

Wie weit ist die Sonne entfernt? Wie groß ist sie?

Wie man - so als griechische Astronomen vor mehr als 2000 Jahren - aus recht einfachen und jedem zugänglichen Beobachtungen schließen kann, dass die Sonne viel weiter entfernt und viel größer sein muss als der Mond.

Sonne und Mond scheinen von der Erde aus betrachtet, gleich groß zu sein. Das sagt aber noch nichts über ihre wirkliche Größe aus und wir wissen heute, dass dem auch nicht so ist.

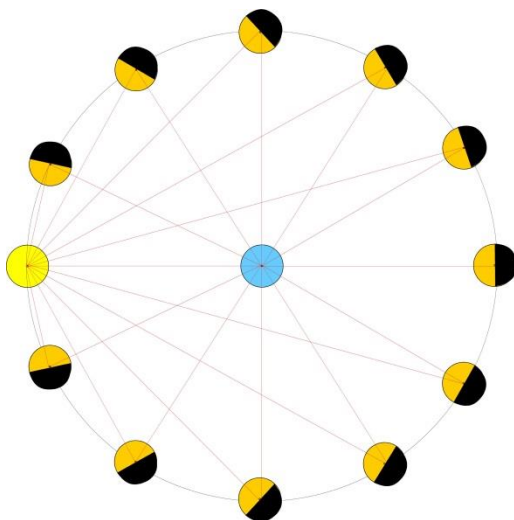
Ein auf dem Spielfeld liegender Fußball mag genau so groß zu sein wie die Murmel auf meiner Hand. Tatsächlich haben sie unterschiedliche Größen. Da wir schon in Kindertagen eine Vorstellung von Fußbällen und Murmeln entwickeln erfassen wir das intuitiv und müssen wir das nicht mehr überprüfen. Hinzu kommt, dass sie normalerweise von Dingen umgeben sind die wir ebenfalls einordnen können, etwa der Größe des Fußballfeldes, der Spieler oder der Hand.

Mit der Sonne und dem Mond haben wir keine direkten Erfahrungen gemacht. Es gibt Kinder und nicht nur solche, die fest im Glauben sind, dass Sonne und Mond am Himmel hängende Lampen sind. Bringen Sie einmal unter ihren erwachsenen Freunden und Verwandten das Gespräch darauf, wie groß und wie weit entfernt die Sonne und der Mond wohl sind...

Nur sehr wenige Menschen haben wirklich erfahren können wie weit es bis zum Mond ist. Der Sonne wird sich niemand jemals auch nur nähern können. Ohne sie - und wer denkt schon darüber nach - gäbe es uns überhaupt nicht. Schon das könnte (muss aber nicht) das Interesse dafür wecken, was es mit ihr auf sich hat.

Ein von allem heutigen Wissen unvorbelasteter Mensch könnte zunächst annehmen, dass alle drei Himmelskörper die gleiche Größe haben, gleich weit voneinander entfernt sind und sich irgendwie umeinander bewegen. Die Sonne und die Phasen des Mondes legen die Vermutung nahe, dass sie Kugeln ähneln und dass der Mond von der Sonne beleuchtet wird. Schon ein einseitig beleuchteter Papierlampion zeigt wie die Phasen des Mondes zustande kommen!

Die folgende Überlegung zeigt, dass der am Himmel sichtbare Halbmond der Beweis dafür ist, dass die Sonne weiter entfernt sein muss als der Mond.



Wir lassen den Mond gegen den Uhrzeiger um die Erde kreisen und zwar auf einer Bahn die den gleichen Radius hat wie die Entfernung zur Sonne. Sie müsste etwas geneigt sein so dass es nicht zur Kollision kommt. Die seltene Beobachtung, dass der Mond die Sonne verdecken kann ("Sonnenfinsternis") legt nahe, dass der uns der Mond etwas näher ist als die Sonne.

Würden nun Sonne und Mond etwa gleich weit von uns entfernt sein, würden wir auf der Erde nie einen Halbmond zu Gesicht bekommen!

Er träte nur auf, kurz bevor und kurz nachdem sich Sonne und Mond trafen und würde für uns im Licht der Sonne verschwinden.

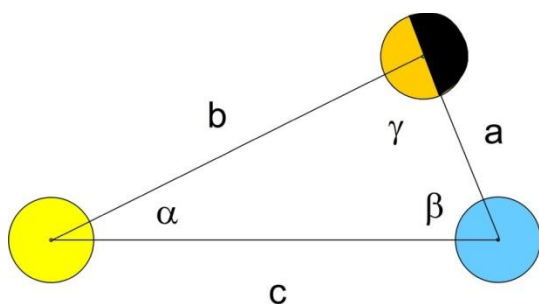
Die Periode zwischen Halbmond und Neumond wäre extrem kurz und gleichermaßen unsichtbar.

Und, vielleicht kulturgeschichtlich interessant: Wenn Mond und Sonne etwa gleich weit entfernt wären hätten wir Menschen niemals eine Mondsichel gesehen!

Und die folgenden - aus astronomischer Sicht übrigens mehrheitlich sehr problematischen - Flaggen gäbe es in dieser Form nicht.



Wie weit ist die Sonne entfernt?



Man könnte, wie einige kluge "alte" Griechen schon vor mehr als 2000 Jahren, aus der Beobachtung des Mondes folgern, dass er von der Sonne beleuchtet wird und dass ihr Licht senkrecht zu unserer Blickrichtung einfallen muss wenn er ein "Halbmond" ist.

- Bei Halbmond bilden die Sonne, der Mond und die Erde ein rechtwinkliges Dreieck.
- Der rechte Winkel (90°) im Zentrum des Mondes ist der Winkel γ .
- Der auf der Erde gemessene Winkel β zwischen der Sonne und dem Halbmond muss kleiner sein als 90° , sonst wäre die Sonne unendlich weit entfernt. Größer kann er nicht sein.
- Nehmen wir an, wir messen mit unseren bescheidenen Mitteln einen Winkel β von 80° .

Wie weit ist die Sonne dann von der Erde entfernt?

- Der Kosinus des Winkels β ist das Verhältnis zwischen Ankathete (a) und Hypotenuse (c).

Das Messen über die gerade (!) Strecke gelingt ansatzweise – und nur mit einiger Übung - mit einem Sextanten aber natürlich auch nur dann, wenn sowohl die Sonne als auch der Mond sichtbar sind.

- Das Dreieck zwischen Erde, Mond und Sonne beruht auf den Fixpunkten die jeweils im Zentrum der drei Himmelskörper liegen. Beobachtet wird aber nicht vom Erdmittelpunkt sondern von der über 6000 km entfernten Erdoberfläche aus. Ideal wäre es, wenn der Zeitpunkt des Halbmondes mit dem Meridiandurchgang zusammenfällt. Das bedeutet wiederum, dass die Sonne in der Nähe des Horizonts steht und im Winter wahrscheinlich entweder noch nicht auf- oder schon untergegangen ist.

Um zu verdeutlichen, wie schwer es ist, mit dieser Methode zu einem heute akzeptierten Weltbild zu gelangen rechnen wir einfach mal vom Ergebnis her:

Die tatsächliche auf ganz andere Weise gefundene mittlere Entfernung zwischen Sonne und Erde beträgt 149,7 Millionen Kilometer, der Mond dagegen ist im Mittel „nur“ 384400 km vom Erdmittelpunkt entfernt.

- Das Verhältnis ist also nicht 1 : 5,76 sondern 1 : 389,44.
- Die Sonne ist also fast 400mal so weit entfernt wie der Mond.

Also gilt:

$$\cos \beta = \frac{1}{c}$$

$$c = \frac{1}{\cos \beta}$$

$$c = \frac{1}{\cos 89,853^\circ} = 389,4$$

Einen Winkel so exakt zu messen ist wirklich sehr, sehr schwer.

Aber selbst ein ungenauer Messwert hat den Erkenntniswert, dass die Sonne, die uns am Himmel nicht größer erscheint als der Mond viel, viel weiter entfernt ist als der Mond!

Macht man die z.B. bei www.calsky.com abrufbaren geozentrischen ekliptikalen Längen und Breiten der Sonne und des Mondes zum exakten Zeitpunkt der Halbphase zur Grundlage und berechnet daraus den scheinbaren Winkel zwischen den beiden Himmelskörpern erhält man ein Ergebnis das wenigstens die Größenordnung anzeigt.

Beispiel: Letztes Viertel des Mondes am 26. Februar 2019 um 12:27 (Daten nach www.calsky.com)

	Ekliptikale Länge γ	Ekliptikale Breite b
Sonne	337°34'23''	0°
Mond	247°33'42''	3°53'13''

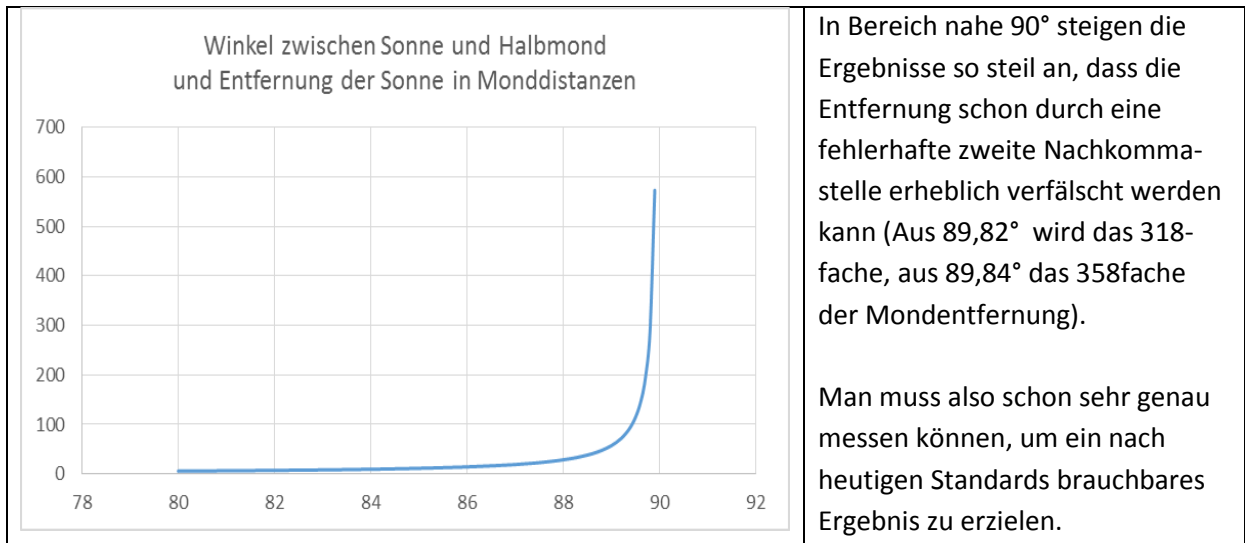
Die Winkeldistanz zwischen zwei Himmelskörpern im sphärischen Raum ist

$$\cos \gamma = \sin b_{\text{Sonne}} * \sin b_{\text{Mond}} + \cos b_{\text{Sonne}} * \cos b_{\text{Mond}} * \cos(\gamma_{\text{Sonne}} - \gamma_{\text{Mond}})$$

Im konkreten Fall:

$$\gamma = 89,8296^\circ$$

$$c = \frac{1}{\cos 89,8296^\circ} = 336,24$$



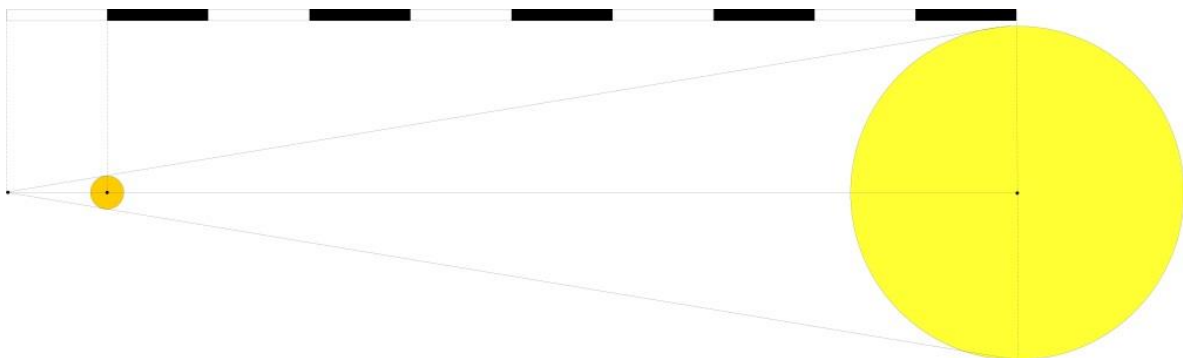
Diese Methode, die Entfernung der Sonne zu bestimmen, ist uralte:

Aristarchos von Samos war ein griechischer Astronom und Mathematiker. Er lebte von etwa 310 bis 230 v.u.Z und gehörte zu den frühen und später vergessenen Heliozentrikern die nicht die Erde, sondern die Sonne als Zentrum des Kosmos betrachteten, eine Auffassung, die im Mittelalter von der Kirche bekämpft wurde und erst von Kopernikus und Kepler wiederbelebt wurde.

Ihm wird die Erkenntnis zugeschrieben, dass der Halbmond dann auftritt, wenn das Licht der Sonne senkrecht zu unserer Blickrichtung auf unseren kugelförmigen Begleiter fällt. Damit entsteht ein rechtwinkliges Dreieck zwischen Erde, Mond und Sonne. Aristarch folgerte daraus, dass sich die Entfernung der Sonne aus dem Winkel zwischen Sonne und dem Halbmond ableiten ließe. Er bestimmte diesen Winkel zu mindestens 87°. Daraus ließ sich das 19,1fache der Mondentfernung ableiten.

Wie groß ist die Sonne?

Wenn die Sonne etwa 400mal so weit entfernt ist wie der Mond, ist sie dann auch 400mal so groß?
Eine einfache Zeichnung die Proportionalität: x- fache Entfernung führt zu x- facher Größe



Beobachten Sie selbst:

Passen Sie einen klaren Tag ab an dem der Mond zunehmend (abends) oder abnehmend (morgens) genau "halb" ist und zugleich die Sonne scheint. Die Grenze zwischen der hellen, der Sonne zugewandten Seite und der dunklen unbeleuchteten Hälfte soll bei Halbmond gerade sein.

Kehren Sie der Sonne den Rücken zu und achten auf ihren eigenen Schatten. Der halbe Mond wird entweder über ihrer rechten oder ihrer linken Schulter stehen.

Schätzen Sie en Winkel zwischen ihrem Schatten und dem Mond.

Wie genau gelingt Ihnen das? Ist das ein rechter Winkel? Oder ist er kleiner?

Als schmalerer Schattenwerfer käme ein senkrecht in die Erde gesteckter Stab in Frage um den Sie herumgehen können und den Winkel Sonne - Mond ausmessen könnten.

Welche möglichst genaue Methode würde sich hier anbieten?

Ist das die richtige Vorgehensweise?

Bei dem oben skizzierten Versuch messen Sie den Winkel zwischen den Azimuten (Kompassrichtungen) von Sonne und Mond. Tatsächlich müssen Sie die Winkeldistanz zwischen Sonne und Mond bestimmen.

Ein einfaches Experiment zur Verdeutlichung der Methode

Nehmen sie eine weiße Kugel (z.B. aus Styropor, Deko-/Bastelmaterial) zur Hand.

Stellen Sie sich mit dem Rücken zur Sonne auf und führen Sie den "Mond" entweder nach links oder nach rechts bis er möglichst exakt "halb" ist.

Wenn Ihre Kugel aus zwei Halbschalen besteht haben sie eine gute Orientierungshilfe. Sonst könnten Sie einen Faden zwischen "Nordpol" und "Südpol" legen.

Wie groß ist der Winkel zwischen Ihrem Schatten und dem "Halbmond"?

Wiederholen Sie das Experiment, jetzt aber im Halbdunkel mit einer in der Nähe stehenden Leuchte. Wie groß ist der gesuchte Winkel jetzt?

Die Sonne ist im Vergleich zur Distanz zwischen Ihnen ("Erde") und dem "Mond" unendlich weit entfernt. Im Falle einer Leuchte ist das nicht der Fall und der Winkel wird erheblich geringer sein.

Vielleicht gelingt es einer Forscherklasse sogar, aus diesen Erfahrungen heraus eine Formel zur Bestimmung der Sonnendistanz zu entwickeln (siehe oben).

Die Entfernung der Sonne mit dieser Methode genauer zu bestimmen, als es Aristarch möglich war, wird in der Schule nicht gelingen. Die Fragestellung, die Entwicklung des Prinzips und die Suche nach einer immer genaueren Messmethode haben aber durchaus ihren pädagogischen Reiz.

Vorausgesetzt, man lässt den Schülern die Zeit, selbst nach Lösungen zu suchen was in einem stark getakteten Curriculum nur in einer Arbeitsgemeinschaft möglich sein wird. Leider spielt die Astronomie interessehalber oder von der Ausbildung her nur (noch) bei wenigen Kollegen eine Rolle.



Ein mit billigen Komponenten selbst gebauter, aber schon recht genauer Sextant.

Er besteht aus

- einem festen Spiegel ("Horizontspiegel", links),
- einer drehbaren "Alhidade" mit Ablesevorrichtung,
- einem durch die Alhidade beweglichen Spiegel ("Indexspiegel", oben),
- einer Winkelskala,
- und einem leicht vergrößernden Fernrohr.

Die Bauanleitung dieses, nach der Vorlage des bei "Astromedia" erhältlichen Bausatzes nachgebauten hölzernen Sextanten finden Sie unter www.schulbiologiezentrum.info (Arbeitshilfe 19.52, Selbstbau eines Spiegelsextanten)