Astronomische Entfernungsbestimmungen I – Sonnensystem

Carlo Vöst

© buradaki/iStock/Getty Images Plus

In diesem Unterrichtsmaterial werden Entfernungen innerhalb des Sonnensystems untersucht. Gehen Sie mit Ihrer Klasse auf Raumfahrt und vermitteln Sie ihr ein astronomisches Gefühl für die gigantischen Dimensionen des Universums. Die Schülerinnen und Schüler erkennen die entscheidende Bedeutung des dritten Gesetzes von Kepler bei der Bestimmung der Entfernung zwischen den Planeten und üben anschließend das neue Wissen anhand einer Reihe von Beispielen ein. Eine Lernerfolgskontrolle rundet die Einheit ab.

Astronomische Entfernungsbestimmungen I – Sonnensystem

Oberstufe (einführend bis weiterführend)

Carlo Vöst

Die Schülerinnen und Schüler lernen:

welche besonderen Längeneinheiten nötig sind, um in der Astronomie handliche Benennungen für Distanzen zu erhalten, die an die unterschiedlichen Entfernungen angepasst sind. Die Lernenden bekommen bei der Bestimmung der Entfernungen der Erde zum Mond bzw. zur Sonne einen Überblick, wie sich im Verlauf der Jahrhunderte die Ideen und Methoden der Menschen entwickelt haben, um auf vernünftige Werte für diese Distanzen zu kommen.

Überblick:

Legende der Abkürzungen:
AB Arbeitsblatt **LEK** Lernerfolgskontrolle

Thema	Material	Methode
Entfernungsbestimmung	M1	AB
Bestimmung der Entfernung Erde–Mond	M2	AB
Bestimmung der Entfernung Erde–Sonne	M3	AB
Bestimmung der Entfernung Erde–Planet	M4	AB
Aufgaben	M5	AB
Klassenarbeit	M6	LEK

Kompetenzprofil:

Inhalt: Astronomische Entfernungsbestimmung, astronomische Längeneinheiten, Bestimmung der Entfernungen der Erde zu Mond, Sonne und den Planeten unter Berücksichtigung der historischen Entwicklung

Medien: TR

Kompetenzen: Erklären von Phänomenen unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien (S1), Erklären bekannter Messverfahren (S5), Anwenden bekannter mathematischer Verfahren auf physikalische Sachverhalte (S7), Identifizieren und Entwickeln von Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten (E1), Beurteilen der Eignung von physikalischen Modellen und Theorien für die Lösung von Problemen (E8)

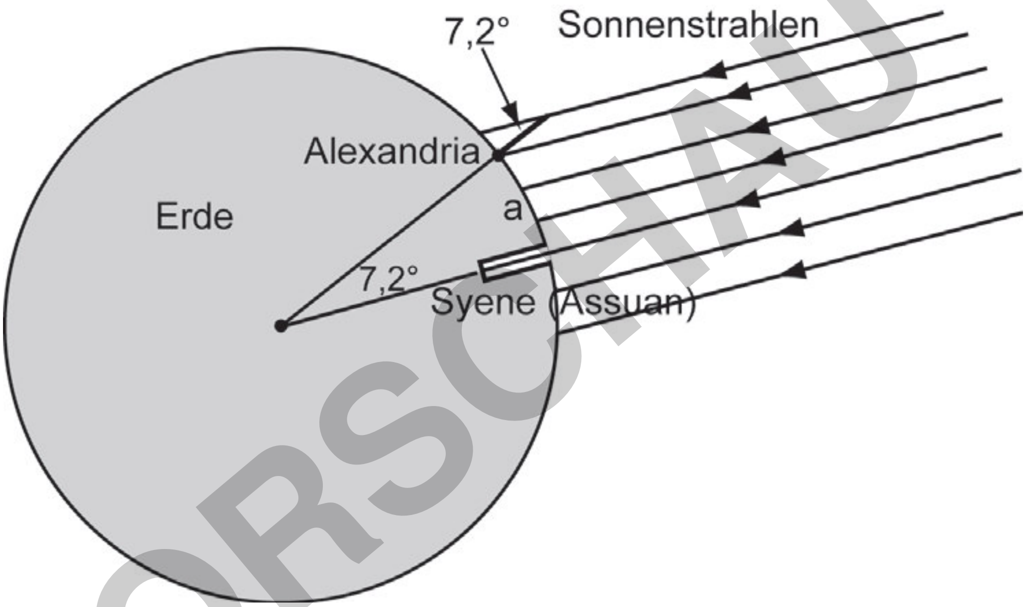
Erklärung zu den Symbolen

einfaches Niveau — mittleres Niveau — schwieriges Niveau

Erathosthenes von Kyrene (276–194 v. Chr.)

Eratosthenes berechnete als erster den Erdradius (und damit auch den Erdumfang), was für spätere Entfernungsbestimmungen nicht nur zum Mond, sondern auch zu anderen Himmelskörpern grundlegend war.

Eratosthenes war bekannt, dass die Entfernung, der auf demselben Längengrad liegenden Städte Alexandria, wo er als Bibliothekar arbeitete, und Syene (heute: Assuan) a = 5000 Stadien betrug (1 Stadion entspricht ca. 157,5 m). Er wusste aus seiner umfangreichen Bibliothek, dass zur Sommersonnenwende (21. Juni) die Sonne in Assuan mittags im Zenit steht (so wurde dort mittags der Boden eines Brunnens erleuchtet).



Skizze: Carlo Vöst

Zur gleichen Zeit stand die Sonne in Alexandria nicht im Zenit. Eratosthenes bestimmte aus der Schattenlänge eines Stabes, der in Alexandria senkrecht zum Boden stand, den Winkel, welche die Sonnenstrahlen mit dem Stab bildeten mit 7,2°.

Eratosthenes setzte folgenden Dreisatz an (R_E: Erdradius):

$$\frac{\overbrace{2\pi \cdot R_E}^{\text{Erdumfang}}}{360°} = \frac{\overbrace{a}^{\text{Entfernung Alexandria–Syene}}}{7{,}2°} \Leftrightarrow R_E = \frac{360°}{7{,}2°} \cdot \frac{5000 \cdot 157{,}5\ \text{m}}{2\pi} = 6267\ \text{km}\,.$$

Dies war ein ausgezeichneter Wert, wenn man bedenkt, dass der heute bekannte Wert für den Erdradius 6371 km ist.

Lösungen

Lösungen (M5)

1. Dem Material **M1** können die folgenden Werte entnommen werden:

$$1\text{ ly} = 9{,}46085039 \cdot 10^{15}\text{ m} \text{ und } 1\text{ AE} = 149597870700\text{ m} \text{, also}$$

$$\frac{1\text{ ly}}{1\text{ AE}} = \frac{9{,}46085039 \cdot 10^{15}\text{ m}}{149597870700\text{ m}} \Leftrightarrow 1\text{ ly} = \frac{9{,}46085039 \cdot 10^{15}\text{ m}}{149597870700\text{ m}} \cdot 1\text{ AE} = 63241{,}9\text{ AE}.$$

2. Für die Entfernung e von der Erde zum Mond gilt $e = c \cdot \frac{t}{2}$. Eingesetzt ergibt sich

$$e = 299792458\text{ m/s} \cdot \frac{2{,}564440764\text{ s}}{2} = 384400000\text{ m} = 384400\text{ km}.$$

3. Für die Entfernung r des Sirius gilt

$$r = \frac{1}{0{,}3745}\text{ pc} = 2{,}67\text{ pc} \overset{1\text{ pc} = 3{,}26\text{ ly}}{=} 8{,}7\text{ ly}.$$

4. Im Viereck LESM beträgt die Winkelsumme 360°.

$$(180° - \alpha_2) + \varphi_L + \varphi_S + (180° - \alpha_1) + \beta_1 + \beta_2 = 360°$$

$$\Leftrightarrow \beta_1 + \beta_2 = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi_L - \varphi_S \quad (1.1).$$

Sinussatz im Dreieck EMS ergibt $\frac{\sin\beta_1}{\sin(180° - \alpha_1)} = \frac{R_E}{e} \overset{\sin(180° - \varepsilon) = \sin\varepsilon}{\Leftrightarrow} \frac{\sin\beta_1}{\sin\alpha_1} = \frac{R_E}{e}$.

Wegen der großen Entfernung zum Mond lässt sich im Bogenmaß ohne großen Fehler die Näherung $\sin\beta_1 \approx \beta_1$ durchführen. Daraus folgt: $\beta_1 = \frac{R_E}{e} \cdot \sin\alpha_1$.

Analog ergibt der Sinussatz im Dreieck ELM

$$\frac{\sin\beta_2}{\sin(180° - \alpha_2)} = \frac{R_E}{e} \overset{\sin(180° - \varepsilon) = \sin\varepsilon}{\Leftrightarrow} \frac{\sin\beta_2}{\sin\alpha_1} = \frac{R_E}{e};$$

Damit ergibt sich $\beta_2 = \frac{R_E}{e} \cdot \sin\alpha_2$.

In (1.1) eingesetzt (Winkel im Bogenmaß) erhalten wir

$$\frac{R_E}{e} \cdot \sin\alpha_1 + \frac{R_E}{e} \cdot \sin\alpha_2 = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi_L - \varphi_S$$

$$\overset{\cdot e}{\Leftrightarrow} R_E \cdot \sin\alpha_1 + R_E \cdot \sin\alpha_2 = e \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 - \varphi_L - \varphi_S) \Leftrightarrow e = R_E \cdot \frac{\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 - \varphi_L - \varphi_S}$$

.