

2

Der Ursprung des Universums oder warum es nachts dunkel wird

In diesem Abschnitt beschreiben wir einige grundlegende Beobachtungen: Was sieht man am Himmel mit bloßem Auge, was waren die Anfänge der Astronomie.

2.1 Tag und Nacht

Astronomie – die Beschäftigung mit den Sternen – hat praktische Ursprünge. Man wollte eine Einteilung der Zeit. Dies war besonders wichtig, als die alten Kulturvölker begannen, sesshaft zu werden und Ackerbau zu betreiben. Dazu mussten sie über Jahreszeiten Bescheid wissen.

2.1.1 Wann ist eigentlich Mittag?

Der Wechsel zwischen Tag und Nacht erfolgt periodisch und eignet sich ideal für eine Einteilung der Zeit. Dies erkannten auch die alten Kulturvölker. Von der Erdoberfläche aus gesehen bewegt sich die Sonne in einem Tag von Osten, wo sie aufgeht über Süden, wo sie um die Mittagszeit am höchsten über dem Horizont steht, nach Westen, wo sie untergeht. So sind die Himmelsrichtungen definiert. Die Mittagszeit kann man sehr genau durch Messung der Schattenlänge eines Stabes feststellen. Der Gnomon (griech. Schattenzeiger) war bereits in der Antike bekannt (siehe Abb. 2.1). An dem Zeitpunkt, an dem die Länge des Schattens am kleinsten ist, befindet sich die Sonne an ihrem höchsten Punkt im Süden, es ist also Mittag.

Mit einem Gnomon kann man folgende Größen bestimmen: Die geographische Breite des Beobachtungsortes, die Nordrichtung, die Tag- und Nachtgleiche (Äquinoktium), die Zeitpunkte der Sonnenwenden. Wie kann man diese Größen ermitteln? Die Südrichtung bzw. Nordrichtung ergibt sich aus dem Zeitpunkt der kürzesten Schattenlänge zu Mittag. Zur Zeit der Wintersonnenwende ist die

Schattenlänge mittags am größten, zur Zeit der Sommersonnenwende am kleinsten. Markiert man diese beiden Schattenlängen und halbiert diese Strecke, dann hat man die Schattenlänge zur Frühlings- und Herbsttagundnachtgleiche (Äquinoktien), und aus dem Schattenwinkel folgt die geographische Breite. Ist es nicht erstaunlich, was man durch solch einfache Messungen alles bestimmen kann?

Eigentlich müsste Mittag für jeden Längengrad der Erde zu einem anderen Zeitpunkt stattfinden, was natürlich unpraktisch wäre. Deshalb hat man auf der Erde Zeitzonen geschaffen. Die mitteleuropäische Zeit, MEZ, gilt für die Länge von 15° Ost. Orte, die östlich davon liegen, haben etwas früher Mittag, Orte westlich davon später. Ein Grad entspricht 4 min. Für einen Ort der



Abb. 2.1 Ein moderner Gnomon. Die Spitze des Obelisken ermöglicht eine genaue Bestimmung der Schattenlänge. © tbachner, cc-by-sa 3.0

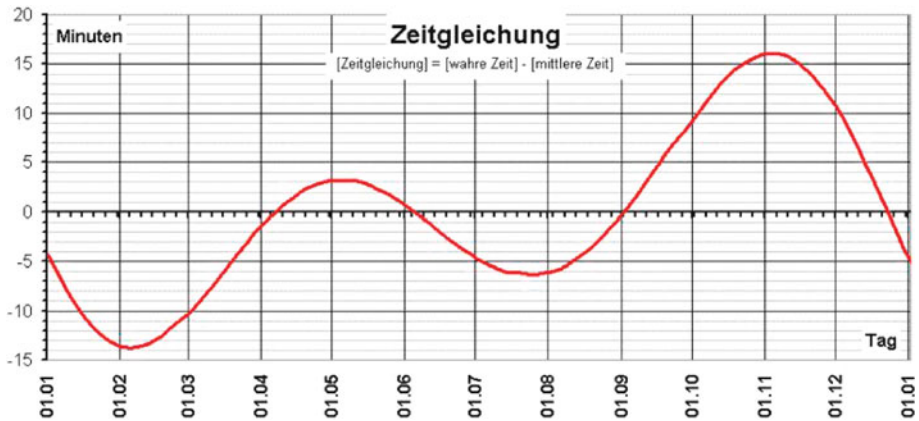


Abb. 2.2 Zeitgleichung, d.h. die Abweichung der wahren Zeit von der mittleren Zeit. Die größten Abweichungen sind Beginn Februar und Mitte November. Zwei Perioden überlagern sich: ungleichmäßige Bewegung der Erde um die Sonne und die Bewegung der Sonne auf der Ekliptik statt am Himmelsäquator

geografischen Länge von 10° ist also die Sonne um $4 \times 5 = 20$ min später im Süden als für einen Ort von 15° Länge.

Misst man den Mittagszeitpunkt sehr genau, dann stellt man fest, dass dieser, abgesehen vom Beobachtungsstandort, nicht exakt um 12 Uhr eintritt, sondern dass es Abweichungen gibt, die bis zu plus oder minus 20 min betragen können. Weshalb steht unsere Sonne nicht genau um 12 Uhr im Süden, am höchsten Punkt ihrer Bahn? Dies hat zwei Ursachen, die wir genauer untersuchen wollen: Die Bahn der Erde um die Sonne ist eine Ellipse. Befinden wir uns näher bei der Sonne, bewegen wir uns schneller um sie. Durch diese ungleichmäßige Bewegung der Erde um die Sonne geht die Sonne mal etwas vor mal etwas zurück, was sich in der Zeitgleichung beschreiben lässt. In Abb. 2.2 ist die Kurve für die Zeitgleichung gegeben. Die Maxima sind Beginn Februar bzw. Mitte November. Wegen der Zeitgleichung findet der früheste Sonnenuntergang schon um den 10. Dezember statt und nicht erst am Tag der Wintersonnenwende. Der späteste Sonnenaufgang erfolgt um den 5. Januar. Wegen der Zeitgleichung gehen Sonnenuhren gegenüber der wahren Sonnenzeit um maximal 16 min vor bzw. um 14 min nach.

2.1.2 Was ist eigentlich ein Tag genau?

Ein Tag ist die Zeit, welche die Erde für eine Umdrehung um ihre Achse benötigt. Somit müssten wir eigentlich feststellen, dass nach 24 h ein Stern genau wieder an derselben Position am Himmel zu sehen ist. Betrachten wir bei-

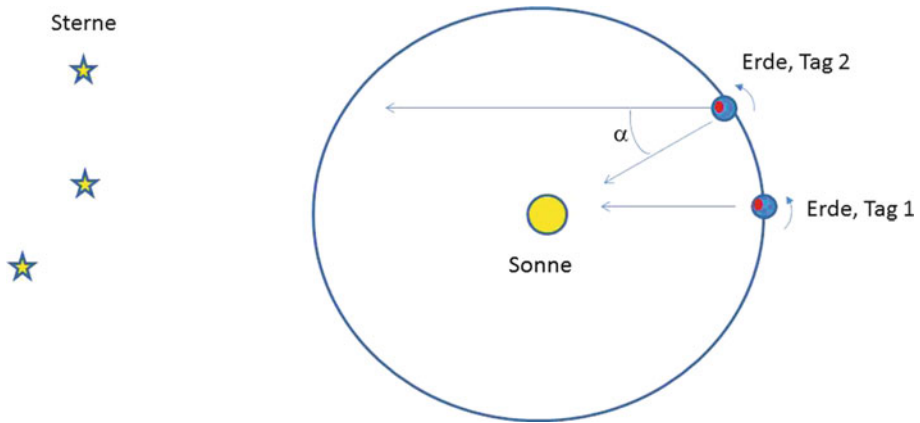


Abb. 2.3 Der Unterschied zwischen siderischer und synodischer Rotation der Erde (hier übertrieben gezeichnet)

spielsweise den hellsten Fixstern am Himmel, den Sirius. Nehmen wir an, heute Abend beobachten wir, dass dieser Stern um exakt 20 Uhr im Süden steht. Dann müsste Sirius morgen Abend ebenfalls wieder um 20 Uhr im Süden sein. Aber wir beobachten etwas anderes. Nach einem Tag steht Sirius bereits etwa 4 min früher im Süden. Das ist zunächst nicht sehr auffällig. Aber Tag für Tag steht Sirius früher im Süden, die Astronomen sagen auch, er befindet sich im Meridian. Nach einer Woche befindet er sich bereits um 28 min früher im Meridian, nach einem Monat bereits etwa 2 h früher. Ein Stern, der heute, sagen wir um 22 Uhr aufgeht, geht in einem Monat bereits um 20 Uhr auf. Bezogen auf die Sterne dreht sich die Erde also in nur 23 Stunden und 56 min und 4,00 s um die Achse. Dies nennt man den siderischen Tag oder die siderische Rotation der Erde. Das Wort siderisch bedeutet, dass es etwas mit den Sternen zu tun hat. Unser gewöhnlicher Tag hingegen hat genau 24 h.

Der Unterschied von etwa 4 min pro Tag ist leicht erklärbar. Unsere Erde bewegt sich ja in einem Jahr um die Sonne. Nach einem Tag ist unsere Erde auf ihrer Bahn ein Stückchen weiter um die Sonne gelaufen und zeigt daher früher zu demselben Stern als zur selben Position der Sonne. In Abb. 2.3 ist der Unterschied zwischen siderischer und synodischer Rotation der Erde durch den Winkel α markiert.

Durch den Unterschied zwischen siderischer und synodischer Rotation ändern sich auch die Sternbilder, die man zu einer bestimmten Zeit am Himmel sieht. Betrachten wir den Anblick des Sternenhimmels zu verschiedenen Jahreszeiten. Im Süden sichtbare typische Sternbilder gegen 22 Uhr sind dann:

- Winter: Orion, großer Hund mit Sirius
- Frühjahr: Löwe, Jungfrau

- Sommer: Skorpion, Schütze
- Herbst: Steinbock, Wassermann.

Wenn Sie aber nicht so lange warten wollen, bis Sie z. B. im Frühjahr den Skorpion im Süden sehen wollen, dann müssen sie einfach die Zeit ihrer Beobachtung bis nach Mitternacht planen. Denn wir wissen bereits: geht Skorpion z. B. heute um 2 Uhr früh auf, dann geht er in einem Monat bereits um Mitternacht auf.

2.1.3 Der Lauf des Mondes

Neben der Rotation der Erde, die einen Tag definiert, spielt die Bewegung des Mondes um die Erde eine wichtige Rolle. Der Umlauf des Mondes um die Erde definiert einen Monat, allerdings stimmt dies nicht genau. In unserem Kalender gibt es Monate zu 30 bzw. 31 Tagen, und der Monat Februar besitzt 28 Tage, bzw., wenn ein Schaltjahr ist, 29 Tage. Wieder haben wir zwei Möglichkeiten den Umlauf des Mondes zu definieren:

- siderischer Monat: nach einem siderischen Umlauf steht der Mond in Bezug auf die Sterne wieder an derselben Stelle am Himmel. Nehmen wir an, der Mond befinde sich im Sternbild Widder. Nach einem siderischen Umlauf von $27 \frac{1}{3}$ Tagen befindet sich der Mond wieder in diesem Sternbild.
- synodischer Monat: nach einem synodischen Monat zeigt unser Mond wieder dieselbe Phase. Wenn also heute Vollmond ist, dann ist nach einem synodischen Monat von $29 \frac{1}{2}$ Tagen wieder Vollmond. Der Mond steht aber nach einem synodischen Monat in einem anderen Sternbild!

Wir stellen daher fest: Ein siderischer Monat ist kürzer als ein synodischer Monat, und der Grund ist wiederum die Bewegung der Erde um die Sonne. Dies ist in Abb. 2.4 skizziert.

Die Phasen des Mondes lassen sich leicht erklären. Steht der Mond bei seinem Umlauf um die Erde genau zwischen Sonne und Erde, dann sehen wir von der Erde aus seine unbeleuchtete Hälfte, es ist also Neumond. Bei Vollmond steht er ebenso in der Linie Sonne-Erde, aber hinter der Erde, er ist daher von der Erde aus gesehen voll beleuchtet. Die Phasen erstes bzw. letztes Viertel beziehen sich auf den zurückgelegten Weg seiner Umlaufbahn. Knapp vor Neumond sieht man eine schmale Mondsichel am Morgenhimmel, einige Tage nach Neumond eine immer mehr zunehmende Sichel am Abendhimmel. Dies ist in Abb. 2.5 erklärt.

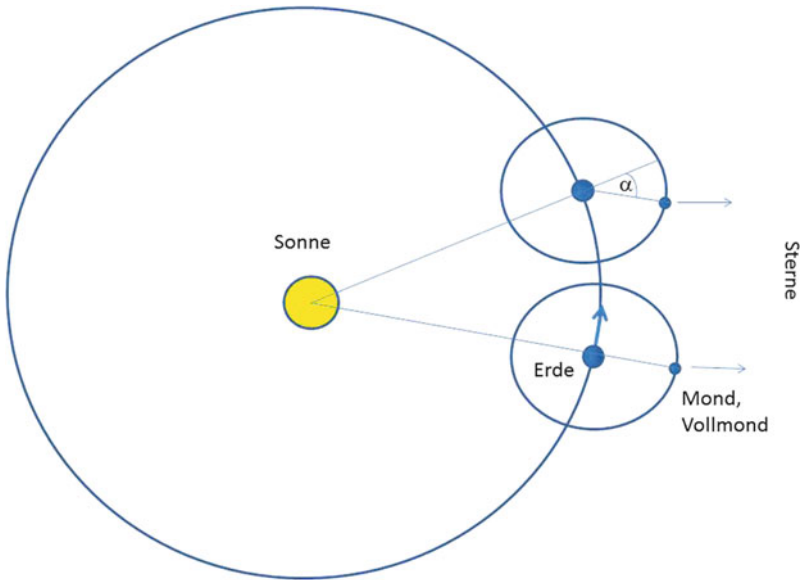


Abb. 2.4 Unterschied zwischen siderischem und synodischem Monat. Nach einem siderischen Monat hat der Mond wieder dieselbe Stellung bezüglich der Sterne, aber nicht dieselbe Phase (z. B. Vollmond)

Versuchen wir abzuschätzen, wie weit der Mond am Himmel bei der Phase erstes Viertel von der Sonne entfernt steht. Denken Sie sich dabei einen Bogen zwischen den beiden Himmelskörpern. Die ausgestreckte Faust misst etwa 8° . Lösung: Wenn man etwa 11 mal die Faust aneinanderreicht hat man den Abstand, der nahezu 90° beträgt.

2.1.4 Die schiefe Erdachse

Die Achse der Erdrotation steht nicht senkrecht zur Ebene der Erdbahn. Sie ist um etwa $23,5^\circ$ zur Senkrechten auf die Ebene der Erdbahn geneigt. Was bedeutet dies in der Praxis? Die Antwort lautet: Sehr viel, dadurch entstehen nämlich die Jahreszeiten. Im Sommerhalbjahr befindet sich die Sonne mehr als 12 Stunden über dem Horizont. Dadurch erwärmt sich die Erdoberfläche stärker, die Sonnenstrahlen fallen auch steiler auf die Erdoberfläche. Deshalb ist es im Sommer wärmer als im Winter. Im Winterhalbjahr befindet sich die Sonne weniger als 12 Stunden über dem Horizont. Die Nächte sind daher länger als die Tage. Die Erdoberfläche erwärmt sich nicht so stark, es ist deutlich kühler. Nur zum Frühlings- und Herbstbeginn werden, wie in Abb. 2.6 und Abb. 2.7 gezeigt, beide Hälften der Erdkugel gleich beleuchtet.

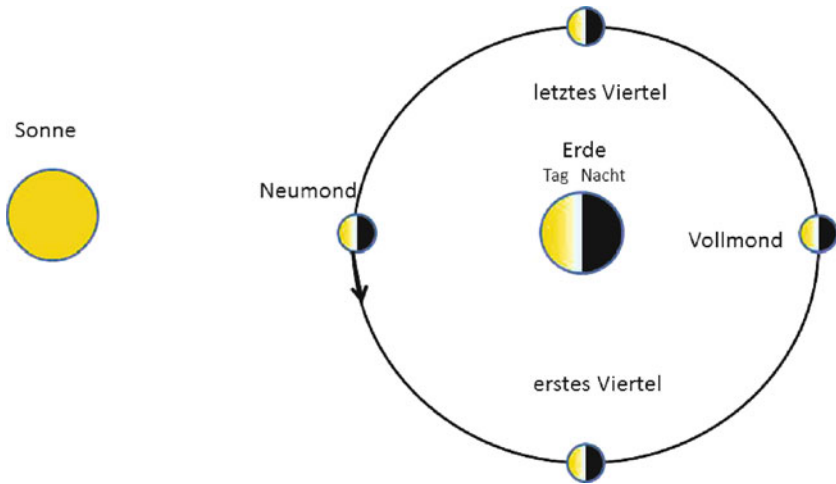


Abb. 2.5 Erklärung der Mondphasen



Abb. 2.6 Zu Frühlings- und Herbstbeginn werden beide Hälften der Erdkugel gleich beleuchtet, Tag und Nacht sind also jeweils 12 Stunden lang

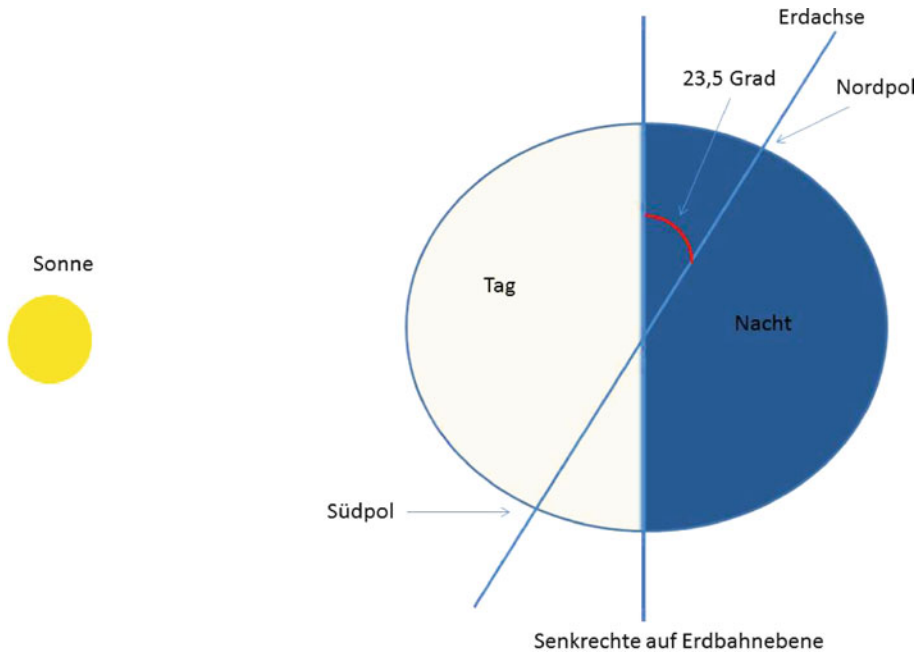


Abb. 2.7 Die Erdachse ist um $23,5^\circ$ zur Senkrechten auf die Erdbahnebene geneigt. In diesem Beispiel zeigt der Südpol zur Sonne, und dort herrscht Mitternachtssonne, die Sonne geht nicht unter, während sie um den Nordpol herum nicht aufgeht

Fassen wir zusammen: Der Wechsel zwischen Tag und Nacht entsteht durch die Rotation der Erde, die Jahreszeiten durch die Schiefe der Erdachse.

2.1.5 Wieso dauert der Sommer länger als der Winter?

Sommer- und Winterhalbjahr sind unterschiedlich lang. Im Sommerhalbjahr haben wir beispielsweise die beiden Monate Juli und August mit jeweils 31 Tagen, sowie die Monate April, Juni mit 30 Tagen. Im Winterhalbjahr gibt es den Februar mit nur 28 Tagen bzw. in Schaltjahren 29 Tagen. Für die Bewohner der Nordhalbkugel der Erde dauert daher der Sommer länger als der Winter. Wie lässt sich dies verstehen?

Die Menschen des Altertums nahmen an, dass sich die Planeten auf perfekten Kreisbahnen bewegen. Selbst Kopernikus, der im Jahre 1543 seine These veröffentlichte, wonach die Sonne im Mittelpunkt sei, und sich die Erde um die Sonne bewege, dachte dass die Bewegung der Erde um die Sonne auf einer Kreisbahn erfolge. Auf einem Kreis haben alle Punkte denselben Abstand vom Mittelpunkt. Sonne und Erde ziehen einander an. Die Sonne besitzt eine wesentlich größere Masse, als die Erde (die Masse der Sonne beträgt etwa

333.000 Erdmassen). Deshalb ist die Anziehung der Erde durch die Sonne wesentlich größer als umgekehrt. Würde sich die Erde auf einer Kreisbahn bewegen, dann wäre die Anziehung der Erde von der Sonne immer dieselbe.

Durch den Umlauf der Erde um die Sonne erfährt die Erde eine nach außen gerichtete Kraft, die entgegengesetzt zur Anziehungskraft der Sonne ist. Diese Kraft nennt man die Zentrifugalkraft. Wir kennen diese Kraft: fährt man mit einem Auto in eine Kurve, wirkt eine Kraft nach außen. Die Stärke der Zentrifugalkraft hängt ab von der Geschwindigkeit, mit der man unterwegs ist und vom Radius der Kurve. Daher wissen alle Autofahrer: nicht zu schnell in eine enge Kurve (mit kleinem Krümmungsradius) fahren, sonst fliegt man aus der Kurve.

Die Formel für die Zentrifugalkraft lautet daher:

$$F_{\text{Zentrifugal}} = \frac{mv^2}{r}$$

wobei m die Masse des Körpers ist (z. B. unsere Erde), r der Krümmungsradius und v die Bahngeschwindigkeit. Wenn wir als Beispiel die Bewegung der Erde um die Sonne betrachten, dann könnten wir folgende Zahlenwerte einsetzen:

- m Masse der Erde = 6×10^{24} kg,
- r Entfernung Erde–Sonne = 150.000.000 km
- v Bahngeschwindigkeit der Erde um die Sonne, etwa 30 km/s.

Nun hat aber der Astronom Kepler vor etwa 400 Jahren erkannt, dass die Bahnen der Planeten um die Sonne keine Kreise sind, sondern Ellipsen (siehe Abb. 2.8). Deshalb verändert sich der Abstand der Erde von der Sonne. Den sonnennächsten Punkt der Erdbahn nennt man Perihel, den sonnenfernsten Punkt Aphel. Gegenwärtig befindet sich die Erde Anfang Januar im Perihel und Anfang Juli im Aphel. Wenn die Erde der Sonne näher steht, dann muss sie sich schneller um diese bewegen, um nicht in die Sonne zu stürzen. Wir bewegen uns daher im Winterhalbjahr etwas schneller um die Sonne als im Sommerhalbjahr, deshalb ist das Winterhalbjahr kürzer als das Sommerhalbjahr.

- Entfernung Erde–Sonne am 4. Januar 2015: 0,98327 AE
- Entfernung Erde–Sonne am 6. Juli 2015: 1,01668 AE

Dabei ist 1 AE die astronomische Einheit, die mittlere Entfernung Erde–Sonne.

$$1 \text{ AE} = 149.597.870 \text{ km.}$$

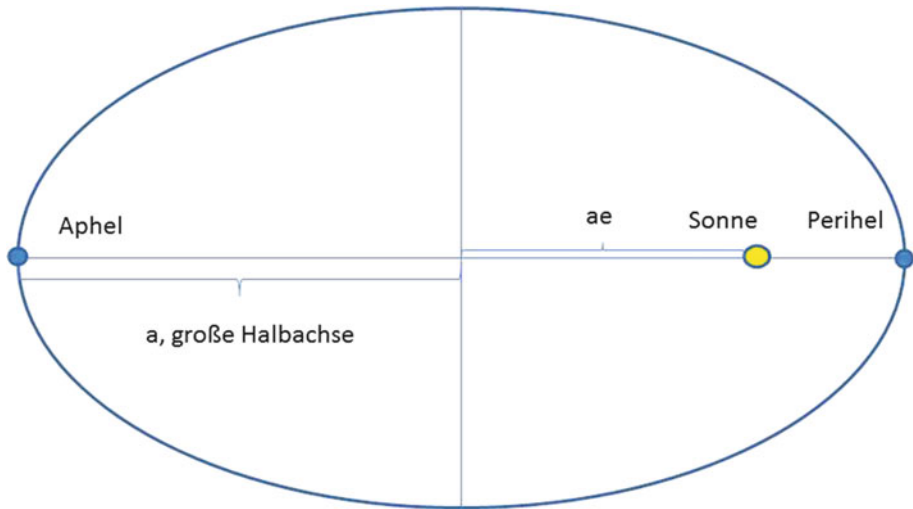


Abb. 2.8 Die Planetenbahnen sind Ellipsen (hier übertrieben dargestellt), in deren einen Brennpunkt sich die Sonne befindet. Der sonnennächste Punkt heißt Perihel, der sonnenerfernste Punkt Aphel. Die Strecke ae (a große Bahnhälfte, e Exzentrizität) gibt den Abstand des Brennpunktes der Ellipse vom Mittelpunkt an

Wir sind also im Januar näher bei der Sonne als im Juli! Misst man den Durchmesser der Sonne am Himmel genau, stellt man fest, dass sie im Winter etwas größer als im Sommer erscheint. Allerdings lässt sich dieser Unterschied mit bloßem Auge nicht erkennen. Übrigens, wenn die Sonne tief in Horizontnähe steht, erscheint sie größer, als wenn sie hoch am Himmel steht; dies ist eine optische Täuschung und auch eine Folge der Lichtbrechung.

2.1.6 Die veränderliche Sonnenmasse

Wir haben im obigen Abschnitt über die Astronomische Einheit gesprochen, also die mittlere Entfernung Erde–Sonne. Kommen wir kurz zur Frage, ob dieser Abstand konstant bleibt oder nicht? Dazu brauchen wir noch die Kraft, die die Sonne auf die Erde ausübt, die Gravitationskraft. Diese hängt ab von den Massen der Erde und der Sonne M_{\odot} . Wenn daher die Masse der Sonne kleiner wird, wird auch die Anziehung zwischen Erde und Sonne schwächer, und die Entfernung Erde–Sonne, also die astronomische Einheit müsste zunehmen. Wodurch könnte die Masse der Sonne abnehmen?

Wie wir noch genauer erläutern werden, entweicht von der Oberfläche unserer Sonne ein fast kontinuierlicher Strom geladener Teilchen, den wir als Sonnenwind bezeichnen. Die Sonne wird also leichter, und man kann sich überlegen, dass dadurch der Radius der Erdbahn um ca. 30 cm pro Jahr-

Den Nachthimmel erleben

Sonne, Mond und Sterne – Praktische Astronomie zum
Anfassen

Hanslmeier, A.

2015, XIII, 270 S. 160 Abb., 150 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-662-46031-3