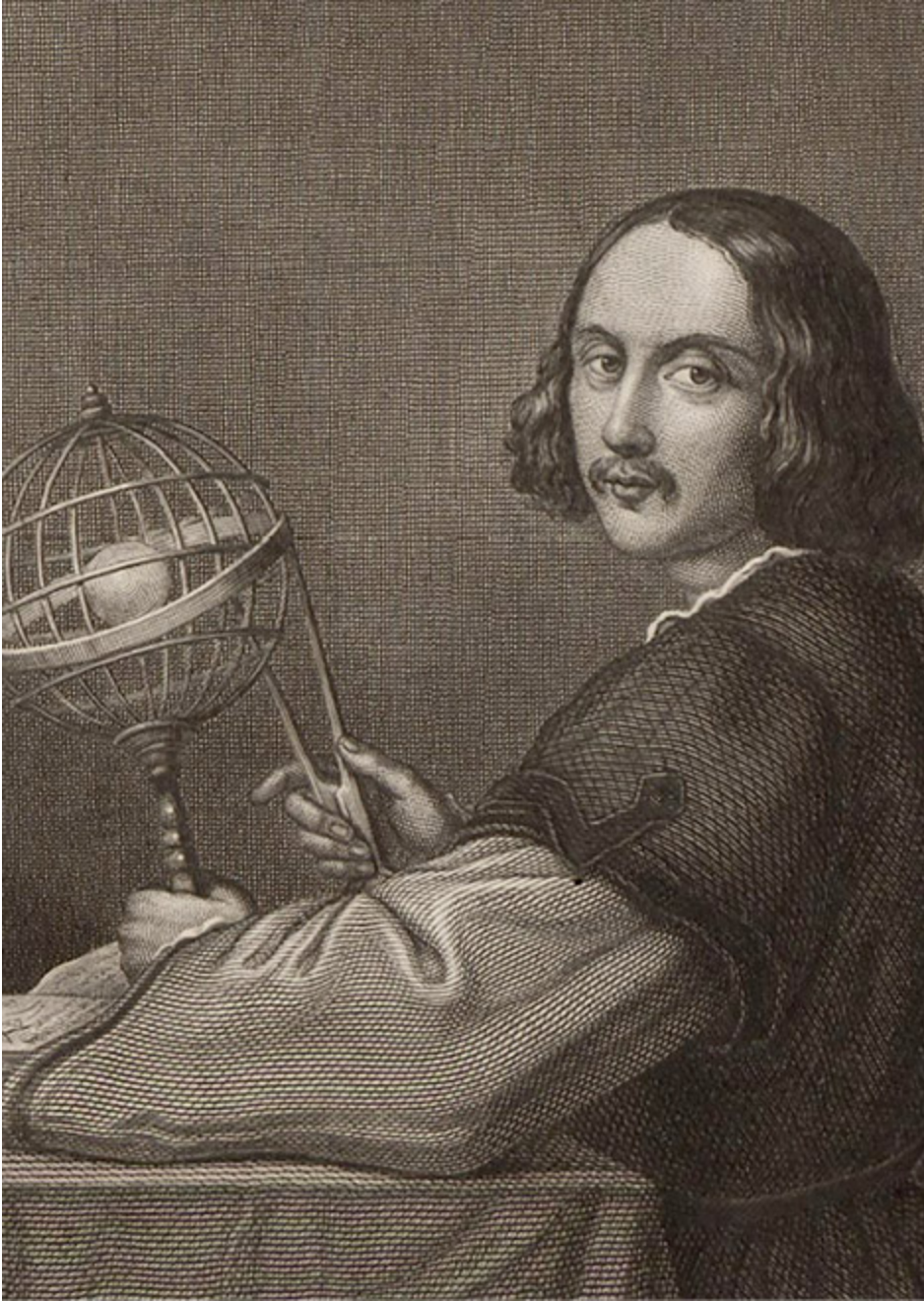
unsere Vorfahren ganz praktische Gründe. Im antiken Ägypten verband man das Auftauchen des hellen Sterns Sirius mit der alljährlichen Nilüberschwemmung, die das Land wieder fruchtbar machte. War Sirius im Sommer erstmals am Morgenhimmel zu sehen, musste bald darauf die Nilüberschwemmung folgen. Mit mächtigen Bauwerken – am bekanntesten ist Stonehenge in Südengland – versuchte man, die himmlischen Abläufe zur präzisen Vorhersage irdischer Gegebenheiten zu benutzen. Die Menschen hatten damals noch keine Kalender, sie waren auf die Deutungen des Himmels durch erfahrene Priesterastronomen angewiesen.

Einige Lichtpunkte am Himmel scherten jedoch aus dieser Gesetzmäßigkeit aus. Sie veränderten ihre Positionen, wandelten vor dem offensichtlich unveränderlichen Fixsternhimmel hin und her. Ihr oft helles und immer ruhiges Licht hob die „Wandelsterne“ von allen anderen Sternen ab. Die klassischen sieben Wandelsterne – heute benutzt man für sie die griechische Bezeichnung „Planeten“ – sind Sonne, Mond, Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Sie dienten als Götter oder mussten zur Zukunftsdeutung herhalten. Allem Anschein nach war die Erde der Mittelpunkt der Welt, denn alle anderen Gestirne schienen sie zu umkreisen.



Ist die Erde der Mittelpunkt des Universums? So zeigt es die Darstellung von Andreas Cellarius aus dem Jahr 1660.

© Andreas Cellarius: Harmonia macrocosmica



© Marco Basaiti/Digiporta



© A. Burgsdorff/Digiporta



Sie entwickelten das moderne Weltbild: Nikolaus Kopernikus, Johannes Kepler und Tycho Brahe.
© Jacques de Gheyn/Digiporta

MITTELPUNKT DES UNIVERSUMS?

Es sollte bis ins Mittelalter dauern, bis ein Mönch die geradezu ketzerische Theorie aufstellte, die Erde sei nicht Mittelpunkt des Universums: Giordano Bruno wurde für diese Behauptung auf dem Scheiterhaufen verbrannt. Doch je intensiver die Menschen die Bewegungen der Planeten studierten, desto mehr

Zweifel ergaben sich. Zur Erklärung der offensichtlichen Schleifenbewegungen wurde eine komplizierte Theorie geschaffen, nach der die Planeten zwar um die Erde kreisen, selbst aber wiederum auf kleineren Kreisen um diesen „Erdumlaufkreis“ ihre Bahnen ziehen. Diese „Epizykeltheorie“ wurde noch von Tycho Brahe unterstützt, der Ende des 16. Jahrhunderts mit bloßem Auge die bis dahin genauesten Positionen der Planeten bestimmte.

Doch schon Mitte des 16. Jahrhunderts veröffentlichte Nikolaus Kopernikus seine für damalige Zeiten verwegene Theorie, nach der sich die Erde und alle anderen Planeten um die Sonne bewegen.

Als Erbe der Braheschen Beobachtungen blieb es dann Johannes Kepler vorbehalten, die wahre Natur der Planetenbewegungen zu ergründen und seine noch heute gültigen drei Gesetze zu formulieren. Sein Modell der Welt kam einer Revolution gleich: alle Planeten umlaufen die Sonne, und sie bewegen sich nicht auf Kreis-, sondern auf Ellipsenbahnen. Das zweite Keplersche Gesetz sagt aus, dass sich die Planeten in Sonnennähe schneller auf ihrer Bahn bewegen als in Sonnenferne. Sein drittes Gesetz beschreibt schließlich einen Zusammenhang zwischen der Entfernung eines Planeten von der Sonne und dessen Umlaufzeit. Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, desto länger benötigt er für einen Sonnenumlauf.

Keplers Modell war erfolgreich, weil er damit die Positionen der Planeten mit einer bis dahin nicht erreichten Genauigkeit vorhersagen konnte. Eine physikalische Begründung für die aus Beobachtungen abgeleiteten Gesetze lieferte erst Isaac Newton, der 1687 sein Gravitationsgesetz formulierte, aus dem sich die Keplerschen Gesetze auf rein mathematischem Weg ableiten lassen. Zu dieser Zeit begann auch die Himmelsbeobachtung mit Teleskopen. Je größer und besser die Teleskope wurden, desto stärker wuchs das Wissen über unser Universum.



Die klassische Sternwarte: Das astrophysikalische Observatorium in Potsdam wurde 1899 eingeweiht. Sein Hauptinstrument ist ein Teleskop mit 80 cm durchmessenden Linsen.

© Astronomisches Institut Potsdam/Rainer Arlt

FORTSCHRITT DURCH TELESKOPE

In die Geschichte eingegangen sind die Beobachtungen von Galileo Galilei, auch wenn er das Teleskop selbst nicht erfunden hat. Galilei aber war es, der um 1610 zum ersten Mal Krater auf dem Mond, Flecken auf der Sonne und die Monde des Planeten Jupiter sah.

Den nächsten großen Sprung machte die Himmelsforschung, als 1781 Friedrich Wilhelm Herschel durch Zufall den Planeten Uranus entdeckte. Aus Störungen

der Uranusbahn schlossen Jean-Joseph Leverrier und John Couch Adams auf einen weiteren Planeten, der 1846 von Johann Gottfried Galle entdeckt wurde. Man gab ihm den Namen Neptun. Erst 1930 wurde mit Pluto der letzte klassische Planet des Sonnensystems entdeckt.

Zweifelte schon lange niemand mehr am kopernikanischen Weltsystem mit der Sonne im Mittelpunkt des damals bekannten Universums, so war die erste Bestimmung einer Sternentfernung doch ein weiterer Schock. Im Jahr 1838 gelang es Friedrich Wilhelm Bessel, die Entfernung des Sterns 61 im Sternbild Schwan zu messen. Nach Bessels Beobachtungen musste „61 Cygni“ mehrere Billionen Kilometer weit entfernt sein. Damit war klar: Die Sonne kann nicht der Mittelpunkt des Weltalls sein. Die Entwicklung der Spektralanalyse Mitte des 19. Jahrhunderts wies zudem darauf hin, dass es sich bei den Sternen um ferne Sonnen handelt, die der unseren in vielerlei Hinsicht ähnlich sind.

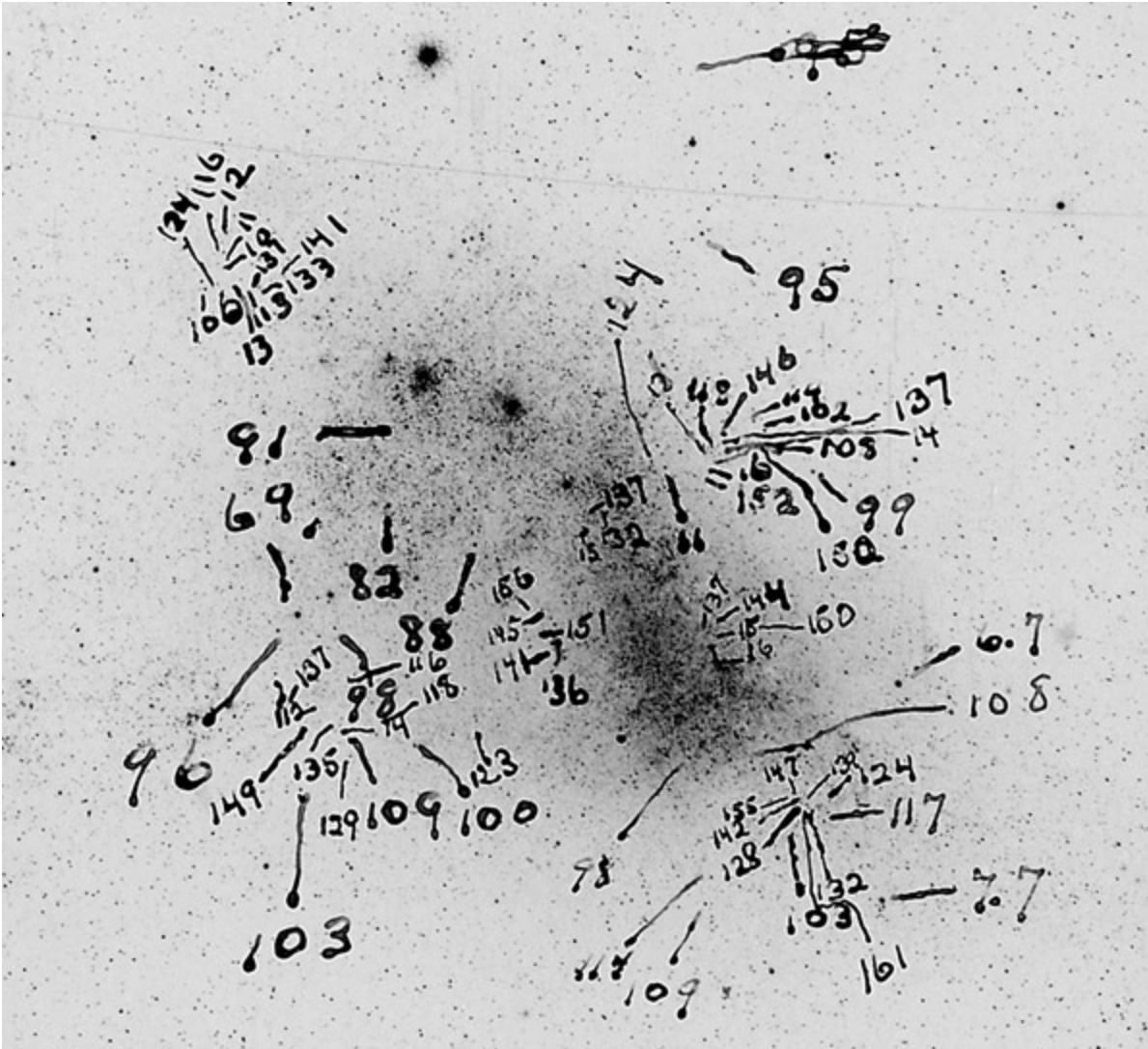
Ein Riesenschritt gelang 1923 Edwin Hubble. Sein Teleskop war mit 2,5 m Durchmesser schon fast so groß wie heutige Profiteleskope. Er nutzte die Fotografie, um einzelne Sterne im „Andromeda-Nebel“ zu beobachten. Hubbles Messungen offenbarten die Natur dieses Objekts: Der Andromeda-Nebel ist eine Galaxie, ähnlich unserer Milchstraße.

Hubble legte außerdem den Grundstein für die heute noch gängige Lehrmeinung über die Entstehung des Universums: Das Weltall ist vor ca. 13,7 Milliarden Jahren entstanden und dehnt sich seitdem aus. Konkrete Beweise für dieses als Urknall bekannte Szenario lieferten erstmals Arno Penzias und Robert Wilson 1965. Sie entdeckten rein zufällig die kosmische Hintergrundstrahlung, das zarte Echo des Urknalls.

Die größten Rätsel der Kosmologie sind nach wie vor die Entstehung und Zukunft des Universums. Im Jahr 1998 fand ein Forscherteam heraus, dass sich das Weltall mit zunehmender Entfernung immer schneller ausdehnt. Wird der Kosmos bis in alle Ewigkeit auseinandertreiben?



© Harvard College Observatory



Henrietta Swan Leavitt wertete Aufnahmen der Kleinen Magellanschen Wolke aus und ermittelte damit 1912 die Perioden-Leuchtkraft-Beziehung der Cepheiden-Sterne, so dass sie fortan zur Entfernungsbestimmung benutzt werden können.

© Arequipa Observatory, Digital Access to a Sky Century @ Harvard



Die Zukunft der Astronomie: der Spiegeldurchmesser des europäischen Riesenteleskops ELT wird 39 m betragen; es soll um 2025 mit Beobachtungen beginnen.

© ESO

ASTRONOMISCHE TELESKOPE

— *und das Licht der Sterne*

Mit der Erfindung des Fernrohrs begann für die Astronomie ein neues Zeitalter. Je größer die Teleskope wurden, desto mehr konnte man mit ihnen über das Universum in Erfahrung bringen. Und es werden bald neue „Superaugen“ gebaut.

Astronomen beobachten ferne Himmelsobjekte mit immer größeren Teleskopen. Ein typisches Observatorium befindet sich auf einem hohen Berg, weit entfernt von den hell erleuchteten Gebieten unserer Zivilisation. Hier starren moderne Riesenteleskope in jeder klaren Nacht an den pechschwarzen Himmel. Wie von Geisterhand gesteuert gleiten die tonnenschweren Kolosse durch die Dunkelheit, elektronische Empfänger registrieren unbestechlich jedes Lichtpünktchen und erzeugen große Datenmengen, die später in monatelanger Arbeit ausgewertet werden. Mit dem romantischen Bild des Astronomen, der nächtelang einsam hinter dem Fernrohr kauert und mit eigenen Augen das Universum erforscht, hat die Astronomie schon lange nichts mehr zu tun.

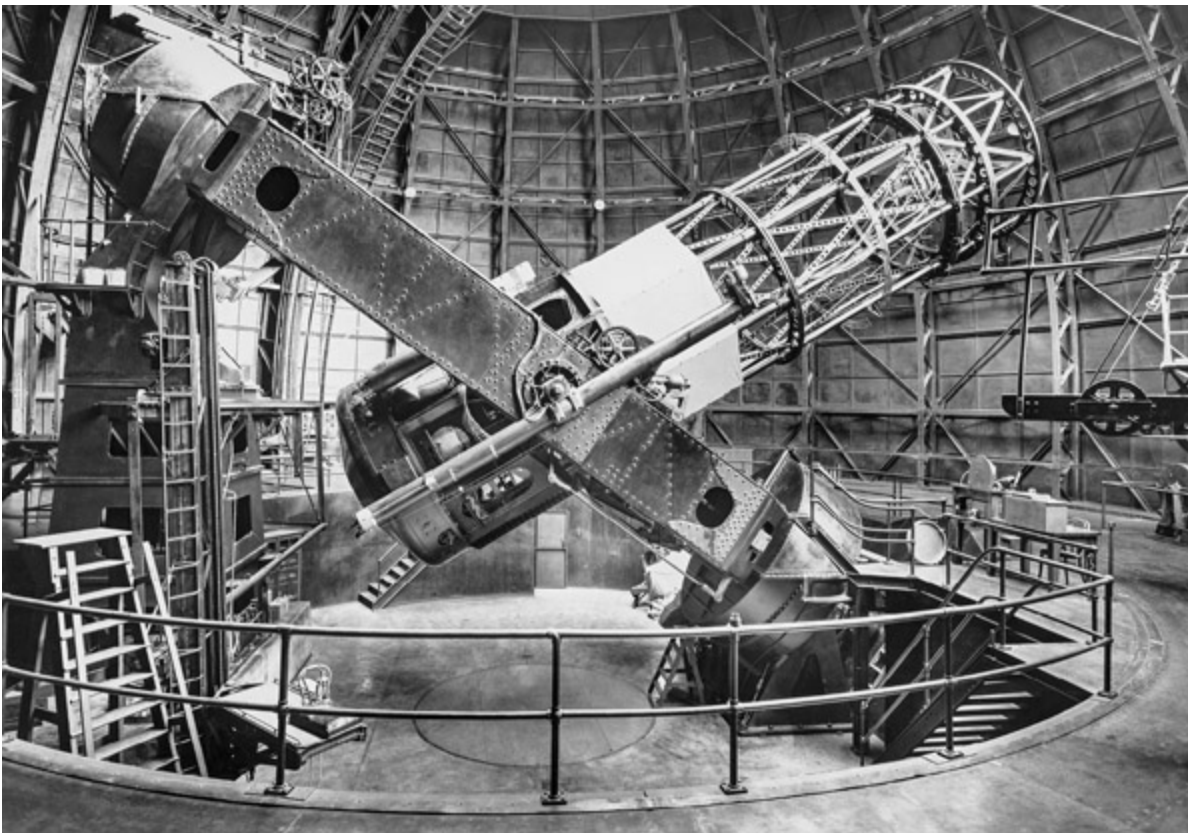
SO FUNKTIONIEREN TELESKOPE

Dabei hat sich das Grundprinzip aller Teleskope seit Galileo Galilei, dem ersten Astronomen mit Fernrohr, nicht geändert. Jedes Teleskop hat die gleiche simple Aufgabe: es soll Licht sammeln. Dies kann es umso besser, je größer die lichtsammelnde Fläche des Fernrohrs ist. Mit jeder Verdopplung des Teleskopdurchmessers steigt die Leistung um ein Vierfaches an. Aus diesem Grund werden immer größere Teleskope gebaut, und mit jedem neuen steigt die Hoffnung, dem Weltraum nun endlich seine letzten Geheimnisse entreißen zu können.

Es gibt zwei prinzipiell unterschiedliche Bauarten von Teleskopen:

Linsenteleskope (Refraktoren) und Spiegelteleskope (Reflektoren). Das Prinzip des Spiegelteleskops wurde 1668 von Isaac Newton eingeführt. Linsenteleskope wurden hauptsächlich bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingesetzt. Das größte je gebaute Linsenteleskop ist mit einem Durchmesser von 1,02 m der Yerkes-

Refraktor in Wisconsin/USA, der 1897 in Betrieb genommen wurde. Um die unvermeidlichen Farbfehler der Linsen klein zu halten, besitzen Refraktoren eine im Verhältnis zum Durchmesser große Brennweite, was man auf den ersten Blick erkennen kann: Sie sehen aus wie lange, dünne Röhren. Noch größere Linsenteleskope können nicht gebaut werden, da sich sonst die Linsen unter ihrem Eigengewicht durchzubiegen beginnen. Teleskope mit Durchmessern von über einem Meter werden daher prinzipiell als Spiegelteleskop gebaut. Auch haben Reflektoren gegenüber den Refraktoren einen entscheidenden Vorteil: Da das Licht reflektiert wird – und nicht wie beim Linsenteleskop gebrochen –, sind ihre Bilder vollkommen farbrein. Leider bleibt aber auch ein Nachteil: Um das Licht dem Beobachter oder dem Detektor zugänglich zu machen, muss es über einen kleineren Fangspiegel aus dem Strahlengang des Teleskops gelenkt werden. Dieser Fangspiegel (auch Sekundärspiegel genannt) verschlechtert die Abbildungsleistung eines Spiegelteleskops im Vergleich zum Refraktor.



Mit dem 2,5-Meter-Hooker-Reflektor bestimmte Edwin Hubble 1923 die Entfernung der Andromeda-Galaxie.
© Observatories of the Carnegie Institution for Science Collection at the Huntington Library, San Marino, California



Die europäische Südsternwarte auf dem chilenischen Andengipfel La Silla. In der Bildmitte steht das kantige Gebäude des New Technology Telescope.

© Aleksandar Cikota/ESO

ENTSCHEIDEND IST DIE SCHÄRFE

Doch die Größe eines Teleskops ist nicht das einzige Qualitätskriterium; auf die Schärfe der Bilder kommt es mindestens ebenso an. Mit zunehmendem Objektivdurchmesser steigt auch die Schärfelistung eines Teleskops. Zumindest theoretisch, denn in der Praxis stellt sich heraus, dass ein durchschnittliches Hobby-Teleskop mit zum Beispiel 20 cm Durchmesser genauso scharfe Bilder zeigt wie ein Profiteleskop mit riesigem 8-m-Spiegel. Schuld daran ist die Erdatmosphäre: Sie verwirbelt das Licht eines Sterns, lässt es hin und her tanzen, erzeugt zappelnde und alles andere als scharfe Bilder der Himmelskörper.

Das Licht übersteht auf seinem jahrelangen Weg durch den weiten Weltraum schier unendliche Entfernungen nahezu unbeschadet, um dann auf den letzten Kilometern von den Luftschichten der Erdatmosphäre bis zur Unkenntlichkeit verwirbelt zu werden! Aus diesem Grund werden Sternwarten auf möglichst hohen Bergen errichtet, um den störenden Luftschichten wenigstens zum Teil entgehen zu können. Richtig ungestört können aber nur im Weltraum stationierte Teleskope das Universum erforschen.

Die größte Herausforderung besteht neben dem Bau immer größerer Teleskope daher in der Entwicklung technischer Methoden, um die Schärfelistung der Großteleskope zu verbessern. Die Sterne einfach mit starrem Blick zu fixieren, genügt nicht mehr. Teleskopspiegel bestehen aus einer Glaskeramik und werden

mit zunehmendem Durchmesser immer dicker und schwerer, um die Präzision der spiegelnden Fläche zu gewährleisten. So ist der Spiegel des berühmten 5-m-Teleskops auf dem Mt. Palomar in den USA bereits 50 cm dick. Noch größere Teleskopspiegel müssten nach der klassischen Bauweise immer dicker, schwerer und das Teleskop damit sehr viel teurer werden. Ein Dilemma, das lange Zeit den Bau von Teleskopen mit Spiegeln größer als fünf Meter verhinderte. Fachleute werden feststellen, dass an dieser Stelle das 6-m-Teleskop in Selentschukskaja nicht erwähnt wurde. Dieses sowjetische Großteleskop ging 1976 in Betrieb, hat aber aufgrund technischer Probleme nie seine erwartete Leistung erbringen können.

WENN TELESKOPE AKTIV WERDEN

Mit dem „New Technology Telescope“ (NTT) der Europäischen Südsternwarte ESO wurde eine neue Technik getestet. Statt den Teleskopspiegel wie sonst dick und starr zu machen, besitzt das NTT einen zwar 3,5 m großen, aber nur 24 cm dünnen Hauptspiegel, der mit Computerhilfe und 75 Zug- und Druckschrauben ständig in seiner idealen Form gehalten wird. Dank dieser „aktiven Optik“ verbesserte sich die Schärfleistung enorm und das Teleskop wurde zudem deutlich preisgünstiger als ein gleichgroßes in klassischer Bauart. Damit war der Weg frei für den Bau noch größerer Teleskope, wie den vier 8-m-Spiegeln des „Very Large Telescope“ (VLT) der ESO oder den zwei aus vielen Spiegelsegmenten zusammengesetzten 10-m-Teleskopen des Keck-Observatoriums auf Hawaii.

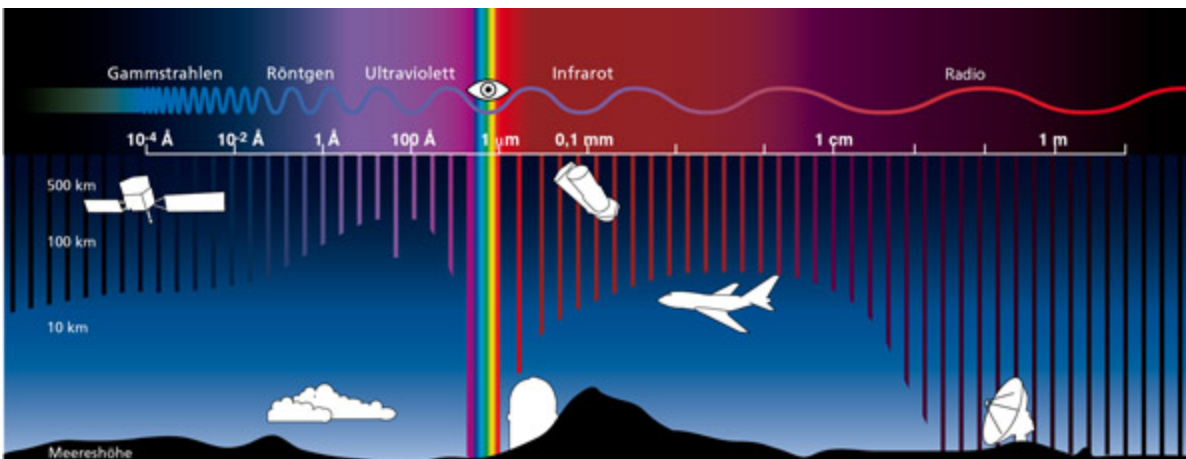
Neben dieser aktiven Optik setzen die Forscher eine noch viel ambitioniertere Technik ein, um die Störungen der Erdatmosphäre auszuschalten: die „adaptive Optik“. Das Grundprinzip der adaptiven Optik ist einfach, seine technische Umsetzung umso schwieriger: Ein Computer analysiert das ständige Zappeln der Sterne und steuert eine kleine Hilfsoptik, die sich im Strahlengang des Teleskops befindet. Im Idealfall gelingt es damit, das zitternde Sternlicht zu beruhigen und so die gesamte Schärfleistung des Riesenspiegels nutzen zu können.

Die Beobachtung des Weltalls mit normalen Teleskopen ist immer noch der aktivste Teil der Astronomie, aber schon lange nicht mehr der einzige. Bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts ist bekannt, dass es neben dem sichtbaren Licht auch andere Sorten von Strahlung gibt. Ob Infrarot, Radio-, Röntgen- oder Gammastrahlen – im Kosmos ist weitaus mehr zu „sehen“, als es das menschliche Auge wahrzunehmen vermag.

KURZE STRAHLEN, LANGE WELLEN

Das menschliche Auge – und auch die elektronischen Empfänger der optischen Teleskope – kann nur einen Bruchteil des elektromagnetischen Spektrums wahrnehmen. Links und rechts der bekannten Regenbogenfarben schließen sich andere Frequenzbereiche an. Zu längeren Wellenlängen hin sind dies Infrarotstrahlung und Radiowellen, zu kürzeren Wellenlängen hin ultraviolettes Licht, die Röntgen- und Gammastrahlung.

Ein Großteil dieser Strahlung wird von der Erdatmosphäre nicht durchgelassen (die Eindringtiefe ist in der Abbildung durch senkrechte Balken symbolisiert). Das ist ein Segen für die Menschheit, die dadurch vor schädigender Strahlung geschützt wird, aber ein Hindernis für die Astronomen, denn von der Erdoberfläche aus können nur kleine Teile des gesamten Spektrums empfangen werden. Neben dem für uns Menschen sichtbaren Licht sind das die Radiowellen und Teile der Infrarot- sowie Submillimeter-Strahlung. Alle anderen Strahlungsarten können nur außerhalb der Erdatmosphäre, zum Beispiel von Satellitenteleskopen in einer Erdumlaufbahn empfangen werden.



Das Auge nimmt nur einen Bruchteil des elektromagnetischen Spektrums wahr. Nach rechts und links schließen sich Wellenlängen an, die teilweise nur vom Weltraum aus beobachtet werden können.

© Mark Emmerich

Der Mensch besitzt einen der besten Lichtdetektoren der Welt: die Augen. Es ist kein Zufall, dass unsere Augen ausgerechnet im schmalen Spektralbereich zwischen 400 und 600 nm (nm = Nanometer, ein Milliardstel Meter) am empfindlichsten sind. Denn genau hier strahlt die Sonne viel Energie ab. Auf den ersten Blick kann das Auge drei wichtige Eigenschaften eines Sterns wahrnehmen: seine Position, seine Helligkeit und, zumindest zum Teil, seine

Farbe. Damit verbunden sind drei wichtige Forschungszweige der Astronomie: die Astrometrie (Positionsbestimmung), die Fotometrie (Helligkeitsmessung) und die Spektroskopie (Untersuchung der farbigen Bestandteile des Lichts) von Sternen.

ORDNUNG AM STERNENHIMMEL

Die Aufgabe der Astrometrie ist es, mit möglichst großer Genauigkeit die Positionen der Sterne zu vermessen. Dieses Ansinnen hat die Menschheit schon vor Jahrtausenden beschäftigt, so sind die uns heute bekannten Sternbilder entstanden. Dank der charakteristischen Muster kann sich auch der Naturbeobachter am Himmel orientieren und die Position eines Sterns zum Beispiel mit „der linke Stern der Wagendeichsel des Großen Wagens“ angeben. Mehr Systematik liegt dem System von Johannes Bayer zugrunde, der die Sterne eines Sternbilds mit kleinen griechischen Buchstaben benannte: Der hellste Stern eines Sternbilds wird mit α (alpha) bezeichnet, der zweithellste mit β (beta), usw. Leider ist dieses System nicht frei von Fehlern und mathematisch wenig brauchbar, so dass der Himmel schließlich mit einem Koordinatennetz ähnlich den irdischen Längen- und Breitengraden überzogen wurde. Der geografischen Länge entspricht dabei die Himmelskoordinate „Rektaszension“, der Breite die „Deklination“. Mit diesen beiden Koordinaten kann man die Position eines Sterns genau und für jeden Beobachter nachvollziehbar angeben.



Der große Bär (Ursa Major) in der kunstvoll ausgeschmückten Sternkarte von Sidney Hall aus dem Jahr 1825.
© Sidney Hall

Die Rektaszension wird dabei in Stunden, Minuten und Sekunden von 0 bis 24 Stunden angegeben, die Deklination in Winkelgrad von 0° bis $+90^\circ$ (nördlich des „Himmelsäquators“) bzw. 0° bis -90° (südlich des Himmelsäquators). Der vorhin genannte linke Stern der Wagendeichsel des Großen Wagens trägt daher auch die Bezeichnung η UMa (eta in Ursa Major, dem Großen Bären) bzw. die Koordinaten $13^{\text{h}}47^{\text{m}}$ (Rektaszension), $+49^\circ19'$ (Deklination). Dank genauer Sternpositionen konnten exakte Himmelskarten gezeichnet werden. Noch heute ist die Astrometrie des Himmels nicht abgeschlossen, immer wieder werden die Positionen der Sterne verbessert und vor allem schwächere Sterne neu erfasst. Zwei Aspekte erschweren genaue Positionsangaben von Sternen: Einmal ändern sich ihre Koordinaten aufgrund der langfristig schwankenden Erdachse (der sogenannten Präzession), zweitens besitzen alle Sterne eine Eigenbewegung, d. h. sie sind keineswegs so fix, wie es die Bezeichnung „Fixstern“ vermuten lassen würde. Die Präzession ist gut erforscht und kann mit Computerhilfe kompensiert werden, die Eigenbewegung vieler schwacher Sterne ist allerdings lange noch

nicht gut genug bekannt und muss immer weiter vermessen werden.

Ein Trost bleibt: für durchschnittliche Genauigkeitsansprüche und gedruckte Sternkarten genügt es, diese alle 50 Jahre zu aktualisieren (derzeit gilt das Jahr 2000 als Fixpunkt); Profiastronomen müssen dagegen sowohl die Eigenbewegung als auch die Präzession berücksichtigen.

Mit Hilfe der Astrometrie kann man bereits etwas über Ort und Bewegung eines Sterns erfahren. Um aber weitere Eigenschaften des Sterns zu erforschen, müssen sowohl seine Helligkeit als auch chemische Zusammensetzung bekannt sein.

GROSSTELESKOPE TRUMPFEN AUF

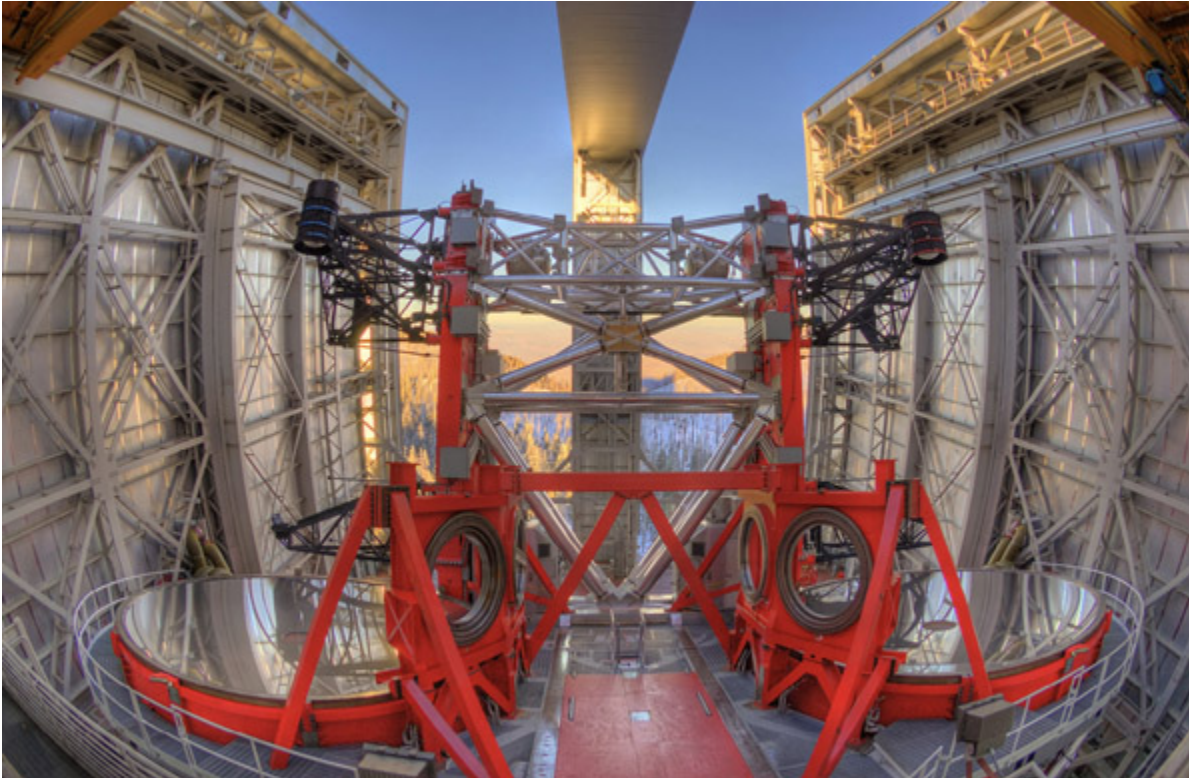
Schon ein kurzer Blick zum Nachthimmel zeigt: Nicht alle Sterne sind gleich hell. Besonders im Winter sind viele sehr helle Sterne am Himmel zu sehen, zum Beispiel im Sternbild Orion, und etwas darunter Sirius im Großen Hund, der hellste Stern am irdischen Nachthimmel. Andere Sternbilder, zum Beispiel der Krebs, bestehen aus so lichtschwachen Sternchen, dass man sie nur mit Mühe entdecken kann. Die Bestimmung der Sternhelligkeiten wird als Fotometrie bezeichnet. Hier können große Teleskope ihre Stärke ausspielen, denn je größer das Teleskop ist, desto schwächere Sterne kann es wahrnehmen.

Leider ist die Maßeinheit für Sternhelligkeiten aus historischen Gründen etwas undurchsichtig. Sie basiert auf dem von Hipparch eingeführten System, wonach die hellsten Sterne der Größe 1 zugeordnet werden, etwas schwächere der Größe 2 und die schwächsten, noch mit bloßem Auge wahrnehmbaren Sterne der Größe 6 angehören. In einer mathematisch genauer gefassten Form findet dieses System der „Magnitudines“ (lat., Größenklassen) heute noch Verwendung, wurde aber für besonders helle Objekte um negative Werte ergänzt. Als offizieller Nullpunkt dient der Stern Wega im Sternbild Leier. Sirius, der hellste Stern am Himmel, ist demnach $-1,5^m$ hell, der Vollmond -12^m und die Sonne sogar -27^m .

Interessanter wird es, wenn man die Helligkeitsskala zu lichtschwächeren Sternen hin betrachtet. Bereits ein Fernglas zeigt Sterne der 8. Größe, Hobbyteleskope kommen bis 15^m , der 5-m-Spiegel auf dem Mt. Palomar erreichte mit Belichtungen auf Fotoplatten ca. 23^m . Besonders den modernen CCD-Detektoren, die heute das Licht anstelle von Fotoplatten registrieren, ist es zu verdanken, dass Großteleskope mittlerweile Objekte der 30. Größe nachweisen können.

Aber die Helligkeitsbestimmung von Sternen hat weitaus mehr Sinn als deren bloße Katalogisierung. Denn manche Sterne leuchten nicht immer gleich hell

und werden daher „Veränderliche“ genannt. Im Zeitraum von Stunden, Tagen, Wochen oder Monaten schwankt ihre Helligkeit. Bei einigen geschieht dies regelmäßig wie ein Uhrwerk, andere werden plötzlich heller oder schwächer. Hinter diesen Helligkeitsschwankungen verbirgt sich eine Vielzahl physikalischer Prozesse, die alle etwas über die Natur eines Sterns verraten. Zwei prominente Beispiele seien hier genannt, mehr über das Thema der veränderlichen Sterne berichtet das [Kapitel ab hier](#).



Das Large Binocular Telescope auf dem Mount Graham/USA besitzt zwei Spiegel mit einem Durchmesser von je 8,4 Metern.

© LBTO Collaboration/Marc-Andre-Besel, Wiphu Rujopakarn



Das Very Large Telescope der ESO ist ein Verbund aus vier 8-m-Teleskopen und kleinerer Hilfsteleskope.

© ESO/B. Tafreshi (twanight.org)

BEDECKUNGEN UND PULSATIONEN

Im Sternbild Perseus befindet sich der Stern Algol, dessen Helligkeitsschwankungen man bereits mit bloßem Auge verfolgen kann. Etwa alle drei Tage wird Algol schwächer, um innerhalb weniger Stunden wieder seine normale Helligkeit zu erreichen. Genauere Untersuchungen ergaben, dass sich dort zwei Sterne umkreisen und in regelmäßigen Abständen gegenseitig bedecken (linker Teil der Abb. oben). Obwohl man die Sterne im Teleskop nicht einzeln sehen kann, offenbart sich allein durch die Untersuchung des Lichtwechsels die Natur des Objekts: Algol ist ein Doppelstern.

Eine ganz andere Art Veränderlicher ist der Stern δ (delta) im Sternbild Kepheus. Seine Helligkeit steigt etwa alle fünf Tage an, um dann wieder auf den Normalwert abzusinken. Die zugehörige Lichtkurve (rechter Teil der Abb. oben) sieht aber ganz anders aus als bei Algol – handelt es sich ebenfalls um einen Doppelstern? Die Antwort lautet nein, denn δ Cephei verändert sich tatsächlich, er pulsiert. Im Gegensatz zu unserer gleichmäßig leuchtenden Sonne ist δ Cephei instabil, er bläht sich regelmäßig auf und zieht sich danach wieder zusammen. Allein durch die Beobachtung von Sternhelligkeiten können die Astronomen viel über die Natur der Sterne in Erfahrung bringen. An Vielfalt überboten wird die Fotometrie aber noch von der Spektroskopie, denn damit kann man tatsächlich die chemische Zusammensetzung selbst Lichtjahre entfernter Sterne bestimmen – ohne eine Probe des Sterns in einem irdischen Labor zu untersuchen.