Woher wissen wir, wie weit die Objekte von uns entfernt sind? (Teil 1) : Entfernungsmessung im Weltall

Autor(en): **Roth, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **68 (2010)**

Heft 356

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-897965

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Woher wissen wir, wie weit die Objekte von uns entfernt sind? (Teil 1)

Entfernungsmessung im Weltall

Von Hans Roth

Sirius habe eine Entfernung von 8.6 Lichtjahren, die Galaxien des Haufens Abell 426 seien rund 230 Millionen Lichtjahre entfernt – wie bestimmt man solche Distanzen? Dieser Frage gehen wir in zwei Artikeln nach. Hier besprechen wir die Distanzmessung innerhalb der Milchstrasse, im nächsten ORION geht es dann um die Entfernungen zu den Galaxien.

Der Galaxien-Haufen Abell 426 im Perseus liegt etwa 230 Millionen Lichtjahre von uns entfernt. Wie sich solch enormen Distanzen messen lassen, lesen Sie im zweiten Teil dieses Beitrags im April-ORION. (Foto: Josef Käser)

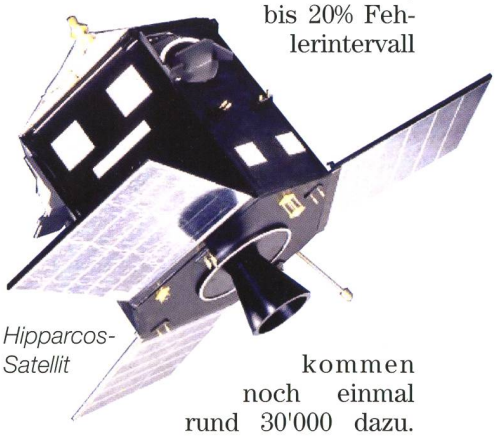
Grundlage der Distanzmessung ist die Entfernung der Erde von der Sonne, die zu Recht Astronomische Einheit, AE, genannt wurde (heute ist die AE etwas anders definiert, der Wert entspricht nicht mehr genau der mittleren Entfernung Erde - Sonne). Zur Bestimmung der AE gibt es heute eine ganze Reihe von Methoden. Man kann etwa mit dem Radarprinzip die Distanz Erde - Mars vermessen und daraus mit den Keplergesetzen die AE berechnen. Auch die Raumsonden zeigen durch ihre Bahnen indirekt an, wie gross die AE ist – wir haben so, eine Annahme in der Astronomie, experimentelle Nachweise für die Richtigkeit des Wertes.

Die Parallaxe

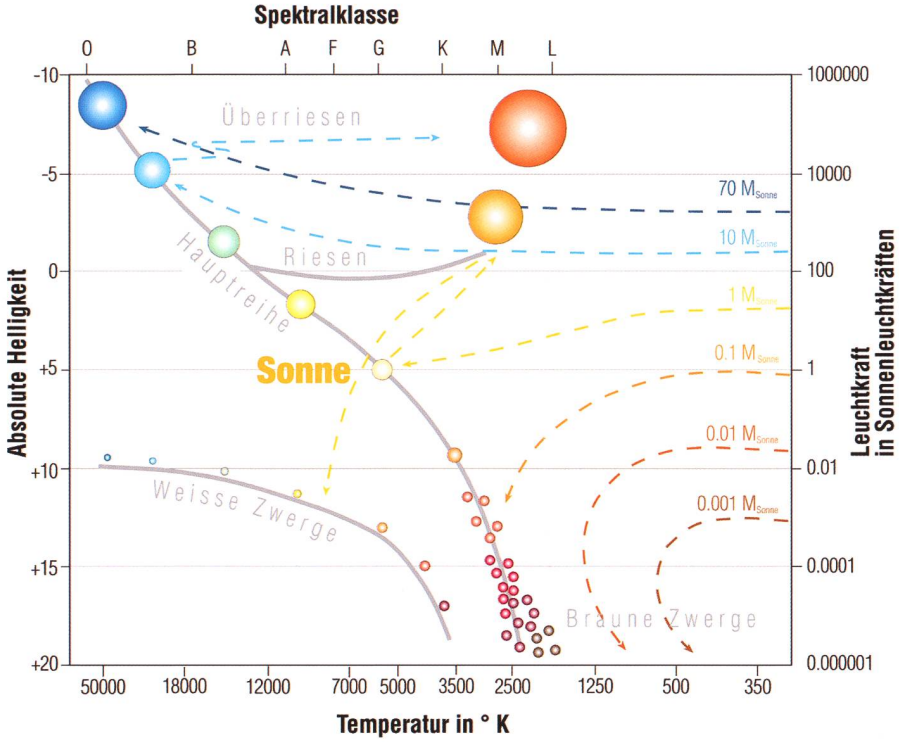
Die Entfernungen der benachbarten Fixsterne lassen sich nun exakt bestimmen. Auf dem Weg um die Sonne verändert sich der Abstand der Erde von den Fixsternen. Zum Beispiel müssten die Ekliptiksternbilder im Laufe eines Jahres ihre Gestalt periodisch etwas verändern, weil sich die Erde beim Umlauf um die Sonne auf sie zu und wieder von ihnen weg bewegt.Die Sehstrahlen zu allen Sternen ändern, von der bewegten Erde aus betrachtet, ihre Richtung periodisch im Laufe eines Jahres. Diese Richtungsänderung nennt man Parallaxe. In der Abbildung Seite 29 ist es der Winkel π, es ist der Winkel, unter dem vom Stern aus gesehen der Radius der Erdbahn erscheint. Der Stern scheint sich also gegenüber weit entfernten Hintergrundsternen zu verschieben, und je näher ein Stern ist, um so stärker muss diese Bewegung sein. Sie ist jedoch auch bei den allernächsten Sternen viel zu klein, um von Auge oder mit einem Amateurfernrohr erkennbar zu sein.
Die Parallaxe ergibt dann auch ein bequemes Distanzmass für Fixsternentfernungen: das Parsec (pc). Ein Stern, dessen Parallaxe eine Bogensekunde betragen würde, hätte die Entfernung 1 pc. Für uns Amateure ist das Lichtjahr allerdings anschaulicher (wenn man bei diesen Distanzen das Wort anschaulich überhaupt noch brauchen darf). 1 Parsec sind 3.26 Lichtjahre oder 206'265 Astronomische Einheiten – die Sterne sind also sehr weit weg!

Der Hipparcos-Katalog

Mittlerweile hat der Astrometriesatellit Hipparcos die Parallaxen von 118'218 Himmelsobjekten vermessen. Die Distanzen von 20'853 Fixsternen sind jetzt mit einem maximalen Fehler von 10% bekannt, bis 20% Fehlerintervall kommen noch einmal rund 30'000 dazu. Diese Entfernungen sind trigonometrisch effektiv berechnet, sie sind nicht mit physikalischen Modellannahmen belastet und werden sich (im Rahmen der Fehlergrenze) nicht mehr ändern. Die entferntesten Sterne, die Hipparcos so vermessen hat, sind etwa 100 pc (= 300 Lichtjahre) entfernt.



Hipparcos-Satellit



Das Hertzsprung-Russell-Diagramm.

Unser sicheres Wissen über Distanzen im Weltall beschränkt sich also auf diesen kleinen Bereich. Unsere Milchstrasse hat einen Durchmesser von etwa 80'000 Lichtjahren, der Hipparcos-Bereich ist nicht einmal 1% davon. Unser Wissen über entferntere Objekte beruht auf Statistiken und auf Annahmen, die durchaus vernünftig erscheinen, aber letztlich nicht exakt bewiesen werden können.

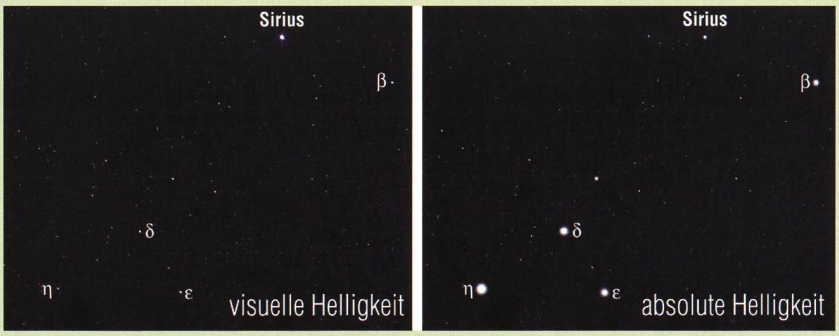
Das Hertzsprung-Russell-Diagramm

Eine Möglichkeit, auf die Distanz zu entfernteren Fixsternen zu schliessen, besteht in der Untersuchung des Lichtspektrums der Sterne. Zerlegt man das einfallende Licht eines Sterns in die einzelnen Farben (Wellenlängen), so kann man die Oberflächentemperatur, die chemische Zusammensetzung, den Bewegungszustand und auch magnetische Eigenschaften herauslesen. Teilt man die Sterne nach ihrer Oberflächentemperatur ein, so erhält man die sogenannten Spektralklassen. Da Hipparcos bei jedem vermessenen Stern auch die Spektralklasse bestimmt hat, konnte man für sehr viele Sterne die abgestrahlte Energie den Spektralklassen zuordnen. Es ergab sich eine Grafik (siehe Abbildung links), das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD), bei dem die allermeisten Sterne auf der Diagonalen (der «Hauptreihe») liegen. Wenn man jetzt umgekehrt von einem Stern die Spektralklasse kennt und annehmen kann, dass es ein ganz gewöhnlicher, ein Hauptreihenstern ist, kann man aus dem HRD die absolute Sternhelligkeit herauslesen. Je nachdem wie hell uns dieser Stern am Himmel erscheint, muss er dann näher oder weiter entfernt sein.

Die Methode beruht also auf dem Unterschied von scheinbarer und absoluter Helligkeit. Die scheinbare Helligkeit eines Sterns ist die Helligkeit, wie sie ein Beobachter misst. «Scheinbar» bedeutet in der Astronomie immer: «wie es erscheint», wie es direkt beobachtet wird, und hat nichts mit «fiktiv» zu tun. Die «absolute» Helligkeit ist ein Mass für die physikalische Leuchtkraft eines Sterns, unabhängig von seinem Abstand. Man versetzt den Stern in Gedanken in einem Abstand von 10 pc = 32.6 Lichtjahre. Die Helligkeit, die er dann hätte, wird als absolute Helligkeit bezeichnet.

Wenn alle Sterne aus gleicher Distanz leuchteten

Der uns vertraute Sternenhimmel sähe komplett anders aus, könnten wir sämtliche Sterne absolut strahlen sehen. Sie leuchteten dann alle aus 10 parsec oder umgerechnet 32.6 Lichtjahren Entfernung. Unsere Sonne, die uns visuell -26.73 ^{mag} hell erscheint, würde aus dieser Distanz zu einem unbedeutenden Lichtpunkt von + 4.85 ^{mag} verkommen. Auch der helle Sirius, würde zwei Helligkeitsklassen einbüssen und würde innerhalb seines Sternbildes (Grosser Hund) von seinen Nachbarsternen übertroffen (siehe Bild unten). Die absolute Leuchtkraft von Sternen ist unabhängig von der Distanz und vergleichbar mit unterschiedlich stark leuchtenden Lampen, die wir aus gleicher Entfernung betrachten. Wir können daher ableiten, dass die hellsten Sterne am Himmel nicht zwingend die nächsten sein müssen.



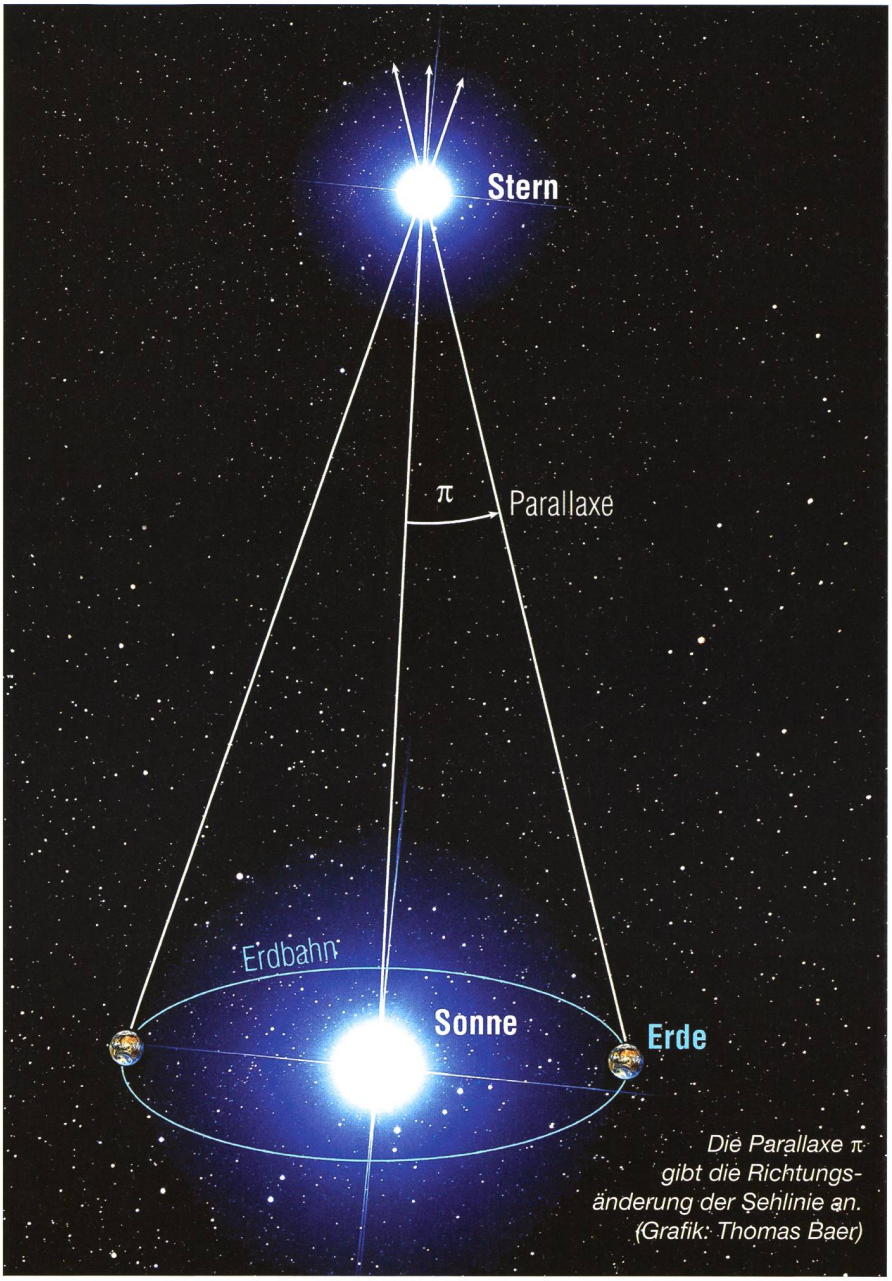
Berichtigung

zu «Unterschiedliche Tageslängen» in ORION 6 / 09

Auf Seite 10, 3. Spalte etwas oberhalb der Mitte, muss es heissen:

Nun macht das pro Tag im Maximum nur knapp 30 Sekunden aus, um die der «wahre Sonnentag» länger ist als 24 Stunden.

Am Schluss des Abschnitts über die Zeitgleichung ist der Hinweis auf die Grafik stehen geblieben, obwohl die Grafik selbst weggelassen wurde und "oben rechts" eine andere Kurve dargestellt ist.



Die Parallaxe π gibt die Richtungsänderung der Sehlinie an. (Grafik: Thomas Baer)

Unsicherheiten

Natürlich muss man wissen, wo der Stern im HRD genau einzutragen ist. Die allermeisten Sterne befinden sich auf der Hauptreihe, für statistische Untersuchungen gibt das relativ sichere Auswertungen. Will man aber die Distanz eines ganz bestimmten Sterns wissen, muss man seine Lage im HRD mit detaillierter Untersuchung des Spektrums herauszufinden versuchen.
Was man zusätzlich aber immer berücksichtigen muss, ist die Möglichkeit, dass der Stern von uns aus gesehen hinter einer Gas- oder Staubwolke steht. Wir halten ihn dann für weiter entfernt, als er in Wirklichkeit ist. Das Problem hat man vor allem bei Objekten, die nahe der Symmetrieebene der Milchstrasse stehen – dort ist ja die Staubdichte recht gross. Aber in allen Richtungen können kleinere, unbekannte Dunkelwolken das Sternenlicht abdämpfen.

Das Maximum-Prinzip

Ausserhalb des von Hipparcos vermessenen Bereichs kommt man bei der Distanzbestimmung nur mit Annahmen weiter. Hinter der HRD-Methode steckt die Überzeugung, dass die Sterne in grösserer Distanz grundsätzlich gleich aufgebaut sind wie die der Sonnenumgebung. Für noch grössere Entfernungen (auch für die Distanz zu weit entfernten Galaxien) folgt daraus eine Annahme, die man als «Maximum-Prinzip» bezeichnet: Wenn man astronomische Strukturen mit je sehr vielen Elementen hat, so sind die in Bezug auf eine bestimmte Eigenschaft maximalen Elemente aller Strukturen gleichartig. Anwenden kann man dieses Prinzip z.B. auf die Kugelsternhaufen: die hellsten Sterne (oder die massereichsten oder die am raschesten rotierenden Sterne oder ...) haben in allen Kugelsternhaufen dieselben physikalischen Eigenschaften, insbesondere also dieselbe absolute Helligkeit. Daraus kann man dann die Distanz des Sternhaufens bestimmen.

Hans Roth
Marktgasse 10a
CH-4310 Rheinfelden