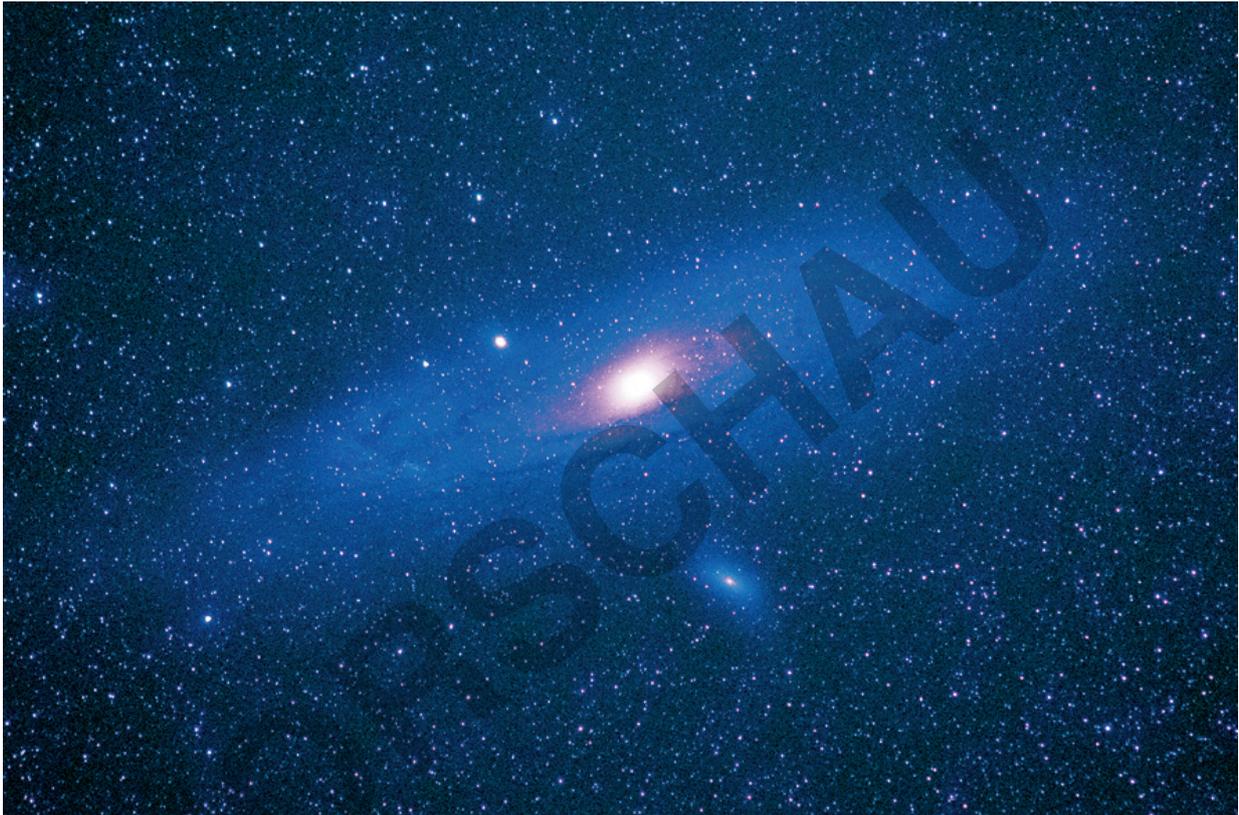


Astronomische Entfernungsbestimmungen II – außerhalb unseres Sonnensystems

Carlo Vöst



© Tony Rowell/Corbis Documentary

Aufbauend auf dem bereits erschienenen Beitrag „Astronomische Entfernungsbestimmungen I – Sonnensystem“ werden für Ihre Klasse Methoden vorgestellt, um Entfernungen zu Objekten außerhalb unseres Sonnensystems zu bestimmen. Dabei wird auf die wichtigsten und zuverlässigsten Verfahren eingegangen. Außerdem finden Sie in diesem Beitrag eine Reihe von differenzierten Aufgaben, mit denen Ihre Lernenden das erworbene Wissen einüben können. Eine Klassenarbeit rundet das Material ab.

Astronomische Entfernungsbestimmungen II – außerhalb unseres Sonnensystems

Oberstufe (weiterführend)

Carlo Vöst

Hinweise	1
M1 Die jährliche trigonometrische Parallaxe	2
M2 Entfernungsbestimmung über die Helligkeit der Sterne	3
M3 Entfernungsbestimmung von Galaxien	9
M4 Aufgaben	15
M5 Klassenarbeit	18
Lösungen	20

Die Schülerinnen und Schüler lernen:

welche Methoden notwendig sind, um Entfernungen zu Objekten zu bestimmen, die außerhalb unseres Sonnensystems liegen, abhängig davon, um welche Distanzen es sich handelt. Ihre Klasse lernt den trigonometrischen Ansatz, eine Möglichkeit über die Helligkeit der Sterne, eine über Cepheiden-Veränderliche, über Supernovae und mittels der Rotverschiebung kennen. Insbesondere bekommen Ihre Lernenden einen Einblick, bis zu welchen Distanzen die Methoden jeweils angewandt werden können und welche Ungenauigkeiten eventuell auftreten.

Überblick:

Legende der Abkürzungen:

AB Arbeitsblatt

LEK Lernerfolgskontrolle

Thema	Material	Methode
Die jährliche trigonometrische Parallaxe	M1	AB
Entfernungsbestimmung über die Helligkeit der Sterne	M2	AB
Entfernungsbestimmung von Galaxien	M3	AB
Aufgaben	M4	AB
Klassenarbeit	M5	LEK
Lösungen	M6	AB

Kompetenzprofil:

Inhalt: Astronomische Entfernungsbestimmung über die jährliche trigonometrische Parallaxe und über die Helligkeit der Sterne, Entfernungsbestimmung von Galaxien mithilfe von Cepheiden, Supernovae und Rotverschiebung

Medien: TR, physikalische Formelsammlung

Kompetenzen: Erklären von Phänomenen unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien (S1), Erklären bekannter Messverfahren (S5), Identifizieren und Entwickeln von Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten (E1), Berücksichtigung von Messunsicherheiten und Analyse der Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses (E7).

© RAABE 2024

Erklärung zu den Symbolen

 einfaches Niveau

 mittleres Niveau

 schwieriges Niveau

Hinweise

Lernvoraussetzungen

Die Lernenden haben bereits gute Kenntnisse über den Aufbau des Universums sowie über die Entfernungsbestimmung über die jährliche Parallaxe. Sie beherrschen mathematische Grundlagen wie Grad- und Bogenmaß eines Winkels und Grundlagen der Trigonometrie. Die Lernenden können die Begriffe scheinbare und absolute Helligkeit von Sternen einordnen. Sie kennen Cepheiden-Veränderliche und Supernovae und wissen, was der Doppler-Effekt aussagt. Ihre Klasse hat einen sicheren Umgang mit dem Taschenrechner, auch bei der Bearbeitung komplexer Terme.

Methodisch-didaktische Anmerkungen

Die Materialien **M1**, **M2** und **M3** bestehen aus einem theoretischen Überblick über gängige Messmethoden zur Entfernungsbestimmung und passende Beispiele. Sie können gut im Rahmen einer Lerntheke, dem Austausch in Expertenrunden oder als Hilfestellung zur Bearbeitung der Aufgaben dienen. Material **M4** umfasst viele, differenzierte Aufgaben, die alle gängigen Messmethoden abdecken und gut zum Festigen der gelernten Inhalte dienen. Die Klassenarbeit (**M5**) rundet das Material ab und dient als Lernerfolgskontrolle.

Zusatzmaterialien

Sie finden alle Abbildungen und Grafiken auch zum Download.



VORSCHAU

M1 Die jährliche trigonometrische Parallaxe

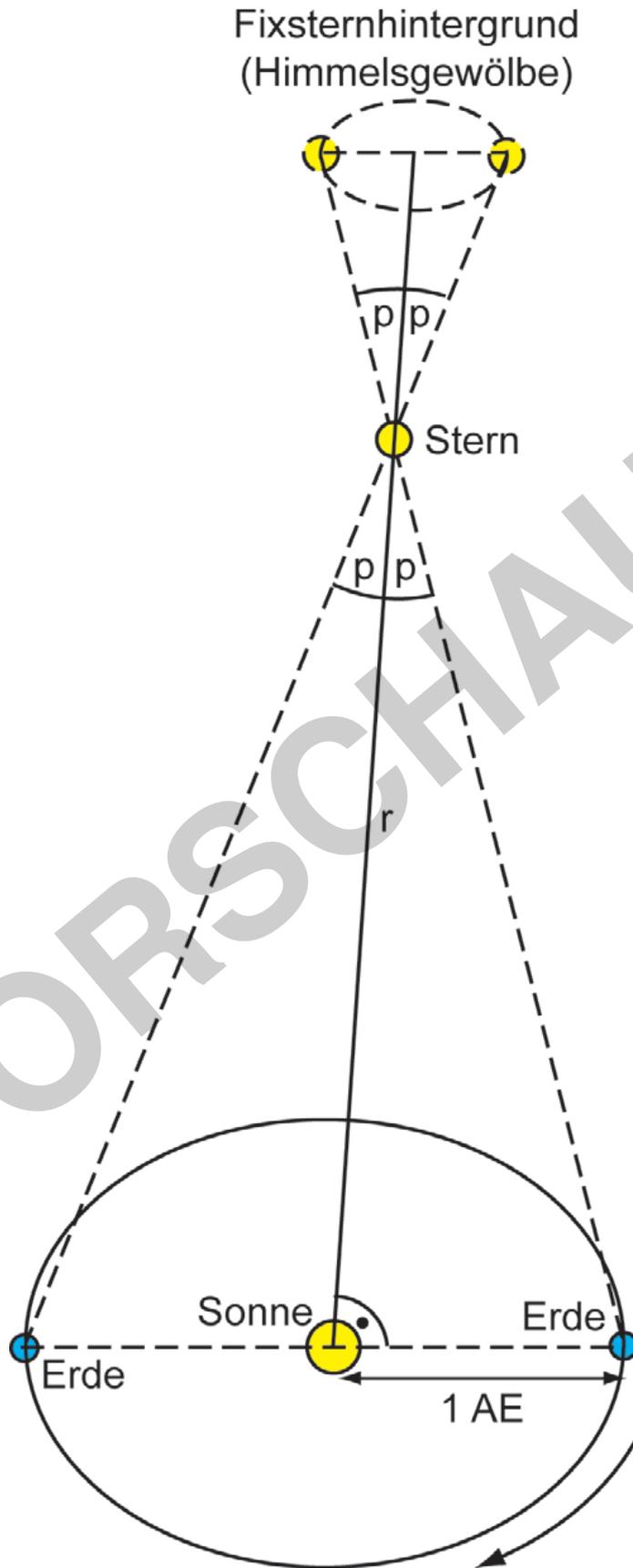
Wie bereits im ersten Teil des Beitrags zur astronomischen Entfernungsbestimmung erklärt, funktioniert die Methode über die Messung der jährlichen Parallaxe mit einfachen Teleskopen gut bis zu einem Abstand von 100 pc, das entspricht einem Abstand von etwa 300 ly. Diese Abstandsbegrenzung liegt vor allem an der turbulenten Lufthülle der Erde. Das heißt, dass sich für Parallaxenwerte kleiner als 0,01“ (0,01 Bogensekunden) die Entfernung nicht mehr gut bestimmen lässt.

Von 46 Sternen, die in einer Entfernung von bis zu 100 ly liegen, kann man also über die jährliche trigonometrische Parallaxe die Entfernung gut bestimmen. Zur Erinnerung: Man bezeichnet den Winkel, unter dem von einem Stern aus der Erdbahnradius erscheint, als jährliche trigonometrische Parallaxe p . Es gilt dann für die Entfernung r :

$$r = \frac{1 \text{ AE}}{p} \quad (p \text{ in Bogenmaß}).$$

Unter Verwendung moderner Teleskope (Weltraumteleskope) bekommt man sogar noch bis ca. 1000 pc, also 3000 ly brauchbare Werte.

Wenn man allerdings daran denkt, dass unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, einen Durchmesser von 100 000 ly hat, sieht man schon, dass diese Methode sich auf relativ wenige Sterne beschränkt.



© RAABE 2024

Grafik: Carlo Vöst



M2 Entfernungsbestimmung über die Helligkeit der Sterne

Die Entfernung vieler Sterne lässt sich über den Vergleich der scheinbaren Helligkeit m eines Sterns mit seiner absoluten Helligkeit M bestimmen. Da bei weit entfernten Objekten die (scheinbare) Helligkeit m gut gemessen werden kann, reicht diese Methode bis zu mehreren 100 Millionen Lichtjahren.

Die scheinbare Helligkeit m

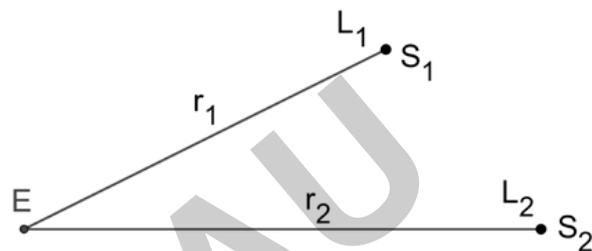
Die scheinbare Helligkeit eines Sternes gibt an, wie hell ein Beobachter auf der Erde diesen Stern wahrnimmt. Sie hängt also von einer Sinnesempfindung, einem Reiz im Auge ab. Diese beobachtete Helligkeit eines Sterns hängt ab von

- der tatsächlichen Gesamtstrahlungsleistung des Sterns (Leuchtkraft L),
- der Entfernung r des Sterns,

deshalb ist die beobachtete Helligkeit eine scheinbare Helligkeit. Das heißt, ein weit entfernter Stern kann aufgrund seiner großen Leuchtkraft heller erscheinen als ein Stern, der näher zu uns liegt, aber lichtschwächer ist. Zum Beispiel Sirius, eigentlich ein Doppelsternsystem im Sternbild „Großer Hund“. Er ist etwa doppelt so weit entfernt wie der erdnächste Stern Alpha Centauri (im Sternbild des Zentauren am Südhimmel), trotzdem ist er der hellste Stern am Nachthimmel (doppelt so hell wie der zweithellste Stern Canopus im Sternbild Kiel des Schiffes am Südhimmel) und besitzt somit eine größere scheinbare Helligkeit (Alpha Centauri ist nur der dritthellste).

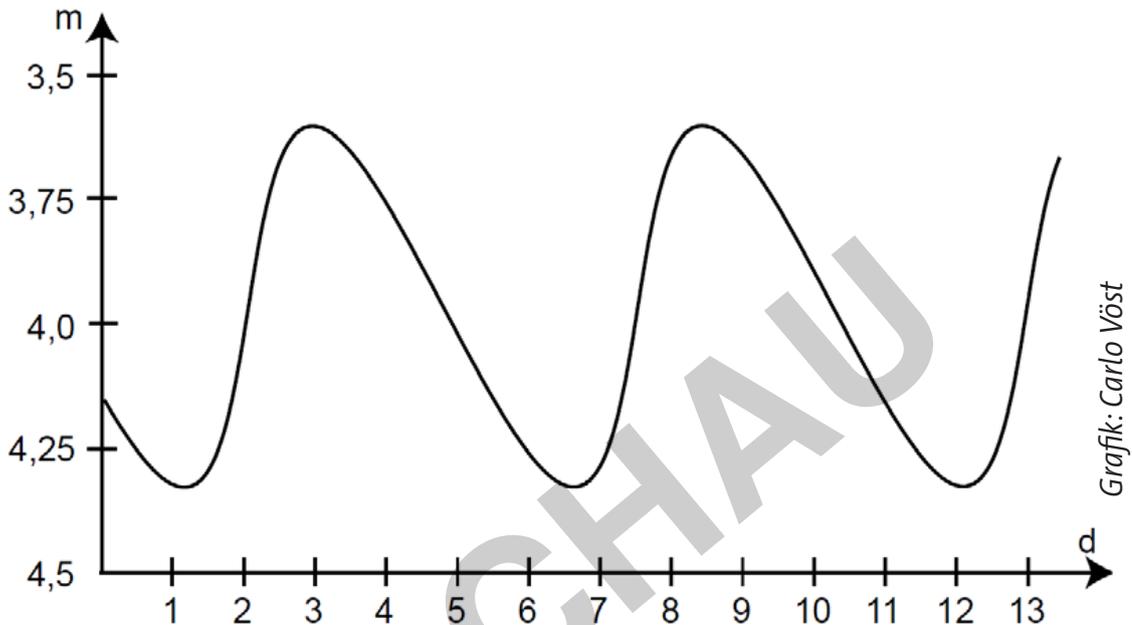
Dies liegt daran, dass Sirius eine viel größere Leuchtkraft besitzt. Wenn man die beiden Sterne auf dieselbe Entfernung bringen würde, wäre Sirius fast 17-mal heller als Alpha Centauri. Seit Hipparch von Nicäa (lebte von ca. 190 v. Chr. bis ca. 120 v. Chr. auf Rhodos) verwendet man als Bezeichnung und Skaleneinheit für die scheinbare Helligkeit die Begriffe Größe oder *magnitudo*, abgekürzt mit *mag* oder *m*.

Hipparch unterschied 6 Helligkeitsklassen, und zwar von 1 („sehr hell“; z. B. Sirius, Wega, Altair) bis 6 („gerade noch sichtbar“; z. B. 61 Cygni im Sternbild Schwan oder der Planet Uranus). Achtung: Je größer die Zahl, umso geringer die Helligkeit. An dieser Helligkeits-



Grafik: Carlo Vöst

6. Delta Cephei ist ein pulsationsveränderlicher Stern im Sternbild Cepheus. Die gemessene scheinbare Helligkeit von Delta Cephei schwankt periodisch (siehe Diagramm).
- Berechnen** Sie die (mittlere) absolute Helligkeit von Delta Cephei. Entnehmen Sie benötigte Daten dem Diagramm.
 - Berechnen** Sie die Entfernung von Delta Cephei.



© RAABE 2024

- 7.
- Im Jahr 1994 beobachtete man in der Galaxie NGC 4526 eine Supernova vom Typ Ia. Sie erreichte eine scheinbare Helligkeit von 11,8 mag. **Berechnen** Sie die Entfernung von NGC 4526.
 - Große Teleskope können noch Objekte mit einer scheinbaren Helligkeit von 22^m erkennen. **Berechnen** Sie, bis zu welchem Abstand man mit einem großen Teleskop die Entfernung von Galaxien mithilfe von Supernovae des Typs Ia bestimmen kann.
- 8.
- Bei sehr weit entfernten Galaxien versagt die Entfernungsbestimmung mit der Cepheidenmethode. **Nehmen** Sie **Stellung**, warum dies so ist.
 - Bei sehr weit entfernten Galaxien wertet man deren Spektren aus. **Erklären** Sie, welche Messungen durchgeführt werden müssen und wie man daraus die Entfernung ermitteln kann.