

I.G.10

Praktische Übungen zur Astronomie

Der Asteroid Apophis

Matthias Penselin, Heidelberg

Illustrationen von: Stefan Völker und Dr. Wolfgang Zettlmeier



© Foto: Eric Poisel

Es ist gar nicht so selten, dass kleinere Gesteinsbrocken aus dem All auf die Erde treffen und sogar die Erdoberfläche erreichen. Am 06.04.2002 gingen kleine Bruchstücke eines Asteroiden in der Nähe von Füssen zu Boden. Kann man vorhersagen, wann ein Asteroid auf die Erde trifft? Dazu muss man nicht nur messen, in welcher Richtung der Asteroid zu sehen ist, man muss auch seine Entfernung kennen. Wie kann man überhaupt Entfernungen in der Astronomie messen? Welche Folgen hätte es, wenn ein größerer Asteroid die Erde treffen würde? Ihre Schüler stellen Entfernungen anschaulich dar und werten Aufnahmen des Asteroiden Apophis aus, um die Entfernung des Asteroiden zur Erde zu bestimmen.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe/Lernjahr: 10 (G8)

Dauer: 5–10 Unterrichtsstunden

Kompetenzen: 1. Sinussatz als Werkzeug zur Berechnung fehlender Seiten im Dreieck; 2. Anwendung des Sinussatzes in der Astronomie zur Entfernungsbestimmung; 3. Folgen eines Asteroideneinschlags auf der Erde; 4. Wie viele gefährliche Asteroiden kennen wir und können wir die Gefahr aus dem All abschätzen? 5. Ihre Schüler verwenden Messwerte aus digitalen Bilddateien, um die Entfernung zum Asteroiden Apophis zu berechnen.

Thematische Bereiche: Astronomie

Medien: PC mit Internetzugang

Zusatzmaterialien: 3 Excel-Dateien, 2 Filme, 2 Bilder für die Auswertung

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

1. Entfernungen

Die Entfernung zum Mond ist gleich $3,844 \cdot 10^8$ m, die Entfernung zu weit entfernten Galaxien kann von der Größenordnung 10^{25} m sein. Dies sind Zahlen, die Ihren Schülern nichts Anschauliches sagen, und der Wissenschaftler ist mit den reinen Zahlen in Metern auch nicht wirklich glücklich. Es ist geschickter, Entfernungen in Zeiten auszudrücken, weil wir ein Gefühl für eine Sekunde, aber auch für hundert Jahre haben. Glücklicherweise ist der Mond etwa eine Lichtsekunde von der Erde entfernt. In dieser Einheit entspricht die kürzeste Zeit, für die wir ein gutes Gefühl haben, der kürzesten wichtigen astronomischen Entfernung. Längere Zeiten werden anschaulich durch den Vergleich mit geschichtlichen Daten: die Kultur in Ägypten ist 4000 Jahre alt. Und noch längere Zeiten können wir vergleichen mit erdgeschichtlichen Daten: vor 50 Millionen Jahren waren die Dinosaurier bereits ausgestorben, die ältesten Hinweise auf den Homo sapiens stammen von vor 300 000 Jahren. Wir sehen also die Galaxie M51 heute so, wie sie aussah, als auf der Erde die Dinosaurier ausgestorben waren, aber noch lange keine Menschen lebten. Der letzte Maßstab zur Veranschaulichung astronomischer Entfernungen mag das Alter der Erde selbst sein: weit entfernte Galaxien sind so weit entfernt, dass das Licht vor Entstehung der Erde ausgesendet werden musste, damit es heute bei uns ankommen kann.

Man nennt daher ein Lichtjahr diejenige Strecke, welche das Licht in einem Jahr zurücklegt. Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit selbst ist nicht Thema dieser Unterrichtseinheit.

Für die Umrechnung von Entfernungen in Metern in Zeiten muss den Schülern die Gleichung $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{s}{t}$ geläufig sein. Es muss genug Bruchrechnung angelegt sein, so dass nach t aufgelöst werden kann. Es sollten Grundkenntnisse im Umgang mit **Excel** oder **GeoGebra** oder einem ähnlichen Programm vorhanden sein, um die immer gleiche Umrechnung für viele Objekte in einer Tabellenkalkulation effizient in einem Zug durchführen zu können.

2. Messung von Entfernungen

In der Landvermessung erfreut sich das **Vorwärtseinschneiden** großer Beliebtheit: von einer durch Messpunkte markierten Basisstrecke \overline{AB} aus, deren Länge bekannt ist, wird ein vor der Basisstrecke liegender Punkt P (Abb. 2) eingemessen, indem die Winkel α und β gemessen werden.

Im Prinzip könnte man dies in die Astronomie übertragen: A und B sind zwei verschiedene Beobachtungsstandorte, deren Abstand bekannt ist, und im Punkt P ist das Objekt, zu dem die Entfernung bestimmt werden soll.

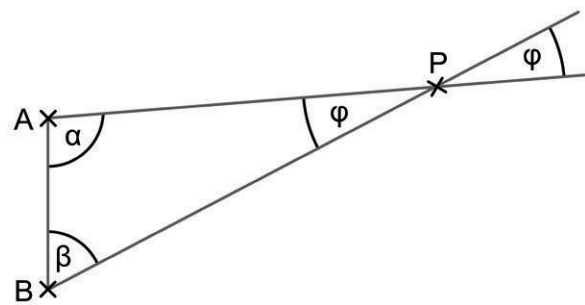


Abb. 2: Bestimmen der Entfernung des Punkts P

Dies führt in der Astronomie aber generell zu falschen Ergebnissen, weil die Basisstrecken im Vergleich zu den Entfernungen sehr klein sind und die zugehörigen Parallaxen φ deshalb ebenfalls klein sind.

Auf einen Blick

1./2. Stunde

- Thema:** Einführung in die Astronomie
- M 1 (Ab)** **Entfernungen in Lichtzeiten umrechnen**
- Hausaufgabe:** Das Arbeitsblatt **M 1** zu Hause durchlesen
- Benötigt:**
- Computerraum/PCs mit Internetzugang
 - Tabellenkalkulation
 - ggf. Wandfarbe
 - Internetzugang
 - ggf. Maßband
 - ggf. Absprache mit Schulleiter

3. Stunde

- Thema:** Wiederholung der mathematischen Grundlagen
- M 2 (Ab)** **Zum Sinussatz**
- Hausaufgabe:** Im Mathematik-Lehrbuch das entsprechende Kapitel wiederholen
- Benötigt:**
- Geodreieck
 - Taschenrechner
 - Bleistift etc.

4.–9. Stunde

- Thema:** Der Asteroid Apophis
- M 3 (Ab)** **Den Asteroiden Apophis kennenlernen**
- Benötigt:**
- Computerraum/PCs mit Internetzugang
 - Programm IrfanView
- M 4 (Ab)** **Der Abstand zu Apophis**
- Benötigt:**
- Straßenkreide
 - Schnur
 - Computerraum/PCs mit Internetzugang
 - Stativfüße mit Stangen
 - Fotoapparat mit Speicherkarte
 - GeoGebra

M 5 (Ab) Den Asteroiden Apophis untersuchen

- Benötigt:**
- Computerraum/PCs mit Internetzugang
 - Material für Plakate
 - Drucker für die Bilder der Plakate
-

10./11. Stunde

Thema: Auswertung der Messergebnisse

M 6 (Ab) Der Pixelmaßstab

- Benötigt:**
- Computerraum/PCs mit Internetzugang
 - Programm IrfanView
 - Taschenrechner
 - Zeichenwerkzeug (Geodreieck etc.)

M 7 (Ab) Die Parallaxe des Asteroiden Apophis

- Benötigt:**
- OH-Projektor bzw. Beamer/Whiteboard
 - Computerraum/PCs mit Internetzugang
 - Abb. 14 und Abb. 15
 - Programm IrfanView
 - Taschenrechner

M 8 (Fo) Der Asteroid Apophis – Farbfolie**Minimalplan**

Wie unter „Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts beschrieben“ kann man ab Klasse 8 die Materialien **M 1**, **M 3** und **M 5** einsetzen.

M 1



Entfernungen in Lichtzeiten umrechnen

Die Sonne ist von der Erde 149,6 Millionen Kilometer entfernt. Ist das viel oder wenig? Wie weit ist die Galaxie M51 im Bild rechts von uns entfernt? Uns fehlt ein Vergleich. Wir rechnen daher Entfernungen um in Zeiten: Wie lang benötigt das Licht, bis es von der Erde bis zur Sonne gekommen ist? Wie lange benötigt es, um von M51 bis zu uns zu kommen?



Foto: Eric Poisel

Abb. 4: M51

Aufgaben

1. Die Lichtgeschwindigkeit c beträgt $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Löse die Formel $c = \frac{s}{t}$ nach t auf und berechne

die Zeit t , die das Licht für den Weg s von der Erde zur Sonne benötigt.

2. Wenn wir die Sonne von der Erde aus beobachten, sehen wir die Sonne also nicht so, wie sie im Moment der Beobachtung aussieht, sondern so, wie sie vor acht Minuten ausgesehen hat. Recherchiere im Internet Entfernungen zu den folgenden Objekten in Kilometern: Mond (Entfernung zur Erde), Mars (Entfernung zur Sonne), Jupiter (Entfernung zur Sonne), Pluto (Entfernung zur Sonne), Proxima Centauri, Zentrum der Milchstraße, Galaxie M31 im Sternbild Andromeda, Galaxie M51, Coma-Galaxienhaufen, Galaxie MACS1149-JD. Trage Namen und Entfernungen in zwei Spalten einer Exceltabelle ein.
3. Rechne in einer weiteren Spalte in Excel die Zeiten aus, die das Licht vom Objekt bis zu uns benötigt. Rechne die Entfernung zu Mars, Jupiter und Pluto in einer weiteren Spalte in Minuten um, zu den anderen Objekten in Jahren. Vermerke jeweils die verwendete Einheit.
4. Recherchiere für einen Planetenweg die Abstände der Sonne zu allen acht Planeten unseres Planetensystems und lege dazu ein neues Excelfile an. Welche Länge hat der längste Flur in deiner Schule? Miss mit einem Maßband. Teile die Abstände der Planeten zur Sonne durch 13 Milliarden. Passen diese Abstände in den längsten Flur? Entscheide, welche Objekte vom Abstand her im längsten Flur dargestellt werden sollen und ändere gegebenenfalls die Abstände ab. Um zu testen, welcher Maßstab welche Entfernungen im Flur bewirkt, kannst du in deinem Excelfile eine weitere Spalte anlegen.
5. Überlege, wie du Modelle der Planeten anfertigen kannst und welche Größe sie haben sollen, eventuell musst du für die Größe der Planeten einen anderen Maßstab wählen. Welchen? Wie kann man die Oberflächen der Planetenmodelle gestalten? Spreche mit der Schulleitung, ob ihr in dem Flur die Modelle aufstellen dürft.
6. In Aufgabe 3 hat sich herausgestellt, dass wir manche Objekte jetzt so sehen, wie sie vor langer Zeit ausgesehen haben, weil das Licht erst vom Objekt bis zu uns kommen muss. Dies gilt für das Zentrum der Milchstraße und in noch viel erheblicherem Umfang für alle Objekte, die noch weiter von uns entfernt sind. Recherchiere zu diesen Objekten aus Aufgabe 2, wie es auf der Erde aussah, als das Licht ausgesendet wurde, welches wir jetzt sehen. Du kannst Bilder von den Objekten und Illustrationen zum Aussehen der Erde zur gleichen Zeit nebeneinander aufhängen. Auch hierzu kannst du einen Flur gestalten. Überlege dir, welche Zeit welcher Abstand sein soll.

M 3

Den Asteroiden Apophis kennenlernen

Als der Asteroid Apophis von Roy Tucker, David J. Tholen und Fabrizio Bernardi am 19. Juni 2004 entdeckt wurde, befürchtete man, er könne auf die Erde stürzen. Wir beschäftigen uns mit diesem Asteroiden: wie kann man ihn beobachten? Wie bestimmen wir seine Entfernung zur Erde? Welche Folgen würde es haben, wenn er tatsächlich mit der Erde zusammenstößt? Müssen wir immer noch befürchten, dass er die Erde trifft?

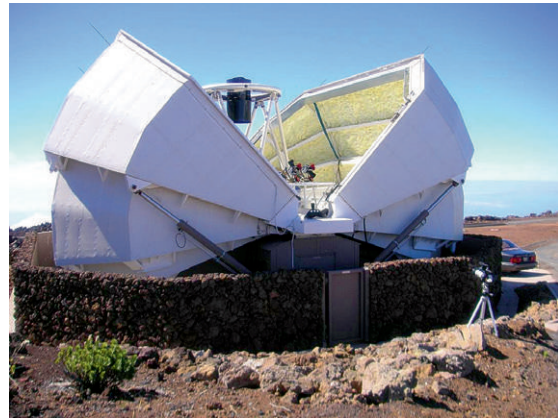


Foto: Lothar Kurtze

Abb. 8: Faulkes Telescope North

Die im Folgenden verwendeten Aufnahmen wurden am 08.01.2013 zeitgleich mithilfe der Faulkes Telescopes gemacht. Hierbei handelt es sich um zwei große, genau baugleiche Teleskope. Eines steht auf einer Nachbarinsel von Hawaii (FTN = Faulkes Telescope North, Abb. 8), eines in Australien an der Ostküste (FTS = Faulkes Telescope South).

Aufgabe

1. Betrachte Film 1 und Film 2. Beide Filme zeigen einen ähnlichen Himmelsausschnitt, identifiziere gleiche Sterne in beiden Filmen anhand der Sternmuster. Die Filme wurden am 08.01.2013 kurz vor 12 Uhr Universal Time gemacht, Film 1 von Australien aus, Film 2 von Hawaii aus. Die „Filme“ zeigen nacheinander alle Aufnahmen, die von den Teleskopen im Verlauf einer halben Stunde von Apophis gemacht werden konnten. Öffne „IrfanView“ 2-mal. Verschiebe die Fenster so, dass du beide Filme gleichzeitig betrachten kannst. Beschreibe deine Beobachtungen.

2. Gehe zu einem Fenster und blicke hinaus, strecke deinen Daumen aus und betrachte ihn und den entfernten Hintergrund draußen gleichzeitig, einmal mit dem linken Auge, dann mit dem rechten Auge. Es hilft, wenn man mit der zweiten Hand abwechselnd ein Auge zuhält. Wiederhole den Versuch, diesmal soll sich der Daumen wesentlich näher an den Augen befinden. Beschreibe alle deine Beobachtungen.

3. Übertrage auf die Beobachtung von Apophis (Abb. 9): Was sind die Augen, was ist der Daumen und was ist der weit entfernte Hintergrund?

Den Effekt, dass ein Gegenstand vor dem Hintergrund zu springen scheint, wenn man ihn aus zwei verschiedenen Richtungen ansieht, nennt man **Parallaxe**. Die Parallaxe ist umso größer, je näher der Gegenstand ist. Dies ermöglicht es, die Entfernung zu Apophis zu berechnen und in der Folge zu wissen, welche Bahn er in der Zukunft haben wird und ob er auf die Erde trifft.



Foto: M. Penselin

Abb. 9: Modellversuch Parallaxe von Apophis;

Voyagersicht

Der Abstand zu Apophis

M 4

Wir blicken von den beiden Faulkes-Teleskopen in den Punkten A und B auf Apophis im Punkt P und kennen den Abstand der Teleskope \overline{AB} und die Winkel α und φ (Abb. 10) :

Hierbei ist φ die Parallaxe, der Winkel zwischen den beiden Blickrichtungen von der Erde aus auf Apophis. Diesen Winkel kann man aus den Bildern bestimmen, die in M 3 als Filme verwendet wurden, er ergibt sich aus dem Sprung der Bahn von Apophis von Film 1 nach Film 2.

Wir stellen diese Situation auf dem Schulhof nach:

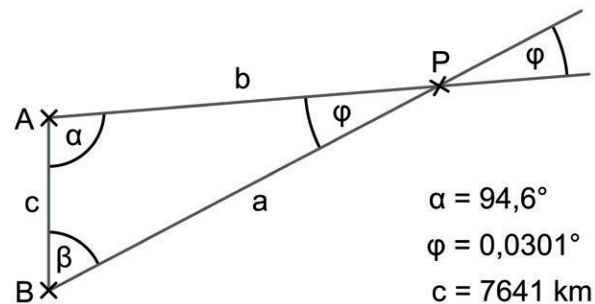


Abb. 10: Blick auf Apophis im Punkt P

Aufgaben

1. Markiere mit Straßenkreide die Punkte A, B und P. Wähle \overline{AB} gleich 2 m und den Abstand zu P möglichst groß, sodass sich ein sehr spitzwinkliges Dreieck ergibt wie in der Wirklichkeit auch.
2. Stelle auf jede Markierung einen Stativfuß mit Stange, so dass die Stangen genau über der Markierung sind. Verbinde die Stangen mit einer Schnur.
3. Mache an den Punkten A und P ein Foto der Stativstangen mit der Schnüre möglichst genau senkrecht von oben.
4. Füge eines der beiden Bilder in GeoGebra ein und stelle die Deckkraft des Bildes auf 50 %. Lege nun einen mit GeoGebra gezeichneten Winkel möglichst genau auf den fotografierten Winkel und ermittle so die Größe des Winkels in Grad (siehe Abb. 11). Wiederhole das gleiche Verfahren für das zweite Bild.
5. Berechne die Strecke \overline{BP} aus \overline{AB} und den Winkeln α und φ .
6. Miss die Strecke \overline{BP} auf dem Schulhof mit einem Maßband und vergleiche mit dem Ergebnis aus Aufgabe 5.
7. Am 08.01. 2013 zum Zeitpunkt der Aufnahme der Bilder von Apophis war die Parallaxe gleich $0,0301^\circ$, der Winkel α gleich $94,6^\circ$.

Der Abstand der beiden Teleskope (die gerade Verbindung, nicht der Weg längs der Erdoberfläche) ist gleich 7641 km. Berechne den Abstand von Apophis zur Erde zu diesem Zeitpunkt.

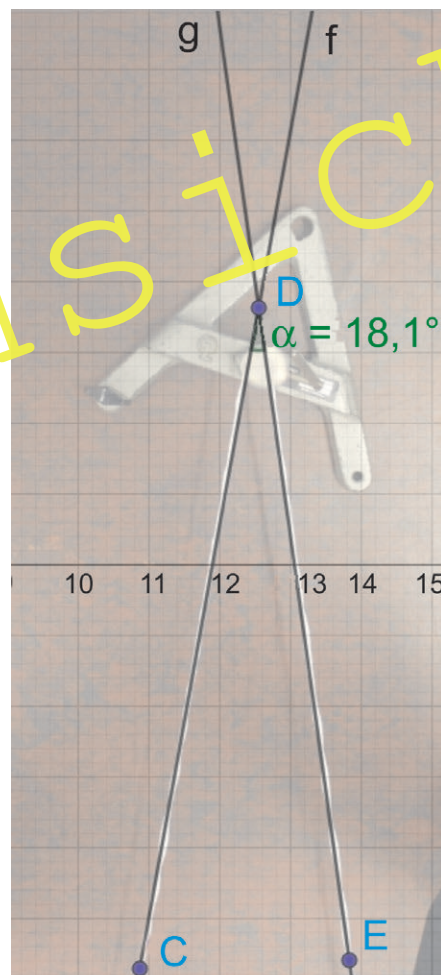


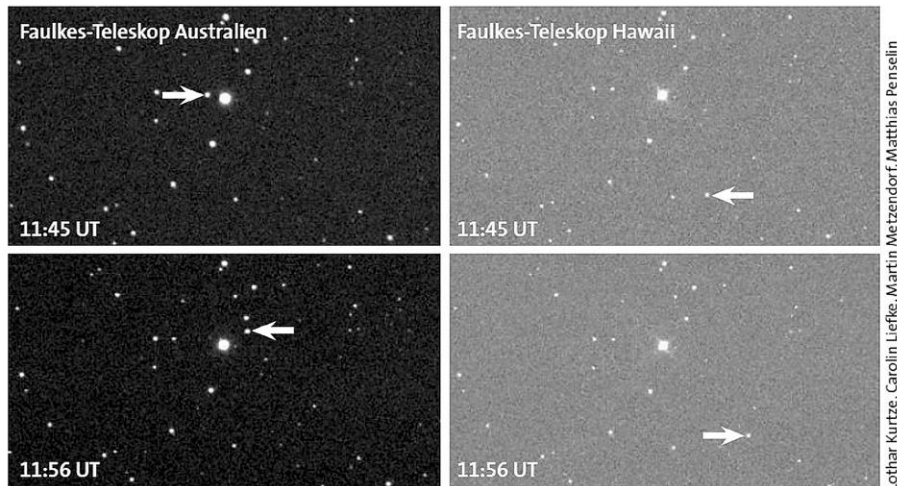
Abb. 11: Auswertung des Fotos mit GeoGebra.

Foto: M. Penselein

Der Pixelmaßstab

M 6

Die Bildmontage (Abb. 13) zeigt den Asteroiden Apophis vor dem gleichen Fixsternmuster an vier verschiedenen Positionen, weil Apophis sich in nur 11 Minuten bereits erheblich durchs Gesichtsfeld bewegt und weil die linken Aufnahmen in Australien, die rechten dagegen von Hawaii aus gemacht wurden.



Wir messen die Position von Apophis in den beiden Aufnahmen von 11:45 Uhr Universal Time (das ist die unter Astronomen als weltweiter Standard vereinbarte Zeit) bezüglich eines geeignet gewählten Sterns, wir nennen ihn einfach Stern 1. Wir notieren, wie weit wir in beiden Bildern in Pixeln waagrecht (x-Richtung) und senkrecht (y-Richtung) laufen müssen, um zum Beispiel von Stern 1 zu Apophis zu kommen. Das Ergebnis ist ein Vektor. Vektoren beschreiben effizient Verschiebungen. Um den Vektor zu bekommen, der die Verschiebung von Apophis zwischen den beiden Bildern beschreibt, müssen wir die Differenz dieser Vektoren berechnen. Der Betrag dieses Vektors ist die Länge des Versatzes von Apophis in Pixeln im Bild; wenn wir wissen, wie viel Grad am Himmel einem Pixel entspricht, können wir ausrechnen, um welchen Winkel Apophis parallaktisch verschoben erscheint.

Aufgaben

1. Beide Faulkes-Teleskope haben eine Brennweite von 18 300 mm. Beide Kameras haben Pixel mit einer Kantenlänge von $27 \mu\text{m}$. Wenn sich ein astronomisches Objekt der Größe G im Abstand g von der Erde befindet, schließen die Sichtlinien zu den Rändern des Objekts einen Winkel φ ein. Leite aus einer Skizze eine Formel zur Berechnung von φ aus G und g ab.
2. Für Fotoapparate und Fernrohre, welche fotografieren, kann man die Bildweite b durch die Brennweite f ersetzen. Es gilt also:

$$\frac{G}{g} = \frac{B}{f}$$

Ersetze in der Formel aus 1. die unbekanntenen Größen G und g , wenn wir Apophis fotografieren, durch die bestimmbareren Größen B und f . Berechne den Winkel φ_p , welcher einem Objekt entspricht, das auf einem Bild der Faulkes-Teleskope ein Pixel groß ist, in Grad und in Bogensekunden auf fünf geltende Ziffern. Wenn man in einem Bild der Faulkes-Teleskope einen Abstand B in Pixeln ausmisst, kann man den entsprechenden Winkel am Himmel berechnen mit $\varphi = \varphi_p \cdot B$.

Der Asteroid Apophis – Farbfolie

M 8

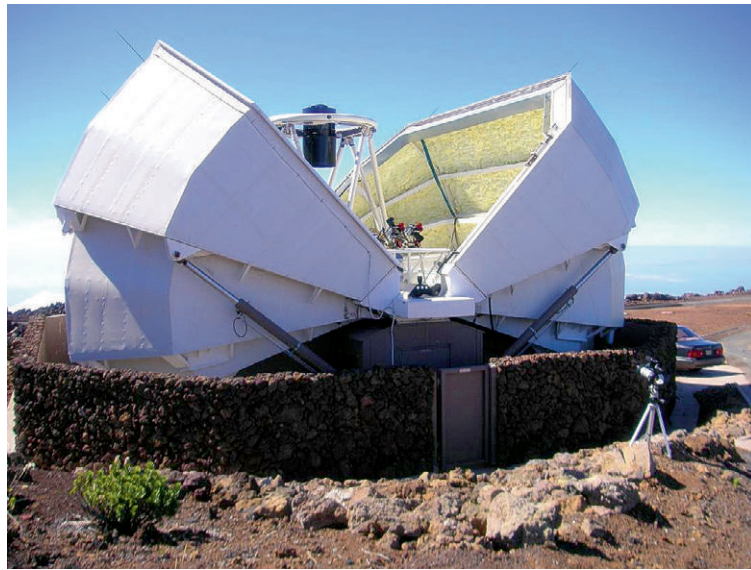


Foto: Lothar Kurtze

Abb. 16: Faulkes Telescope North

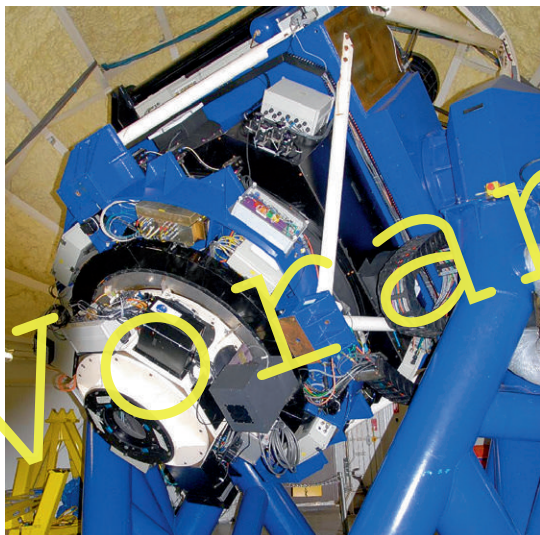


Foto: Lothar Kurtze

Abb. 17: Faulkes Telescope Project

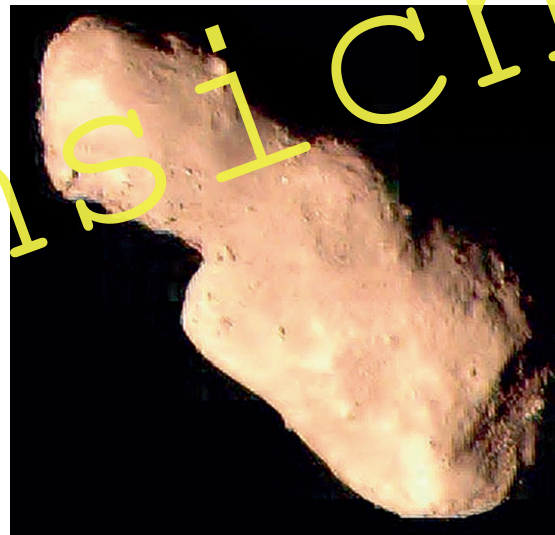


Abb. 18: Der Asteroid Toutatis fotografiert von der chinesischen Raumsonde Chang'e-2

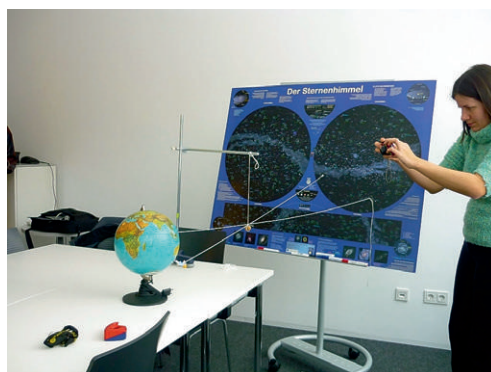


Foto: M. Pensein

Abb. 19: Modellversuch Parallaxe von Apophis

Voransicht

Erläuterungen und Lösungen

M 1 Entfernungen in Lichtzeiten umrechnen

Wichtig auf der inhaltlichen Ebene sind vor allem die Aufgaben 1 bis 3, um ein Gefühl für die Abstände zu bekommen, die für die Astronomie relevant sind. Die weiteren Aufgaben sind Anregungen für Projekte, die dann viel Unterrichtszeit beanspruchen. Der Autor hatte vor einigen Jahren eine engagierte Gruppe von Schülern, welche am Schuljahresende statt Schulfest die Schule anmalen wollte. Der Autor und die Schüler haben damals tatsächlich viele Klassenzimmer und Flure neu gestaltet. Der Autor hat mit einer Gruppe von gut 10 Schülern, die sich fürs kommende Schuljahr für den Astronomiekurs gemeldet hatten, einen Planetengang gestaltet.

Lösungen (M 1)

$$1. \quad t = \frac{s}{c} = \frac{149,6 \cdot 10^9 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 499 \text{ s} \approx 8 \text{ min}$$

2. und 3.:

Die Lösungen befinden sich in der Exceldatei „Entfernungen in Lichtzeiten“ auf der **CD-ROM 56**.

4. Die Lösungen sind in dem Excelfile „Planung Planetenweg“ auf der **CD-ROM 56**.

5. Am einfachsten ist es, kleine Mengen von farbiger Wandfarbe zu kaufen und mit dieser die Schüler mit kleinen Pinseln die Planeten an die Wand malen zu lassen. Die Absprache mit der Kunstlehrerin ist wichtig. Der Autor hat sich dazu entschieden, auf der Seite des Ganges mit den Abständen im Planetensystem die Größe der Planeten im gleichen Maßstab zu dokumentieren und gegenüber auf der anderen Flurseite in einem stark vergrößerten Maßstab Bilder der Planeten von Hand zu malen.

6. Einige mögliche Ergebnisse der Recherche sind im File „Lichtzeiten und Erdentwicklung“ auf der **CD-ROM 56** genannt.

M 2 Zum Sinussatz

Lösungen (M 2)

1. 6,2 cm in der Zeichnung entsprechen 62 m in der Landschaft.

$$2. \quad \sin(\alpha) = \frac{h}{c} \quad h = c \cdot \sin(\alpha) = 50 \text{ m} \cdot \sin(70^\circ) \approx 47,0 \text{ m}$$

Aus der Zeichnung: 4,7 cm.

$$\sin(\gamma) = \frac{h}{a} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{h}{\sin(\gamma)} = \frac{47,0 \text{ m}}{\sin(50^\circ)} \approx 61,4 \text{ m}$$

Die Rechnung ergibt einen Abstand von 61,4 m. Die Abweichung zur Zeichnung liegt bei einem knappen Millimeter Zeichengenauigkeit.

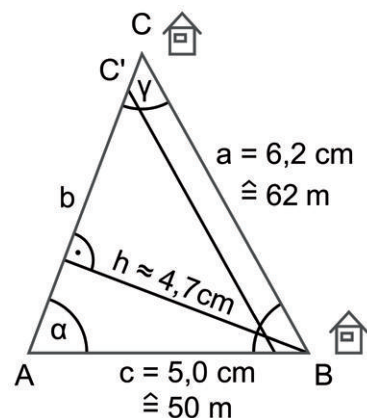


Abb. 20: Bestimmung der Entfernung a