

GILES SPARROW

KOSMOS



Die Geheimnisse
des Universums
— in 21 Sternen
und drei Schwindlern

GILES SPARROW

**Die Geheimnisse
des Universums
— in 21 Sternen**
und drei Schwindlern

Aus dem Englischen übersetzt von
Michael Vogel

KOSMOS

*Für Katja und ihre Unterstützung
in außergewöhnlichen Zeiten*

Inhalt

Vorwort

Funkel, funkel, kleiner Stern ...

1 – Polaris

Mit dem faulsten Stern des Himmels die Grundlagen verstehen

2 – 61 Cygni

Die Entfernungsbestimmung eines fliegenden Sterns

3 – Aldebaran

Wie die Farbe eines Riesen seine Geheimnisse verrät

4 – Mizar (und Freunde)

Ein schneller Walzer unter mehreren Sternen

5 – Alcyone und ihre Schwestern

Wie der schönste Sternhaufen des Himmels ein wichtiges Diagramm inspirierte

6 – Die Sonne

Was wir vom Stern vor unserer Haustür lernen können

7 – Das Trapez und andere Wunder

Leuchtende Nebel und der Ursprung der Sterne

8 – T Tauri

Die Geheimnisse der Sternentstehung

9 – Proxima Centauri

Zwergsterne mit überraschend großer Wirkung

10 – Helvetios

Auf der Suche nach fremden neuen Welten

11 – Algol

Von veränderlichen Sternen und versteckten Doppelsternen

12 – Mira

Von Roten Riesen und pulsierenden Sternen

13 – Sirius (und sein Bruder)

Der strahlende Hundstern und sein geheimnisvoller Begleiter

14 – RS Ophiuchi

Ein Flackerstern, der eines Tages explodiert

15 – Beteigeuze

Die größten Sterne am Himmel und wie man sie vermisst

16 – Eta Carinae

Das Schicksal eines Monstersterns

17 – Der Krebspulsar

Eine berühmte Supernova und was von ihr übrigblieb

18 – Cygnus X-1

Die Suche nach einem Schwarzen Loch im dunklen Universum

19 – Eta Aquilae

Cepheiden – ein Maßband für den Kosmos

20 – Schwindler Nummer 1: Omega Centauri

Kugelhaufen – Sternstädte mit alternder Bevölkerung

21 – S2

Eine Reise ins Zentrum unserer Galaxis

22 – Schwindler Nummer 2: Der Andromeda-Nebel

Unsere große Nachbargalaxie – und die weitere Umgebung

23 – Schwindler Nummer 3: 3C 273

Quasare – weit entfernte Leuchtfeuer im Kosmos

24 – Supernova 1994D

Dunkle Materie, Dunkle Energie und das Schicksal des Universums

Quellenverzeichnis

Danksagung
Impressum

Vorwort

Funkel, funkel, kleiner Stern ...



Falls Sie es nicht schon anhand des Einbands erraten haben: Dies ist ein Buch über Sterne. Sollte es Ihnen möglich sein, dem modernen Fluch der Lichtverschmutzung zu entkommen und einen absolut freien Blick auf den Horizont zu genießen, dann können Sie in einer klaren Nacht – falls Sie genügend Karotten gegessen haben – ungefähr 4500 Sterne sehen. Der Himmel ist übersät von ihnen. Dazu muss es aber *wirklich* dunkel und die Nacht muss *richtig* klar sein. Bei solch einer seltenen Gelegenheit können da oben so viele Sterne leuchten, dass man Schwierigkeiten hat, sich zu orientieren – selbst wenn einem die hellen Sternbilder ziemlich vertraut sind (was bei mir der Fall ist). Mit einem halbwegs vernünftigen Fernglas schnellert die Zahl der Sterne am Himmel schlagartig auf mehr als hunderttausend hoch. Ein kleines Fernrohr erhöht sie auf über 2,5 Millionen – genug, um auch den besessensten Sterngucker für mehrere Leben zu beschäftigen. Aber selbst das ist nur die Spitze des kosmischen Eisbergs: Die besten Berechnungen legen nahe, dass das Milchstraßensystem (die gewaltige Scheibe aus Sternen, die wir als unsere Heimatgalaxie bezeichnen) etwa 400 Milliarden Sterne beherbergt. Pro Jahr beginnen sechs oder sieben zusätzlich zu leuchten. Und die Zahl von 400 Milliarden Sternen können Sie vermutlich quadrieren, denn es gibt mindestens so viele Galaxien im Universum wie Sterne in unserem Milchstraßensystem.

All das legt den Schluss nahe, dass Sterne keine Luxusausstattung sind;

diese hübschen Lichter des Nachthimmels sind nicht nur Dekoration. Vielmehr hängt unser Leben von ihrem Wohlwollen ab, denn sie sind so ziemlich das Einzige, was im Universum Hitze und Licht erzeugt und die Oberfläche eines Planeten in der harschen, gnadenlosen Kälte des Alls erwärmen kann. Zudem würden diese kleineren Welten nicht einmal existieren, gäbe es da nicht die treibende Kraft der Sternentstehung. Wärme und Licht aus dem All sind zusammen mit der geologischen Energie aus dem Planeteninneren die einzigen uns bekannten Möglichkeiten, das komplexe Durcheinander biochemischer Reaktionen anzutreiben, welches wir Leben nennen. Doch unsere enge Verbindung mit den Sternen geht noch weiter als das, was der amerikanische Astronom und Fernsehmoderator Carl Sagan so einprägsam ausdrückte mit den Worten: „Wir sind Sternenstaub.“ Dieses Buch besteht aus Atomen, die wohl mehrfach diese großen kosmischen Recyclingmaschinen durchlaufen haben. Genauso ist es mit der Luft, die Sie einatmen, dem Stuhl, auf dem Sie sitzen, und jedem Molekül Ihres Körpers (abgesehen vom Wasserstoff in Ihnen, der direkt vom Urknall stammt). Mit anderen Worten: Sterne sind alles – daher würde bestimmt nur ein Dummkopf versuchen, die Geschichte von rund 160.000.000.000.000.000.000.000 Sternen anhand von nur 21 Exemplaren zu erzählen. Oder? Zum Glück gibt es doch mehrere Umstände, die die Waage zu meinen Gunsten ausschlagen lassen.

Zuallererst unterliegen die Sterne so sicher den physikalischen Gesetzen wie dieses Buch auf Ihren Zeh fällt, wenn Sie es loslassen. Obwohl jeder Stern ein Einzelfall ist, durchlaufen alle Sterne ähnliche Phasen im Lauf ihres Lebens. Sie leuchten aufgrund der gleichen grundlegenden Prozesse und lassen sich zu verschiedenen Gruppen zusammenfassen. Was für einen bestimmten Stern stimmt, wird daher mehr oder weniger auch auf Milliarden andere Sterne zutreffen. Zweitens: Obwohl Generationen von Himmelsbeobachtern jahrhundertlang Teile dieser Geschichte zusammentrugen, hat sich das Tempo der Erkenntnis seit meiner Zeit als eifriger, junger Absolvent der Astronomie deutlich beschleunigt. Satellitenobservatorien und riesige, computergesteuerte Teleskope haben eine astronomische Revolution ausgelöst: Seit den 1990er-Jahren können wir die Nachwehen des Urknalls erfassen, haben die Prozesse erkannt, die für Entstehung und Ende der Sterne verantwortlich sind, entdeckten Tausende fremder Welten und haben eine völlig neue Methode entwickelt,

um den fernen Kosmos mittels der Gravitation statt über das Licht zu beobachten. (Und nebenbei haben wir entdeckt, dass etwas den Raum an sich immer schneller dehnt.) Angesichts all dieser Erkenntnisse bin ich sehr dankbar, dass dieses Buch aus einem gewaltigen Fundus an Wissen, Theorien und fundierten Vermutungen schöpfen kann. Oh, und drittens habe ich geschummelt. Ich habe meine Handvoll Sterne mit einigen weiteren Objekten veredelt: mit Schwindlern, die einst irrtümlich für Sterne gehalten wurden. Sie helfen uns, unsere Geschichte so umfassend wie möglich zu erzählen – über die Gegenwart, Vergangenheit und Zukunft des Universums selbst.

Die Sterne, mit denen wir uns auf den folgenden Seiten befassen, wurden aus verschiedenen Beweggründen ausgewählt. Einige wie 61 Cygni und Sirius B spielten eine besondere Rolle dabei, unseren Platz im Universum zu erkennen. Andere, wie Aldebaran und Eta Aquilae, repräsentieren eine ganze Objektklasse und ermöglichen so, einen größeren Rahmen aufzuzeigen. In den meisten Fällen handelt es sich um eine Mischung aus beidem. Zuvorderst wollte ich allerdings sicherstellen, dass möglichst viele dieser Objekte leicht zu sehen sind. Für die meisten genügt ein klarer, dunkler Nachthimmel und zum Auffinden vielleicht eine Smartphone-App (oder die Skizzen in diesem Buch). Einige der anderen sind mit einem Fernglas oder kleinen Fernrohr zu erkennen. Nur wenige bleiben aufgrund ihrer Eigenschaften tatsächlich ernsthaften Amateuren oder Berufsastronomen vorbehalten.

Die Astronomie ist sowohl die älteste als auch die fesselndste Wissenschaft. Der Grund ist schlichtweg ihre Zugänglichkeit. Jeder von uns kann nachts hinausgehen und das Licht eines fernen Sterns erleben, das auf die eigene Netzhaut trifft und einen Reiz im Sehnerv auslöst. Dieses Licht machte sich womöglich vor Tausenden von Jahren auf den Weg. Die schiere Größe des Alls und unser im Vergleich dazu bedeutungsloser Ort im Universum wirken Respekt einflößend. Sie können aber auch zum Nachdenken anregen und zu dem Wunsch führen, mehr zu erfahren. In Krisensituationen wie zum Beispiel in der seltsamen Zeit der Corona-Isolation kann der Blick zum Sternenhimmel auch zu einer verbindenden Erfahrung werden. Blicken wir zum gleichen Stern, sehen wir etwas, das wir mit anderen aus Nah und Fern teilen können. Gehen Sie also hinaus, wenn es Ihnen möglich ist, und schauen Sie, wie viele der 21 Sterne (und der drei

Schwindler) Sie selbst finden.

Giles Sparrow

1 – Polaris

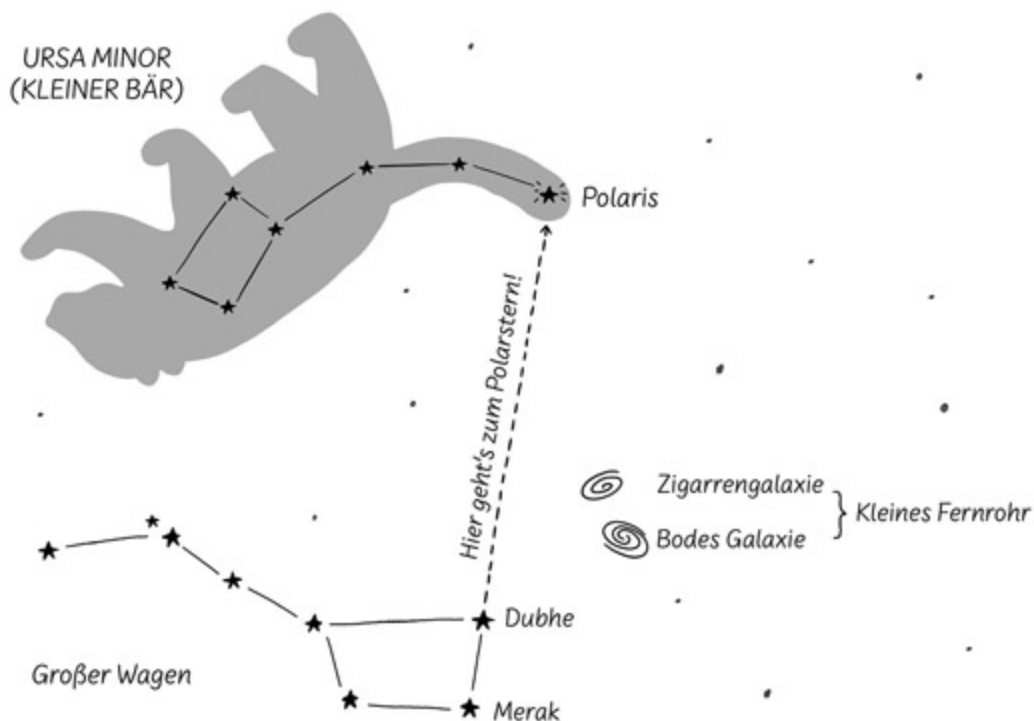
Mit dem faulsten Stern des Himmels die Grundlagen verstehen



Beginnen wir mit einem einfachen Stern: Polaris, der Polarstern, ist wohl der berühmteste Stern des Himmels, obwohl er nicht der hellste ist. Wenn Sie sich auf der Nordhalbkugel der Erde befinden, können Sie ihn in jeder Nacht des Jahres sehen. Stehen Sie dagegen südlich des Äquators, ist Polaris der Stern in diesem Buch, bei dessen Suche Sie mit Sicherheit kein Glück haben. Halten Sie trotzdem durch, wir kommen gleich auf Ihre Situation zurück ...

Den Polarstern kann man auf verschiedene Arten finden. Ganz bequem geht es mit einer Kompass-App auf Ihrem Smartphone: Suchen Sie einen durchschnittlich hellen Stern auf der Linie zwischen der Nordrichtung am Horizont und dem Zenit (dem Punkt am Himmel genau über Ihrem Kopf). Sollte Ihr Smartphone-Akku leer sein oder Sie es einfach gern auf die herkömmliche Art versuchen, ist der traditionelle Weg, sich hellerer, bekannter Sterngruppen zu bedienen, die bei der Orientierung helfen. Der Große Wagen, eine Figur aus sieben Sternen, steht für weite Teile der Nordhalbkugel ständig am Himmel. An Herbst- und Winterabenden ist er tief am Nordhorizont zu finden, im Sommer hoch über unseren Köpfen. Der Große Wagen ist kein offizielles Sternbild, sondern nur der hellste Teil des ausgedehnten Sternbilds Ursa Major (Großer Bär). Drei der sieben

Sterne bilden die Deichsel, die anderen vier ein schiefes Rechteck (den Wagenkasten). Die beiden Kastensterne, die am weitesten von der Deichsel entfernt liegen, werden als „Polweiser“ bezeichnet. Wenn Sie auf die „aufrechtstehende“ Wagenfigur schauen, liegt Merak unten und Dubhe oben. Verlängern Sie die Verbindungslinie zwischen den beiden etwa fünfmal über Dubhe hinaus, dann gelangen Sie zu einem etwas schwächeren Stern – das ist der Polarstern (Abbildung unten).



Alle Abbildungen von folgender Quelle, sofern nicht anders angegeben: Laura Barnes (L.B. Illustration, www.lbillustration.co.uk)

Wenn Sie das ein paar Mal gemacht haben, geht es Ihnen in Fleisch und Blut über. Sie werden den Polweiser bald nicht mehr benötigen, um das Sternbild Ursa Minor (Kleiner Bär) zu erkennen, zu dem der Polarstern gehört. Wie der Name schon vermuten lässt, sieht dieses Sternbild wie eine kleinere und schwächere Ausgabe des Großen Wagens aus: eine Deichsel aus drei Sternen

an einem Rechteck aus vier Sternen. Günstigerweise steht Polaris am Ende der Deichsel und ist auch der hellste Stern im Kleinen Bären. Offiziell wird er als Alpha Ursae Minoris bezeichnet, gemäß einem Schema, das die hellsten Sterne eines Sternbilds mit Buchstaben in der Reihenfolge des griechischen Alphabets benennt. Erfunden hat es der deutsche Astronom Johann Bayer für seinen Sternatlas *Uranometria* aus dem Jahr 1603.

Die Sonderstellung von Polaris unter den Sternen ergibt sich daraus, dass er ein Fixpunkt am Himmel ist. Er verändert seine Position kaum, denn er liegt praktisch direkt über dem Nordpol der Erde. Wenn Sie die Erde von außen betrachten könnten und eine Linie durch beide Pole zeichnen, würde diese auf einen Punkt am Himmel zeigen, der nahe bei Polaris liegt: den nördlichen Himmelspol. Der Himmelspol steht still, denn die auffälligsten Bewegungen der Sterne und anderer Objekte sowie auch der Sonne und der Planeten haben nichts mit diesen Objekten an sich zu tun. Vielmehr rotiert die Erde und bewegt sich durchs All. Sie dreht sich um ihre Achse (was 23 Stunden und 56 Minuten bei einer vollen Umdrehung dauert), aber aus unserer Perspektive sieht es so aus, als ob sich der Himmel in die entgegengesetzte Richtung dreht. (Derweil wandert die Sonne um etwa vier Minuten weiter, woraus der 24-Stunden-Tag resultiert.) Wenn Sie einige Minuten nach oben schauen, werden Sie bemerken, dass sich die Sterne langsam von Ost nach West bewegen – weil Ihr eigener Aufenthaltsort auf der Erde sich unaufhaltsam nach Osten dreht. Langbelichtete Bilder des Nachthimmels zeigen dies schön. Die Spuren der Sterne sind darauf als helle Kreisbögen zu sehen. Die meisten Sterne tauchen am Osthorizont auf, erreichen ihren höchsten Punkt am Himmel, wenn sie die Nord-Süd-Linie (den Meridian) überqueren, und gehen im Westen unter. Sterne jedoch, die nahe am Himmelspol liegen, sind „zirkumpolar“: Sie gehen weder auf noch unter, sondern beschreiben einen vollen Kreis über dem Horizont. Für Beobachter auf der Nordhalbkugel markiert der Polarstern das Zentrum dieser Kreise. Der gleiche Effekt ist aber auch auf der Südhalbkugel zu sehen.



© Shutterstock.com

Wie hoch Polaris am Himmel steht und welche Sterne und Sternbilder zirkumpolar sind, hängt von Ihrer geografischen Breite ab, das heißt, von Ihrer Position auf der Erdoberfläche, gemessen in Grad nördlich oder südlich des Äquators. Stehen Sie unmittelbar am Nordpol (geografische Breite 90 Grad Nord), dann befindet sich der nördliche Himmelspol direkt über Ihnen und alle Sterne am Himmel sind zirkumpolar; sie beschreiben also Kreise parallel zum Horizont, ohne auf- oder unterzugehen. Bewegen Sie sich jedoch nach Süden, sinken Polaris und der nördliche Himmelspol allmählich Richtung Nordhorizont und der Bereich der Zirkumpolarsterne wird kleiner. (Hilfreicher Hinweis: Unabhängig von der jeweiligen Halbkugel gilt, dass Ihr Himmelspol in einem Winkel über dem Horizont steht, der Ihrer geografischen Breite entspricht.)

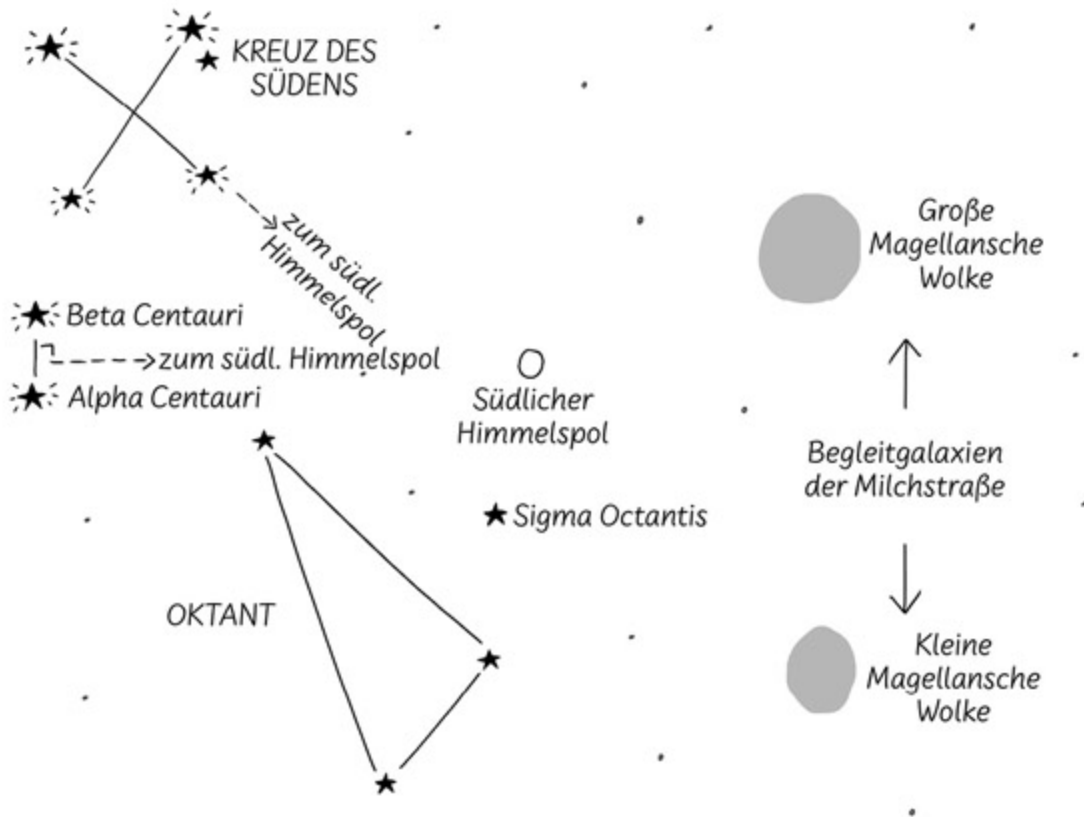
An dieser Stelle müssen wir kurz über Winkel am Himmel sprechen. Sie werden genauso gemessen wie Winkel auf der Erde. Wie Sie vielleicht noch aus dem Geometrieunterricht wissen, entsprechen einer vollständigen Umrundung des Himmels 360 Grad, einem rechten Winkel 90 Grad (zum

Beispiel zwischen Horizont und dem Zenit genau über Ihnen). Jedes Grad wird wiederum in 60 Bogenminuten unterteilt und jede Bogenminute in 60 Bogensekunden, eine Bogensekunde entspricht damit $1/3600$ Grad. Wenn Sie eine Winkelangabe wie zum Beispiel $5^{\circ}32'15''$ sehen, bedeutet das fünf Grad, 32 Minuten und 15 Sekunden. Dieses System hatte seinen Ursprung vor etwa 4000 Jahren in Mesopotamien, wo Vielfache von 60 sehr beliebt waren, weil 60 mathematisch formuliert „multifaktoriell“ ist, das heißt, man kann es auf viele verschiedene Arten teilen und erhält trotzdem eine ganze Zahl. Bevor es Taschenrechner gab, war das wichtig, um viele Rechnungen im Kopf ausführen zu können (oder auf einer Tontafel).

Strecken Sie Ihren Arm nun Richtung Himmel aus und spreizen Sie Ihre Finger: So überdecken Sie etwa zehn Grad (ungefähr die Spanne des Wagenkastens). Machen Sie eine Faust, dann haben Sie etwa fünf Grad (ungefähr den Abstand zwischen Dubhe und Merak). Ihr ausgestreckter Daumen ist rund ein Grad breit. Die Sonne und der Vollmond haben beide einen mittleren Durchmesser von einem halben Grad. Die Auflösung (die Fähigkeit, feine Details zu trennen) eines guten menschlichen Auges erreicht etwa eine Bogenminute. Polaris steht rund ein halbes Grad vom nördlichen Himmelspol entfernt, er beschreibt also einen sehr kleinen Kreis um ihn. Angesichts seiner Entfernung von Milliarden Kilometern können wir uns glücklich schätzen, eine so helle Markierung für die Drehachse des Himmels zu haben.

Auf der Suche nach dem südlichen Himmelspol

Der Bereich um den südlichen Himmelspol unterscheidet sich deutlich von seinem nördlichen Pendant, denn dort gibt es nur schwache Sterne und ziemlich unscheinbare Sternbilder. Diese Bilder hat der französische Astronom Nicolas-Louis de Lacaille Mitte des 18. Jahrhunderts während eines Aufenthalts am Kap der guten Hoffnung erfunden. Der südliche Himmelspol liegt im Sternbild Octans, dem Oktanten (einem Navigationsinstrument, das nicht mehr in Gebrauch ist). Ein schwacher Stern namens Sigma Octantis steht dem Pol am nächsten, jedoch in mehr als einem Grad Abstand. Zum Glück gibt es einige andere Wege, um den südlichen Himmelspol zu finden.



1. Folgen Sie dem Kreuz des Südens (vgl. Abb.): Die klassische Methode, um den südlichen Polarstern zu finden, nutzt die berühmte kleine Figur Crux, das Kreuz des Südens (Achtung, es gibt ein paar kreuzähnliche Figuren, die Unachtsame in die Irre führen können). Ziehen Sie eine Linie entlang der Achse des Kreuzes, von Gacrux oben bis zum hellsten Stern Acrux unten. Dann verlängern Sie diese Linie etwa viereinhalbmal (Sie werden den Pol zwar um ein paar Grad verfehlen, aber in der richtigen Gegend sein).
2. Denken Sie sich ein Dreieck aus hellen Sternen: Identifizieren Sie dazu die beiden Sterne Canopus (den zweithellsten Stern des gesamten Himmels im Sternbild Carina oder Schiffskiel) und Achernar (den hellen Stern am Ende der Figur des Sternbilds Eridanus). Stellen Sie sich nun ein gleichseitiges Dreieck mit diesen beiden Sternen Richtung Süden vor: Der südliche Himmelspol bildet dann die „fehlende“ Ecke.

In den letzten Jahrhunderten vor Christus haben griechische Gelehrte die Methode der Winkelmessungen am Himmel in ein theoretisches Modell des

Universums überführt. Darin war die Erde von einer Reihe konzentrischer, ineinander verschachtelter Kugeln umgeben, auf denen Sonne, Mond, Planeten und Sterne lagen. Dieses Sphärenmodell hatte seinen Ursprung im vierten Jahrhundert vor Christus beim großen griechischen Denker Platon. Er liebte schwierige Probleme und überlegte, dass sich die scheinbar nicht vorhersagbaren Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten durch eine Reihe von Kreisen erklären ließen, die zueinander in Beziehung standen. Auf diesen Kreisen wanderten die Gestirne gleichförmig (für die Griechen erleichterten Annahmen wie Kreise und Gleichförmigkeit nicht nur die Berechnungen, sie passten auch in ihre Vorstellung von der Perfektion der Natur). Platons Idee wirkte so verlockend, dass seine Anhänger in den folgenden Jahrhunderten versuchten, das Modell zu perfektionieren. Sie dachten sich ein System ineinander geschachtelter Kristallsphären aus und verfeinerten es immer weiter. Damit verbanden sie die Hoffnung, irgendwann ein Modell zu haben, das die Planetenbewegungen korrekt vorhersagt. Zumindest bei den Sternen war das einfach – es genügte eine einzige Sphäre, die sich einmal am Tag um den Himmelspol drehte.

Im zweiten Jahrhundert nach Christus verewigte der griechisch-ägyptische Universalgelehrte Ptolemäus aus Alexandria, dem wir im Lauf unserer Geschichte noch mehrfach begegnen werden, seine Interpretation dieses Universums in dem wichtigen astronomischen Lehrbuch, das als *Almagest* bekannt wurde. (Diesen Titel dachten sich später arabische Astronomen aus. Er bedeutet *Größte Zusammenstellung* – nicht schlecht in der Rückschau und sicher besser als der ursprüngliche Titel *Mathematische Zusammenstellung*.) Der *Almagest* war ein klassischer Bestseller und blieb fast 1500 Jahre lang das letzte Wort zur Astronomie. Erst aufmüpfige Renaissance-Gelehrte wagten es, die Position der Erde im Mittelpunkt des Universums und anschließend das hochheilige Prinzip der gleichförmigen Kreisbewegung in Frage zu stellen. Anfang des 17. Jahrhunderts waren elliptische Umlaufbahnen um die Sonne en vogue, vor allem Dank der Arbeiten des deutschen Astronomen Johannes Kepler. Da jedes Objekt durch eine elliptische Bahn seinen Abstand zur Sonne ändern kann, gab es keinen Grund mehr für die planetaren Sphären. Dennoch war das Konzept so praktisch, dass die Astronomen an der Vorstellung einer Sphäre aus „Fixsternen“ um die Erde festhielten. Bis heute dient diese Himmelskugel als Grundlage eines Koordinatensystems, in dem sich alles erfassen lässt.

Die einfachste Vorstellung von diesem Koordinatensystem an der Himmelssphäre ist eine Ausdehnung des vertrauten geografischen Koordinatensystems auf die Innenseite einer fiktiven Kugel, die den gesamten Himmel umspannt. In Wahrheit unterscheiden sich die Entfernungen von Sternen, Planeten und anderen Objekten natürlich stark. Aus unserer irdischen Perspektive geht es aber nur um die Richtung der Gestirne, so dass wir uns vereinfacht vorstellen können, dass sie sich auf der Innenseite dieser Kugel bewegen. Himmelspole (über dem geografischen Nord- und Südpol) markieren die Drehpunkte und ein Himmelsäquator verläuft in der Mitte dazwischen. Er teilt den Himmel – wie bei der Erde – in eine Nord- und eine Südhalbkugel. Beobachter sehen abhängig von der Uhrzeit und dem Aufenthaltsort verschiedene Bereiche dieser Himmelskugel. Selbstverständlich ist eine Hälfte der Kugel ständig durch das verdeckt, worauf Sie stehen. Aber beim Blick zu Ihrem Himmelspol sehen Sie, wie sich zirkumpolare Sterne um einen festen Punkt am Himmel drehen, während Sie beim Blick in andere Richtungen Sterne am Osthorizont aufgehen, den Meridian überqueren und im Westen wieder untergehen sehen. Der Himmelsäquator verläuft exakt von Ost nach West und kreuzt dabei den Meridian unter einem Winkel, der mit der geografischen Breite zusammenhängt. (Die maximale Höhe des Äquators für Ihren Himmelsanblick beträgt 90 Grad minus Ihre geografische Breite.) Unterhalb davon sehen Sie Sterne der anderen Himmelshalbkugel.

Der Anblick des Nachthimmels zu einer bestimmten Uhrzeit verändert sich im Lauf des Jahres, weil die Grundlage unserer Zeitrechnung die Sonne ist und nicht die Sterne. Da die Erde einmal im Jahr um die Sonne wandert, verändert die Sonne langsam ihre Position vor dem Hintergrund der Sterne. Sie wandert ostwärts durch den sogenannten Tierkreis und überstrahlt dabei alles, was in ihrer Nähe steht. Sterne und Planeten tauchen anschließend wieder morgens am Osthimmel auf und wandern dann im Lauf der Monate langsam westwärts, so dass sich ihr Winkelabstand von der Sonne einige Zeit immer weiter vergrößert. Schließlich verschwinden sie beim abendlichen Sonnenuntergang, weil die Sonne sie erneut am Himmel eingeholt hat. Die Bahn der Sonne am Himmel wird als Ekliptik bezeichnet – allgemeiner meint man damit allerdings die Ebene der Erdumlaufbahn um die Sonne. Da die Erdachse nicht senkrecht auf dieser Ebene steht, ist die Ekliptik am Himmel um 23,5 Grad zum Himmelsäquator geneigt.

Deshalb verbringt die Sonne eine Hälfte des Jahres auf der nördlichen Himmelshalbkugel, die andere auf der südlichen, was jeweils auf der irdischen Nord- oder Südhalbkugel zu längeren Tagen führt. Wechselt die Sonne die Himmelshälfte an den Schnittpunkten zwischen Ekliptik und Himmelsäquator, herrscht Tagundnachtgleiche.

Durch die Launen der Erdbewegung war Polaris jedoch nicht immer Polarstern und wird es auch nicht immer bleiben. Denn die besagte Schiefe der Erdachse verändert langsam ihre Orientierung. Schuld sind die Schwerkkräfte von Sonne und Mond, die am 20-Kilometer-Bauch des Erdäquators ziehen. (Wegen der raschen Rotation unseres Planeten ist sein Äquatordurchmesser größer als sein Durchmesser an den Polen.) In der Folge beschreiben die irdischen Pole gemächliche Kreise, die sie in rund 26.000 Jahren vollenden. Und die beiden Himmelspole machen es genauso am Himmel. Man bezeichnet dies als Präzession. Zurzeit steht Polaris zufällig am Himmelsnordpol, vor 4000 Jahren war ihm aber Kochab, der zweithellste Stern im Kleinen Bären, viel näher. In etwa 12.000 Jahren wird sich ein wirklich heller Stern, Wega im Sternbild Lyra (Leier), dem Pol bis auf weniger als vier Grad angenähert haben. Beobachter auf der Südhalbkugel müssen derweil weitere 5000 Jahre warten, bevor ihr Himmelspol in ziemlich rascher Folge nahe an drei hellen Sternen vorbeiwandert.

Was hat es nun mit Polaris auf sich? Ist er einfach ein langweiliger Stern, der zufällig zur rechten Zeit am rechten Ort steht? Erfreulicherweise ist dem nicht so. Vielmehr ist der Polarstern ein tolles Beispiel für einige Objektklassen, denen wir in weiteren Kapiteln ausführlicher begegnen werden. Um nur einen Aspekt zu nennen: Polaris ist ein veränderlicher Stern. Er leuchtet nicht mit konstanter Helligkeit, sondern pulsiert leicht innerhalb von etwa vier Tagen. Sternhelligkeiten werden in Größenklassen gemessen – einer Einheit, bei der kleinere Zahlen für größere Helligkeiten stehen als höhere Zahlen. Im Altertum wurde den hellsten Sternen die erste Größenklasse zugeordnet, den gerade noch mit bloßen Augen sichtbaren die sechste Größenklasse. Wir haben diese Einteilung von Ptolemäus geerbt oder womöglich von dem zuvor lebenden Griechen Hipparch (2. Jahrhundert v. Chr.), dem diese Erfindung oft zugeschrieben wird (obwohl eigentlich nichts der Nachwelt überliefert ist, was er zu diesem Thema gesagt hätte). Polaris ist ein Stern von ungefähr zweiter Größenklasse, was wir

heute glücklicherweise noch genauer angeben können. 1856 fand nämlich der junge englische Astronom Norman Pogson heraus, dass es einen hundertfachen Helligkeitsunterschied zwischen einem Stern erster Größe und einem Stern sechster Größenklasse gibt. So formalisierte er die Einteilung durch einen präzisen Umrechnungsfaktor – 2,512 – zwischen den Größenklassen (weil $2,512^5 = 100$) und kalibrierte sie, indem er Polaris exakt die Größenklasse 2,0 zuwies.¹ (Pogson hatte sich gegen einen Handwerksberuf entschieden, weil er Wissenschaftler werden wollte.) Als sich die Helligkeit des Polarsterns später als leicht veränderlich herausstellte, wechselten die Astronomen zum verlässlicheren Stern Wega als Kalibrationspunkt. Er hat die Größenklasse 0,0. Durch Pogsons Festlegung allerdings bekamen die hellsten Sterne am Himmel – wie zum Beispiel Sirius oder Canopus – negative Größenklassen, weil sie so viel heller als Polaris sind. In dieser modernen Größenklasseneinteilung (als *scheinbare* Helligkeit bezeichnet, weil sie die Erscheinung der Sterne aus irdischer Perspektive misst) schwankt Polaris zwischen 1,86 und 2,13, was im Durchschnitt 1,98 Größenklassen ergibt. Wie bei vielen Sternen ändert sich seine Helligkeit, weil er pulsiert. Doch während die meisten pulsierenden Sterne rot leuchten, strahlt Polaris gelb. Er ist ein Beispiel für die Objektklasse der Cepheiden-Veränderlichen, über die wir mehr bei unserem Besuch von Eta Aquilae erfahren werden.

Ebenfalls erwähnenswert ist, dass Polaris – wie viele andere helle Sterne – nicht allein ist. Zwar stammt nahezu das gesamte Licht, das wir sehen, vom Hauptstern (offiziell Polaris Aa), er hat aber noch zwei viel kleinere Begleiter, die beide etwas heißer als die Sonne sind. Einer dieser Begleiter (Polaris B) wurde 1779 entdeckt und ist mit einem geeigneten Fernrohr zu sehen, während der andere (Polaris Ab) so nah bei Polaris Aa steht, dass er nur mit einem Instrument wie dem Hubble-Weltraumteleskop zu erkennen ist.² Für uns auf der Erde leuchten Polaris B und Polaris Ab mit den Größenklassen 8,7 beziehungsweise 9,2, sie sind also nicht mit bloßen Augen zu sehen. Laut den aktuellsten Messungen (anhand der sogenannten Parallaxe, die im Mittelpunkt des nächsten Kapitels steht) ist der Polarstern 477 Lichtjahre von uns entfernt – so weit, dass die Lichtteilchen, die auf Ihren Sehnerv treffen, die Reise bereits angetreten hatten, als Elisabeth I. den englischen Thron bestieg.³ Auch wenn Berufsastronomen über das Lichtjahr etwas die Nase rümpfen, ist es eine praktische Einheit, um die

gewaltigen Entfernungen in der Astronomie anzugeben. Wir werden es im gesamten Buch benutzen. In etwas alltäglicheren Einheiten entspricht ein Lichtjahr etwa 9,5 Billionen Kilometer. Es ist die Strecke, die das Licht – das Schnellste, was es im Universum gibt – in einem Jahr zurücklegt. Da wir wissen, wie hell Polaris von der Erde aus wirkt, können wir nun auch herausfinden, wie hell er *wirklich* ist. Polaris Aa erweist sich als etwa 2500-mal heller als die Sonne (Beeindruckend? Warten Sie, bis wir zu Eta Carinae kommen ...), damit gehört er zur Klasse der sogenannten Überriesen.

Aber den Polarstern umgibt noch ein weiteres Rätsel. Weil er so lange und so sorgfältig beobachtet worden ist, liegen den Astronomen Aufzeichnungen bis zur Zeit von Ptolemäus vor. Daraus folgt, dass die durchschnittliche Helligkeit von Polaris beträchtlich gestiegen ist, womöglich um das Zweieinhalbfache (eine ganze Größenklasse) innerhalb weniger Jahrtausende. Genauere Messungen in der jüngeren Vergangenheit deuten darauf hin, dass Polaris weniger stark pulsierte, während er heller wurde (in den 1990ern kamen die Pulsationen fast ganz zum Erliegen, nahmen seitdem aber wieder zu).⁴ Solche Änderungen sind sehr ungewöhnlich. Abgesehen von regelmäßigen Pulsationen erwartet man bei Sternen keine so starken Helligkeitsveränderungen in – aus astronomischer Sicht – relativ kurzen Zeiträumen. Angenommen die Veränderungen sind real, dann haben wir Polaris womöglich zufällig an einem Wendepunkt seiner Entwicklung erwischt: In seinem Inneren verändern sich die Prozesse der Energieerzeugung grundlegend, was sich in der Energieabgabe des Sterns bemerkbar macht. Diese Wendepunkte im Leben eines Sterns schauen wir uns noch genauer an, wenn wir in einem späteren Kapitel zu dem pulsierenden Stern Mira kommen. Julius Caesar sagt in Shakespeares gleichnamiger Tragödie: „Doch ich bin standhaft wie des Nordens Stern, des unverrückte, ewig stete Art nicht ihresgleichen hat am Firmament.“ Doch dies scheint in beiderlei Hinsicht nicht zu stimmen.

2 – 61 Cygni

Die Entfernungsbestimmung eines fliegenden Sterns



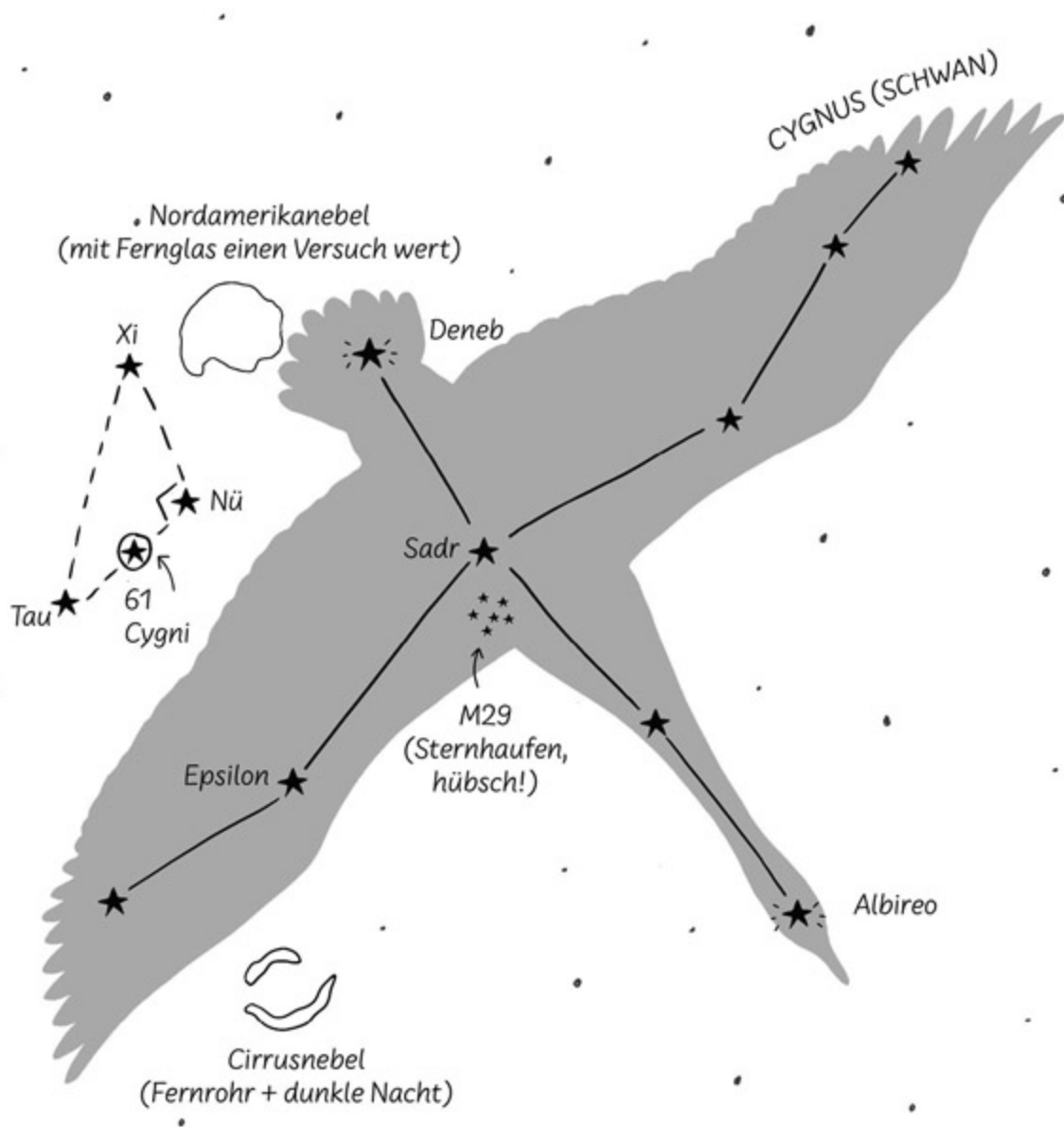
Warum bemerken wir eigentlich nicht, dass sich die Erde um die Sonne dreht? Diese Frage beschäftigte Gelehrte und Philosophen bereits in der griechischen Antike. Zunehmend drängender wurde sie, nachdem ein im Sterben liegender Domherr namens Nikolaus Kopernikus 1543 seine neue Theorie über das Universum veröffentlicht hatte. Ich beschreibe die kopernikanische Wende hier nicht detailliert, aber einer der plausibelsten Einwände in der Renaissance gegen ein Universum mit der Sonne (statt der Erde) im Mittelpunkt war eine völlig vernünftige Frage: Warum wirkt sich unsere wechselnde Perspektive im Lauf des Jahres dann nicht auf die sichtbare Position der Sterne am Firmament aus? Die Antwort lautet, dies geschieht durchaus, aber nur äußerst minimal. Schlüssige Belege gab es erst sehr spät, lange nachdem Galileo Galilei und Johannes Kepler die Debatte über die kopernikanische Wende zu einem Ende geführt hatten. (Galilei entdeckte die Jupitermonde und die Phasengestalt der Venus und widerlegte so die geozentrischen Vorstellungen von Ptolemäus. Kepler erkannte, dass sich ein Modell des Universums mit der Sonne im Mittelpunkt für praktische Vorhersagen nutzen ließ, wenn die Planetenbahnen Ellipsen wären – keine perfekten Kreise, wie von Kopernikus vorgeschlagen.) Fast zwei Jahrhunderte lang versuchten Astronomen vergeblich, die periodische Verschiebung der Sterne am Himmel nachzuweisen, die durch den Umlauf der Erde um die Sonne

entsteht. Der Nachweis galt als Ausgangspunkt, um die Größe des Universums zu ermitteln. Der unscheinbare Stern 61 Cygni erwies sich hierbei als Schlüssel.

Verglichen mit romantischen Namen wie Polaris, Rigel oder Aldebaran klingt 61 Cygni langweilig. Das liegt daran, dass der Stern leicht übersehen werden kann, obwohl er mit einer Größenklasse von 4,8 mit bloßen Augen zu erkennen ist. Aus diesem Grund wurde er auch erst vom englischen Hofastronomen John Flamsteed bei einer methodischen Suche Ende des 17. Jahrhunderts am neuen Royal Observatory in Greenwich erfasst. Flamsteed war sich darüber im Klaren, dass kein Mensch einen Riesenhaufen neuer Sternnamen und Bezeichnungen lernen würde. Deshalb entschied er sich, dort anzuknüpfen, wo dem bedeutenden Kartografen Johann Bayer die griechischen Buchstaben ausgegangen waren oder dieser sich einfach nicht mehr um die letzten schwachen Sterne gekümmert hatte. Flamsteed katalogisierte nun systematisch die „verbliebenen“ Sterne in der Reihenfolge ihrer Rektaszension (einer Koordinate, mit der die Position eines Sterns gemessen wird), jeweils in jedem Sternbild von West nach Ost voranschreitend. Dazu musste er Trennlinien zwischen den Sternbildern ziehen, durch die sie zu Bereichen am Himmel statt subjektiven Figuren wurden. Die so entstandene Aufteilung ist stimmig und besteht im Prinzip bis heute.

Wie Sie vielleicht schon angesichts der relativ hohen Zahl erahnt haben, liegt 61 Cygni in einem Sternbild – im Cygnus, dem Schwan –, das viele Sterne enthält, die mit bloßen Augen zu sehen sind. Die große und auffällige Figur ähnelt einem Vogel mit langem Hals, der entlang des Milchstraßenbands südwärts fliegt. Der helle Stern Deneb markiert die Schwanzfedern im Norden, Albireo (ein schöner orangeblauer Doppelstern) den Schnabel im Süden. Der Schwan zieht im Nordsommer und -herbst als auffälliges Sternbild fast senkrecht über den Beobachter hinweg. Auf der Südhalbkugel dagegen sieht man ihn zwischen August und Oktober über dem abendlichen Nordhorizont. 61 Cygni liegt unmittelbar hinter dem östlichen ausgebreiteten Flügel des Schwans. Am besten findet man den Stern ausgehend von Sadr, dem Stern in der Mitte der kreuzförmigen Schwanenfigur. Von dort geht es etwas weiter südöstlich zu Epsilon. Oberhalb dieser Linie liegt ein kleines rechtwinkliges Dreieck, das aus Xi, Nü und Tau Cygni besteht. 61 Cygni steht grob auf der Hälfte der Linie

zwischen Nü und Tau. Mit einer Größenklasse von 4,8 sollten Sie unseren Stern an einem dunklen Nachthimmel sehen können, nachdem sich Ihre Augen an die Dunkelheit angepasst haben. Bei störenden Straßenlampen ist es mit einem Fernglas einfacher. Hat das Fernglas mindestens zehnfache Vergrößerung und Sie wackeln nicht beim Halten, sollte der Stern sein erstes Geheimnis preisgeben: Er ist doppelt und besteht aus zwei orangefarbenen Sternen, davon einer mit 5,2 Größenklassen etwas heller als der andere mit 6,1.



Dass 61 Cygni ein Doppelstern ist, wurde erstmals von dem englischen

Astronomen James Bradley im September 1753 festgestellt. Im Lauf der folgenden Jahrzehnte wurde der Stern gelegentlich von Astronomen aufgesucht, die die Beschaffenheit solcher Sternpaare analysierten. Aber erst 1792 fiel dem Italiener Giuseppe Piazzi, einem katholischen Priester und Astronomen, der kurz zuvor die bestens ausgerüstete Sternwarte Palermo gegründet hatte, etwas Sonderbares auf: Seine Vermessungen der beiden Komponenten zeigten, dass sie ihre Positionen verändert hatten und nun leicht, aber zweifelsfrei nordöstlich der Stelle lagen, die Bradley angegeben hatte.¹ (Der Grund dafür war die sogenannte Eigenbewegung des Sterns; sie ist zu unterscheiden von den nur scheinbaren Bewegungen, die durch Erdrotation und -umlauf um die Sonne hervorgerufen werden.) Piazzi notierte die ungewöhnliche Verschiebung am Himmel, bestätigen konnte er sie aber erst 1804. In der Zwischenzeit hatte er einen detaillierten Sternkatalog vorbereitet und war durch die Entdeckung von Ceres berühmt geworden, dem größten Asteroiden und ersten bekannten Körper auf einer Umlaufbahn zwischen Mars und Jupiter. Eine sorgfältige Überprüfung seiner Vermutung bestätigte dann, dass sich die Position von 61 Cygni am Himmel erstaunlich schnell um 4,1 Bogensekunden pro Jahr veränderte (was nach 440 Jahren einem Vollmonddurchmesser entspräche). Nachdem der Katalog 1803 erschienen war, bekam 61 Cygni bald den Spitznamen „Piazzis fliegender Stern“.

Ausgehend von der vernünftigen Annahme, dass sich Sterne mit ähnlichen Geschwindigkeiten durchs All bewegen, kann man über die Eigenbewegung am Himmel die wahrscheinliche Entfernung eines Sterns annähernd abschätzen. Je näher der Stern ist, desto größer ist vermutlich der Winkel, den er am Himmel im Lauf eines Jahres zurücklegt. Es zeigte sich, dass 61 Cygni die größte bis dahin bekannte Eigenbewegung aufwies, er musste also einer der Sterne sein, die der Erde am nächsten stehen. So wurde er zum idealen Ziel für die wiederholten Versuche, die durch unsere irdische Perspektive entstehende scheinbare Verschiebung zu messen. Der Fachbegriff für diese jährliche Verschiebung lautet Parallaxe. Zur raschen Verdeutlichung halten Sie einen Finger am ausgestreckten Arm vor Ihr Gesicht und schauen ihn abwechselnd mit dem linken und rechten Auge an. Sie sehen dann, dass sich die Richtung zu Gegenständen verschiebt, die weiter weg sind. Nun stellen Sie sich vor, dass Ihr Finger Richtung Alpha Centauri (unserem nächsten Nachbarsternsystem) zeigt, während Ihre

Augen die Erdumlaufbahn überspannen, also 300 Millionen Kilometer voneinander getrennt sind. Selbst die Entfernung zu den nächsten Sternen ist etwa 135.000-mal größer als diese „Basislinie“ der Erdumlaufbahn. Nun können Sie sich vielleicht vorstellen, wie klein die Winkeländerung in so einer Situation ist: weniger als eine Bogensekunde beziehungsweise weniger als $1/3600$ Grad.

Berufsastronomen nutzen die Parallaxe als Basis ihrer bevorzugten Entfernungseinheit: Ein Parsec (entsprechend 3,26 Lichtjahren) ist die Entfernung, in der ein Objekt eine Parallaxe von genau einer Bogensekunde zeigt. Parsec-Angaben sind praktisch für die Profis, weil der Kehrwert der Parallaxe in Bogensekunden (eins geteilt durch die Parallaxe) direkt die Entfernung in Parsec liefert, ohne weiteres lästiges Rechnen: $\frac{1}{2}$ Bogensekunde Parallaxe = 2 Parsec Entfernung. Aber Lichtjahre sind bei vielen von uns so tief in der Vorstellung vom Universum verankert, dass wir in diesem Buch an ihnen festhalten. Die winzigen Winkel sind übrigens die Erklärung dafür, warum Astronomen sich so lange schwertaten, sie zu entdecken. Dass sie nicht nachgewiesen werden konnten, diente regelmäßig als Argument gegen das kopernikanische Modell des Universums, selbst als die meisten vernünftigen Leute bereits davon überzeugt waren. Offensichtlich war es wohl so, dass die Sterne viel weiter weg waren, als irgendjemand gedacht hatte – unglaublich viel weiter als die fernsten Planeten. Doch der Nachweis der Parallaxe blieb ein wunder Punkt und Versuchsobjekt vieler fähiger Astronomen. Ausgebremst wurden die Jäger der Parallaxe durch die ziemlich primitiven, gering auflösenden Fernrohre sowie durch atmosphärische Effekte, die die Sterne unscharf machen, und sogar durch das Problem, dass unklar war, wo das Fernrohr genau hinzeigte. (Es gab nämlich noch keine präzisen Mechaniken, um ein Teleskop mit der Erdrotation zu synchronisieren.) Frühe Versuche, diese Aufgabe zu lösen, erforderten daher unorthodoxe Herangehensweisen.

Lange bevor er auf 61 Cygni stieß, entwickelte James Bradley eine Methode, um sich an der Parallaxe des durchschnittlich hellen Eltanin, Gamma Draconis im Sternbild Drache, zu versuchen.² Er vermaß den Winkel zwischen Eltanin und dem Zenit (dem Punkt genau über uns) mit höchster Genauigkeit zu dem Zeitpunkt, zu dem der Stern die Nord-Süd-Linie am Himmel überquerte. Dadurch kannte er Eltanins Position sehr präzise. Da Eltanin in London fast senkrecht über den Beobachter

hinwegzieht, ist ein weiterer, noch nicht erwähnter, aber störender Effekt minimal: die atmosphärische Refraktion. Als ob die Parallaxe nämlich noch nicht genügend Probleme bereiten würde, müssen Astronomen damit leben, dass die Erdatmosphäre die Sterne nicht nur flackern lässt, sondern die Lichtstrahlen auch noch auf neue Wege lenkt. Wir alle haben die Refraktion an der Grenze zwischen Luft und Wasser schon gesehen, zum Beispiel, wenn wir nach dem letzten Teelöffel im Abwasch tasten. Aber die Refraktion beeinflusst eben auch das Sternlicht, das aus dem All in die Erdatmosphäre eindringt: Sie verändert die Höhe eines Sterns am Himmel. Schauen wir einen Stern in Horizontnähe an, blicken wir durch eine viel dickere Atmosphärenschicht, als wenn wir senkrecht nach oben schauen. Es gibt eine hübsche Gleichung, die das beschreibt. Die Erdatmosphäre verändert sich jedoch ständig, so dass es einfacher ist, den Effekt so weit wie möglich zu vermeiden, indem man sich zenitnahe Objekte anschaut.

Als Bradley und sein Mitarbeiter Samuel Molyneux im Dezember 1725 anfangen, Eltanins Position zu messen, bemerkten sie bald, dass er sich bewegte. Anfangs waren die Ergebnisse aber verwirrend: Eltanin bewegte sich südwärts zu einem Zeitpunkt, als die Parallaxe ihn bereits an seinen südlichsten Punkt am Himmel verschoben haben sollte. Im März verlangsamte sich seine Verschiebung endlich und kehrte sich um – dann bewegte sich der Stern nordwärts, bevor er im September erneut umkehrte. Beobachtungen über zwei weitere Jahre bestätigten, dass die Umkehrpunkte durchweg drei Monate aus dem Takt waren: Eltanin kehrte seine Richtung immer im März und September um, statt wie vorhergesagt im Juni und Dezember. Bradley überlegte zunächst, ob sie vielleicht eine kleine Schwankung in der Position der irdischen Pole nachgewiesen hatten. So hätten die Sterne am Himmel kleine Kreise oder Ovale beschrieben. Doch als er sich die Resultate genauer anschaute, erkannte er: Sie hatten tatsächlich auf unabhängige Weise entdeckt, dass sich die Erde bewegt. Der Effekt wird heute als Aberration des Sternlichts bezeichnet. Durch die Aberration verändert sich der Winkel, unter dem das Sternlicht auf die Erde trifft, weil diese um die Sonne wandert (stellen Sie sich Regentropfen vor, die von oben auf Sie fallen, wenn Sie stehen, und schräg von vorne auftreffen, wenn Sie gehen). Da die Erdachse in eine feste Richtung im All zeigt, während wir im Lauf des Jahres um die Sonne wandern, unterscheidet sich im Frühling und Herbst der Winkel etwas, unter dem das Sternlicht auf

die Erde trifft.³

Die Aberration erschwerte die bereits schwierige Aufgabe der Parallaxenmessung zusätzlich. Aber Astronomen sind beharrlich. Die Suche ging weiter, bis ins 19. Jahrhundert. Immer wieder gab es triumphierende Ankündigungen, gefolgt von minutiösen Widerlegungen und peinlichen Widerrufern. Selbst Piazzis machte solch einen Fehler (ziemlich sicher wegen der Refraktion), als er 1808 meinte, die Parallaxe von Sirius zu vier Bogensekunden bestimmt zu haben (ein Wert, der den Stern in weniger als zehn Lichtmonate Abstand versetzt hätte – etwa um einen Faktor zehn zu klein).⁴ Es dauerte weitere drei Jahrzehnte, bevor dank Technologie und Beobachtungsgeschick zweifelsfrei eine Parallaxe gemessen werden konnte. Letztlich war es ein Rennen zwischen zwei der besten Beobachter des 19. Jahrhunderts: den Deutschen Friedrich von Struve und Friedrich Wilhelm Bessel. Beide profitierten von der Erfindung uhrwerksgetriebener Fernrohrmontierungen, welche die scheinbare Himmelsdrehung ausglich. Dadurch wanderten die beobachteten Sterne nicht mehr aus dem Gesichtsfeld eines hochvergrößernden Okulars hinaus. Struve und Bessel befolgten auch beide den Rat des deutsch-britischen Astronomen William Herschel aus den 1780er-Jahren (Herschel ist vor allem bekannt als der Entdecker des Uranus, aber sein Einfluss geht viel weiter, wie wir noch sehen werden). Er empfahl, Veränderungen der Sternposition am besten gegenüber benachbarten Sternen zu ermitteln, nicht anhand der genauen Position des Sterns an der Himmelskugel.

Struve konzentrierte sich auf Wega, einen der hellsten und bekanntesten Sterne, während Bessel den viel schwächeren 61 Cygni wählte. Wie sich später herausstellte, ist Wega etwa doppelt so weit weg wie 61 Cygni, hat also nur eine halb so große Parallaxe, was Struves Aufgabe beträchtlich verkomplizierte. Struve setzte ein herkömmliches „Mikrometerokular“ ein, dessen Design auf die 1640er-Jahre zurückging. Dabei werden zwei dünne, parallele Drähte in das Blickfeld des Beobachters projiziert. Der Abstand der beiden Drähte lässt sich sehr feinfühlig über eine Stellschraube verändern. Man kann ihn relativ einfach in einen Winkelabstand am Himmel umrechnen. Mit diesem Gerät fing Struve Ende 1835 an, Wegas Position zu verfolgen. Bis 1837 hatte er 17 Messungen, aus denen er einen vorläufigen Wert von einer achteil Bogensekunde für Wegas Parallaxe ableitete – was nahe am heutigen Wert liegt. Hätte er an diesem Punkt aufgehört, wäre er

wohl der Sieger gewesen. Stattdessen setzte Struve seine Beobachtungen fort und veröffentlichte erst 1840 sein Endergebnis: Der Wert hatte sich nun verdoppelt und lag damit weit weg von heutigen Resultaten.

Bessel nutzte dagegen eine Anordnung, die als Heliometer bezeichnet wird. Es handelte sich um ein Linsenfernrohr, dessen Objektiv (Hauptlinse) aus zwei Hälften bestand. Dadurch entstand ein Doppelbild im Okular. Eine der Linsenhälften ließ sich feinfühlig verschieben, um die Bilder zweier Sterne zur Deckung zu bringen – so lieferte das Heliometer den Winkelabstand zwischen ihnen. Von August 1837 an gelangen Bessel im Verlauf von nur 13 Monaten 98 Parallaxenmessungen an 61 Cygni. Ohne Zeit zu verlieren, bereitete er seine Daten auf und veröffentlichte die Ergebnisse am 23. Oktober 1838 in einem Brief an Sir John Herschel, den Präsidenten der Royal Astronomical Society in London.⁵ Kurioserweise jagte 1838 noch ein dritter Astronom die Parallaxe. Der Schotte Thomas Henderson hatte Anfang der 1830er-Jahre während seiner Arbeit am Kap der guten Hoffnung die erforderlichen Messungen am hellen Südhimmelstern Alpha Centauri durchgeführt. Er verwendete ein Zenitteleskop, das dem von Bradley ähnelte. 1833 hatte Henderson erfolgreich die jährliche Nord-Süd-Verschiebung des Sterns nachgewiesen. Doch im Bewusstsein der vielen früheren Fehlalarme veröffentlichte er seine Messungen nicht, bis sie umfassend genug waren, um die Bewegung in Rektaszension zu bestätigen. Das dauerte bis 1839.

Bessels Berechnung war ein Meisterwerk und so überzeugend, dass Struves begrenzte Daten damals nicht mithalten konnten. Bessel ermittelte nicht nur die Parallaxe des 61-Cygni-Gesamtsystems zu 0,314 Bogensekunden (was 10,3 Lichtjahren entspricht), sondern zeigte auch, dass die beiden Sterne mindestens 540 Jahre benötigen, um einander zu umrunden. Diese Werte stimmen erstaunlich gut mit den heutigen überein. Die Parallaxe des Systems wurde auf 0,286 Bogensekunden korrigiert, sein Abstand auf 11,4 Lichtjahre und seine Umlaufzeit auf 678 Jahre. John Herschel bezeichnete Bessels Messungen als den Moment, in dem „die Lotschnur im Universum der Sterne endlich den Boden berührt“. Die Messungen markieren den Beginn einer neuen Ära, in der die Sterne von Lichtpunkten am Himmel zu fernen, aber vermessbaren Objekten wurden, deren physikalische Eigenschaften sich analysieren und verstehen ließen. Zum Beispiel konnte mit der bekannten Entfernung die tatsächliche