Didaktik der Physik
Frühjahrstagung Kassel 2006

Entdeckungen im Physikunterricht durch Beobachtungen des Himmels

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum, Harsefelder Straße 40, 21680 Stade

Kurzfassung
Viele Schülerinnen und Schüler schätzen anregende astronomische Beobachtungen. Aber können diese auch im Physikunterricht funktional zum Erreichen der Lernziele sein? Hierfür gibt es viele Beispiele [1-3]. Ich stelle hierzu drei erprobte Unterrichtseinheiten vor. Bei einer entdeckten die Schülerinnen und Schüler das newtonsche Gravitationsgesetz, bei einer die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und bei der dritten den Welle – Teilchen – Dualismus.

1. Einleitung

Das newtonsche Gravitationsgesetz, die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit oder der Welle – Teilchen – Dualismus können im Physikunterricht nicht oder kaum experimentell behandelt werden. Himmelsbeobachtungen bieten hier einen Ausweg. Dieser sollte nicht als Notlösung aufgefasst werden. Vielmehr schätzen die Schülerinnen und Schüler eine Bereicherung des Physikunterrichts durch aussagekräftige astronomische Beobachtungen. Hier stelle ich drei Beispiele vor.

2. Entdeckung des newtonschen Graviationsgesetzes

Das Problem erschien den Schülerinnen und Schülern sofort verständlich und interessant: Gesucht ist eine Formel zur Berechnung der Schwerkraft F_S, mit der eine Masse m in einem Abstand r vom Erdmittelpunkt von der Erde angezogen wird. Dabei wollten wir uns im Wesentlichen auf die Beobachtungsmöglichkeiten Newtons beschränken, die ungefähr denen unserer Schulsternwarte entsprechen. Das heißt, der einzige Himmelskörper, dessen Entfernung wir einigermaßen genau bestimmen können, ist der Mond.

Für den Erdboden stellten die Schülerinnen und Schüler sogleich den Term $F_S = m \cdot g(r_E)$ auf, wobei g der Ortsfaktor und r_E der Erdradius ist. Für den Mond mit der Entfernung r_M wurde entsprechend formuliert: $F_S = m \cdot g(r_M)$. Damit war das nächste Ziel klar: Wir wollten die Erdbeschleunigung am Ort des Mondes bestimmen, $g(r_M) = ?$.

Den Schülerinnen und Schülern fiel es nicht schwer festzustellen, dass diese Erdbeschleunigung $g(r_M)$ gleich der Zentripetalbeschleunigung a_Z des Mondes sein muss, zumal sie zuvor die Kreisbewegung behandelt hatten:

$$g(r_M) = a_Z = \omega^2 \cdot r_M = 4\pi^2 \cdot r_M / T^2 \qquad (1)$$

Für die Umlaufdauer des Mondes gab ich T = 27,3 Tage an und für die Bestimmung der Entfernung des Mondes gab ich das Arbeitsblatt 1 aus:

Arbeitsblatt 1: Bestimmung der Entfernung zum Mond

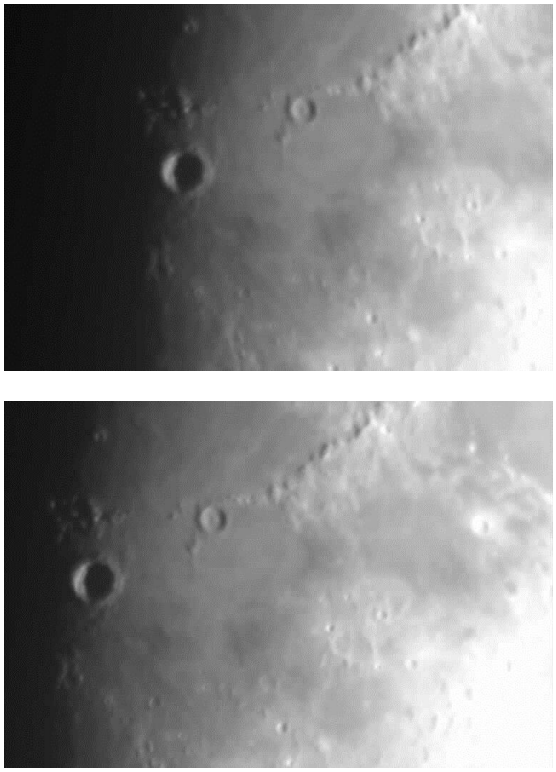

Abb. 1: Die beiden Aufnahmen des Mondes (mit Copernicus, Eratosthenes, Reinhold, Mare Insularum, Sinus Aestuum, Apeninnen und Mare Vaporum) wurden um 19:10 und 19:15 Uhr gemacht, als der Mond genau im Süden Stand (Beobachter: Philipp Hagenah und Christian Carmesin, Sternwarte Athenaeum). Während der Aufnahme lief die Nachführung, d. h. die Kamera wurde mit der Winkelgeschwindigkeit 360°/24h gegen die Erddrehung gedreht, so dass sie immer in die gleiche Richtung zeigte. Der Kraterrand ist im zweiten Bild der Digitalkamera um 35 Pixel weiter links als im ersten.

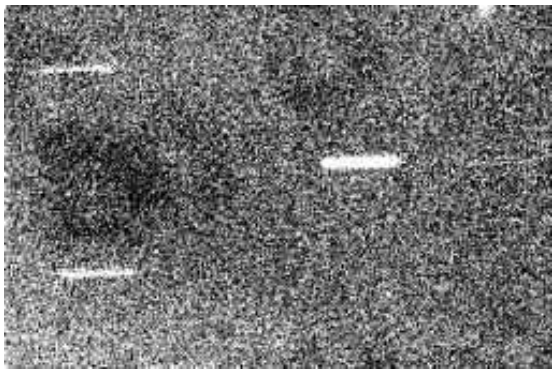

Abb. 2: Bei diesem Foto wurde sechs Sekunden lang ohne Nachführung belichtet. So wurden drei Sterne als Striche der Länge 26 Pixel abgebildet.

1) Deuten Sie die beiden Fotos des Mondes, siehe Abb. 1!
2) Deuten Sie Abb. 2!
3) Bestimmen Sie den Sehwinkel der Kraterverschiebung der beiden Mondfotos und deuten Sie diese!
4) Bestimmen Sie die Entfernung zum Mond!

Hinweise: Die Fotos wurden in der Sternwarte des Athenaeums Stade gemacht. Stade liegt bei 53,5° nördlicher Breite. Der Erdradius beträgt r_E = 6378 km.

Lösung zum Arbeitsblatt 1
Zu Aufgabe 1) stellten die Schülerinnen und Schüler nach einigen Überlegungen fest, dass es hier nur auf die Bewegung innerhalb des Systems Erde Mond ankommt und die Drehung der Erde um die Sonne unwichtig ist. Auch bemerkten sie, dass sich der Mond um die Erde von Westen nach Osten dreht und daher beim Blick nach Süden von rechts nach links wandert und folgenden Sehwinkel zurücklegt: α_{Mond} = 360°·5 min/(27,3·24·60 min) = 0,0458°.

Zu Aufgabe 2) wurde bemerkt, dass die Striche durch die Drehung der Erde um die eigene Achse entstehen und dass dabei folgender Sehwinkel zurückgelegt wird: 360° · 6s / (24 · 3600 s) = 1/40°
Das ergab: 26 Pixel entsprechen 1/40°

Aufgabe 3) wurde mit Hilfe der Ergebnisse aus Aufgabe 2) gelöst:
$\alpha_{Kraterverschiebung}$ = 35/26 · 1/40° = 0,0336°
Hier ergab sich zunächst ein kognitiver Konflikt: Der gemessene Sehwinkel $\alpha_{Kraterverschiebung}$ ist deutlich kleiner als der durch die Drehung des Mondes um die Erde hervorgerufene.
Als Lösung wurde vorgeschlagen: Der Unterschied kommt durch die Bewegung Stades von Westen nach Osten aufgrund der Erddrehung. Dabei legt Stade in 5 min folgende Strecke b zurück:
Radius der Kreisbahn, auf der Stade die Erdachse umläuft: r = r_E · cos(53,5°)
In 5 min zurückgelegter Winkel:
$\alpha = 2\pi \cdot 5$ min/(24·60 min)
Bogenlänge: b = $\alpha \cdot r$ = 82,77 km
Dem entspricht der Sehwinkel:
$\alpha_{Stade} = \alpha_{Mond} - \alpha_{Kraterverschiebung}$ = 0,0122°

Aufgabe 4) wurde mit Hilfe eines gleichschenkligen Dreiecks gelöst.

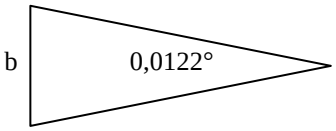

Abb. 3: Entfernungsbestimmung: b: Von Stade zurückgelegter Weg. 0,0122°: Sehwinkeländerung. Die Entfernung $r_M - r_E$ von der Erdoberfläche zum Mond ist die Höhe im gleichschenkligen Dreieck.

Nach Abb. 3 ist:
$r_M - r_E = 0{,}5 \cdot b / \tan(0{,}5 \cdot 0{,}0122°)$ = 388719 km
r_M = 395097 km

Entdeckung der Proportionalität $g(r) \propto 1/r^2$
Um den Schülerinnen und Schülern die dünne Datenbasis Newtons deutlich zu machen, ließ ich $g(r_M)$ ausrechnen, siehe Gl. 1, und die Kenntnisse in eine Wertetabelle eintragen:

r	r_E = 6378 km	r_M = 395097 km
g	9,81 m/s^2	0,00280 m/s^2

Tabelle 1: Die beiden Datenpunkte, mit denen das newtonsche Gravitationsgesetz ursprünglich zu Newtons Zeit sowie im Unterricht entdeckt wurde.

Die Schülerinnen und Schüler hielten es zunächst für unmöglich hier aus zwei Datenpunkten eine Gesetzmäßigkeit herzuleiten. Ich erinnerte daran, dass Newton es trotzdem wagte und bat um Hypothesen zur die Form der gesuchten Funktion g(r). Die Schülerinnen und Schüler vermuteten zunächst, dass g(r) proportional zu 1/r sein könne. Die Untersuchung auf Quotientengleichheit ergab: $g(r_E) \cdot r_E = 62{,}6 \cdot 10^6$ m^2/s^2 und $g(r_M) \cdot r_M = 1{,}1 \cdot 10^6$ m^2/s^2 . Damit war diese Vermutung widerlegt. Es folgte der Vorschlag, dass g(r) proportional zu $1/r^2$ sein könne. Hier ergaben die Quotienten $g(r_E) \cdot r_E^2 = 3{,}99 \cdot 10^{14}$ m^3/s^2 und $g(r_M) \cdot r_M^2 = 4{,}37 \cdot 10^{14}$ m^3/s^2 . Das wurde als Bestätigung akzeptiert.
Aus $g(r_E)$ = 9,81 m/s^2 wurde der Proportionalitätsfaktor bestimmt und die gesuchte Gleichung für die Schwerkraft F_S aufgestellt, mit welcher die Erde eine Masse m im Abstand r vom Erdmittelpunkt anzieht:

$$F_S = m \cdot g(r) = m \cdot 3{,}99 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2 \cdot r^{-2}$$

Entdeckung des Gravitationsgesetzes
Das obige Resultat wurde auf zwei Massen m_1 und m_2 verallgemeinert, die sich in einem Abstand r voneinander befinden. Dazu bemerkten die Schülerinnen und Schüler, dass diese Kraft proportional zu $1/r^2$ sein müsse sowie zur angezogenen Masse m_1. Nach kurzer Überlegung stellten Sie fest, dass die

Kraft ebenso proportional zu m_2 sein müsse, da entsprechend dem zweiten newtonschen Axiom beide Massen hier einander gleichartig anziehen. Auch bemerkten sie, dass die Kraft von keinen anderen Größen abhängen sollte. Die drei Proportionalitäten wurden kombiniert und ich nannte die Bezeichnung Gravitationskonstante G für die Proportionalitätskonstante. Das ergab: $F_S = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$.
G wurde später mit der Gravitationsdrehwaage gemessen.

Diskussion
Diese kurze Unterrichtseinheit habe ich in verschiedenen Varianten in elften Klassen erprobt. An diesem Thema interessiert die Schülerinnen und Schüler, dass es mit dem Weltall, der Schulsternwarte, Newtons Entdeckung, einem tieferen Verständnis der allgegenwärtigen Schwerkraft und lauter selbst oder von Mitschülern gemachten Beobachtungen zu tun hat. So blieb die Aufmerksamkeit trotz der relativ komplexen Vorgehensweise hoch und die Klausurergebnisse waren erfreulich. Das Vorgehen konnte von den Schülerinnen und Schülern weitgehend selbstständig geplant werden. Nur bei der Bestimmung der Entfernung zum Mond fehlten für eigenständige Lösungsstrategien Kenntnisse in Astronomie. Nach kurzen Lernhilfen konnten die Schülerinnen und Schüler aber auch hier selbstständig ihre Entdeckungen machen.

3. Entdeckung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit
Die hier vorgestellte Unterrichtseinheit habe ich in mehreren Leistungskursen für Physik erprobt. Zunächst habe ich die Schülerinnen und Schüler gebeten sich vorzustellen, sie seien auf der Fähre von Wischhafen nach Glückstadt, diese fahre mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h und sie gehen auf der Fähre mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h vom Heck zum Bug. Ich bat sie anzugeben, mit welcher Geschwindigkeit sie sich dann auf Glückstadt zu bewegten. Die Antwort 10 km/h kam sofort. Ich kündigte an, das Entsprechende für Licht zu untersuchen. Damit war das Problem für alle klar und interessant, selbst für diejenigen, die schon einmal irgendwo gehört hatten, dass die Lichtgeschwindigkeit konstant sei. Zur Untersuchung der Fragestellung gab ich das zweite Arbeitsblatt aus.

Arbeitsblatt 2: Licht eines Doppelsternsystems

Abb. 4: Der „Stern“ W Ursae Mayoris erscheint als Lichtpunkt am Sternenhimmel, siehe heller Stern. Das liegt an der großen Entfernung von 161,7 Lichtjahren, s. Abb. 5.

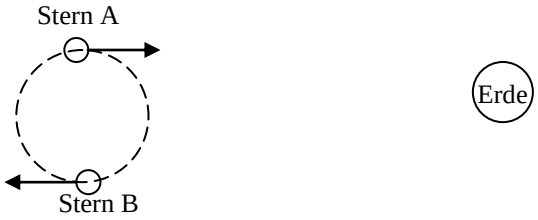

Abb. 5: Aus der Nähe betrachtet würden wir beim „Stern“ W Ursae Mayoris zwei Sterne erkennen, die ihren gemeinsamen Schwerpunkt umkreisen.

1) Bei dem skizzierten Schnappschuss (s. Abb. 5) wird von Stern A und von Stern B je ein Photon zur Erde gesandt. Welches der beiden Photonen sollte zuerst auf der Erde eintreffen?

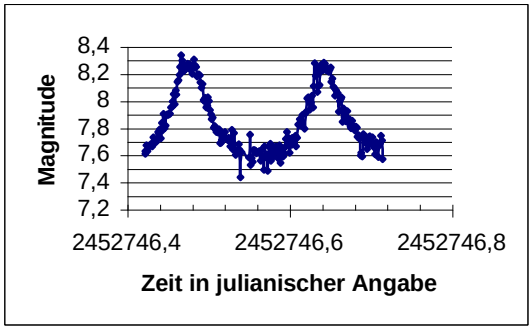

Abb. 6: In der Nacht vom 16.4.04 zum 17.4.04 wurde die Lichtkurve von W Ursae Mayoris aufgezeichnet (Beobachter: Constantin Radjapaksa, Sternwarte Athenaeum). Die Maxima liegen 4 h auseinander. Wir bestätigten die Periodizität mit einer Aufzeichnung der Lichtkurve in der Nacht vom 27.3.04 zum 28.3.04. Beide Lichtkurven sind gleichartig.

2) Die scheinbare Helligkeit von W Ursae Mayoris wurde eine Nacht lang aufgezeichnet, siehe Abb. 6. Deuten Sie das Zustandekommen der Maxima!
3) Bestimmen Sie die Umlaufzeit T!

4) Bestimmen Sie den Bahnradius r bei angenommener Kreisbahn! Hinweis: Jeder der beiden Sterne hat die Masse $2{,}2 \cdot 10^{30}$ kg.
5) Bestimmen Sie die Bahngeschwindigkeit v!
6) Welche Geschwindigkeit sollte ein Photon haben, das sich von Stern A zur Erde ausbreitet (s. Abb. 5)?
7) Um wie viel Zeit sollte ein solches Photon früher auf der Erde eintreffen, als eines, das gleichzeitig von B zur Erde ausgesandt wird (s. Abb. 5)?

Lösung zum Arbeitsblatt 2
Zu Aufgabe 1) stellten die Schülerinnen und Schüler fest, dass das Photon von A schneller sein und daher früher bei der Erde eintreffen sollte.

Zu Aufgabe 2) erläuterte ich, dass die Maxima im Graph Minima der Helligkeit bedeuten. Daraufhin wurde bemerkt, dass die Verdunkelungen bei den Maxima durch Verdeckung des hinteren Sterns durch den vorderen zustande kommen.

Zu Aufgabe 3) wurde erkannt, dass ein Umlauf zwei Verdunklungen beinhaltet und daher T = 8 h beträgt.

Zu Aufgabe 4) hoben die Schülerinnen und Schüler zunächst hervor, dass der Abstand der beiden Sterne gleich dem doppelten Bahnradius ist und lösten dann in Partnerarbeit die Kreisbewegung im Schwerefeld:
$F_Z = F_S$
$m \cdot \omega^2 \cdot r = G \cdot m^2/(2 \cdot r)^2$
$r^3 = G \cdot m/(4 \cdot \omega^2)$
r = 916 863 km

Aufgabe 5) wurde sofort gelöst:
$v = \omega \cdot r = 200\,028{,}5$ m/s

Bei Aufgabe 6) fragten einige Schülerinnen und Schüler nach, ob sie die Geschwindigkeiten hier addieren sollten, denn sie hatten schon davon gehört, dass die Lichtgeschwindigkeit nie übertroffen wird. Ich betonte, dass wir hier diese Geschwindigkeitsaddition untersuchen wollten. Das Ergebnis kam prompt:
$v_A = 3 \cdot 10^8$ m/s + 200 028,5 m/s = 300 200 028,5 m/s

Bei Aufgabe 7) wurde ohne Schwierigkeiten gelöst:
$t_A = d/v_A = 5\,099\,463\,793$ s
$v_B = 3 \cdot 10^8$ m/s – 200 028,5 m/s = 299 799 971,5 m/s
$t_B = d/v_B = 5\,106\,268\,584$ s
$t_B - t_A = 6\,804\,791$ s ≈ 78,8 d

Anschließend fragten wir uns, wie sich diese Verzögerung der Photonen von B wohl auf die Lichtkurve auswirken sollte. Die Schüler meinten, es gebe innerhalb von 8 h viele Helligkeitsschwankungen, wenn die Photonen von einem Stern innerhalb von einem Drittel Tag ihre Laufzeiten um 78,8 d änderten. Daher zeige diese Beobachtung, dass die Lichtgeschwindigkeit konstant sei. Ich bestätigte diese Ansicht, indem ich ein Ergebnis einer Computersimulation zeigte, siehe Abb. 7.

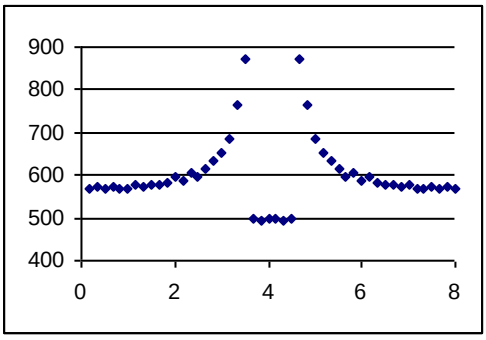

Abb. 7: Simulation: Waagerechte Achse: Zeit in Stunden. Senkrechte Achse: Leistungsdichte in Promille eines beliebigen Wertes. Computersimulation der Leistungsdichte, die von Stern A auf der Erde eintreffen würde, wenn zur Lichtgeschwindigkeit des Photons die Sterngeschwindigkeit addiert würde. In der Simulation entstehen zwei Maxima. Stern B würde entsprechend zwei weitere Maxima erzeugen. Durch die Verdunklung kämen zwei zusätzliche Maxima dazu. Es wären 6 Maxima während 8 h zu beobachten. Das steht im Gegensatz zur aufgenommenen Lichtkurve und zeigt daher sehr deutlich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.

Diskussion
Diese kleine Unterrichtseinheit habe ich in drei Leistungskursen Physik erprobt. Die Schülerinnen und Schüler erzielten die Ergebnisse selbstständig innerhalb einer Doppelstunde und konnten später jederzeit die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit begründen. Sie schätzten, dass diese für die Relativitätstheorie so grundlegende Tatsache überzeugend mit einem einfachen C8 – Teleskop nachzuweisen ist. Die Simulation könnte auch von Schülern, beispielsweise in einem Referat, durchgeführt werden.

4. Welle – Teilchen - Dualismus
Die kleine Unterrichtseinheit habe ich in drei Leistungskursen Physik erprobt. Aus der Wellenlehre kannten die Schülerinnen und Schüler bereits die Beugung am Spalt und am Doppelspalt. Als sie später den Teilchencharakter des Lichts entdeckten, vermuteten sie, dass ein **einzelnes** Photon einen Doppelspalt passiert, indem es entweder durch den einen oder durch den anderen Spalt geht und dass es daher das Beugungsbild eines Einfachspaltes erzeugt, weil es kein weiteres Photon im Beugungsbereich hat, mit dem es ein Doppelspaltbeugungsmuster hervorrufen könnte. Die Schülerinnen und Schüler folgerten, dass ein Doppelspalt, der nacheinander durch **einzelne** Photonen bestrahlt wird, zu einer additiven Überlagerung zweier Einzelspaltbeugungsmuster führen sollte, die wegen des geringen Spaltabstandes praktisch zu einem Einzelspaltbeugungsbild verschmelzen. Um dieses Beugungsbild

des Einfachspaltes zu sehen, wollten wir einzeln den Beugungsbereich zwischen Doppelspalt und Schirm (Kamera) durchfliegende Photonen von lichtschwachem Sternenlicht untersuchen. Hierzu gab es ein Arbeitsblatt:

Arbeitsblatt 3: Sternlicht am Doppelspalt

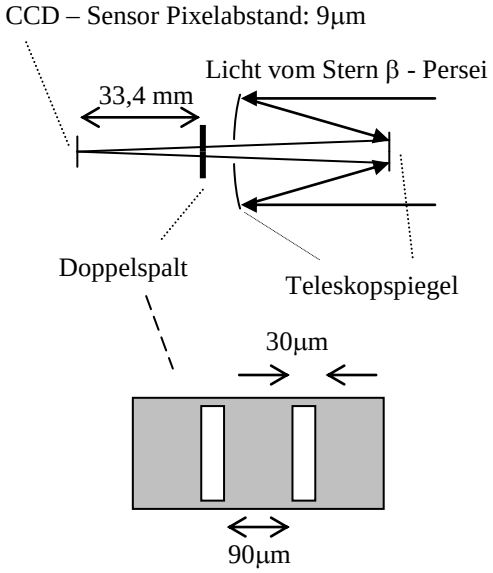

Abb. 8: Versuchsskizze zum Doppelspaltversuch

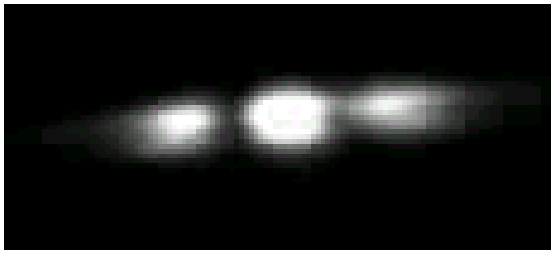

Abb. 9: Beugungsmuster auf der CCD – Kamera bei 2 s Belichtungsdauer (Beobachter: Elena Diez Perez und Nicolai Stange, Sternwarte Athenaeum). Im gesamten Beugungsbild wurden 29 Millionen Photonen erfasst. β - Persei leuchtet grün bis blaugrün und hat daher die mittlere Lichtwellenlänge 530 nm.

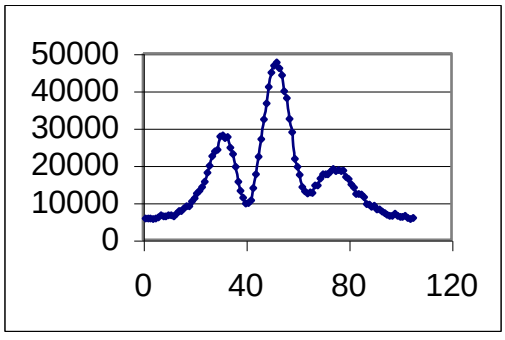

Abb. 10: Auswertung des Beugungsbildes für eine waagerechte Pixelreihe: Waagerecht: x – Pixelnummer. Senkrecht: Anzahl der auf einem Pixel erfassten Photonen. Die x- Pixelnummern der drei Maxima sind $x_1 = 31$, $x_3 = 52$ und $x_5 = 75$. Die der beiden Minima sind $x_2 = 41$ und $x_4 = 64$.

1) Bestimmen Sie die mittlere Anzahl von Photonen im Beugungsbereich zwischen Doppelspalt und Kamera! Nehmen Sie dabei vereinfachend punktförmige Photonen an!

2) Bestimmen Sie die erwartete Lage der Minima und Maxima auf der CCD
   a) für einen Spalt der Breite 30 µm
   b) für einen Doppelspalt mit der Gitterkonstante 90 µm
   c) Vergleichen und beurteilen Sie!

Lösung zum Arbeitsblatt 3

Zu Aufgabe 1) bestimmten die Schülerinnen und Schüler zunächst die Aufenthaltsdauer eines Photons im Beugungsbereich zwischen Doppelspalt und Gitter:

$t = 33{,}4\ \text{mm}/c = 111\ \text{ps}$

Weiter berechneten sie die gesamte Aufenthaltsdauer t_g der $29 \cdot 10^6$ Photonen, die in 2s den Beugungsbereich durchfliegen:

$t_g = 111\ \text{ps} \cdot 29 \cdot 10^6 = 3{,}2\ \text{ms}$

Daraus ergab sich die mittlere Photonenzahl im Beugungsbereich:

$t_g / 2\text{s} = 0{,}0016$

Demnach konnten wir davon ausgehen, dass die Photonen im Beugungsbereich einzeln waren.

Zu Aufgabe 2a) bestimmten die Schülerinnen und Schüler die Lage der Extrema mit Hilfe der bekannten Formel zur Beugung am Spalt:

Maxima erster Ordnung:

$\sin(\alpha) = 1{,}5\ \lambda/d = 1{,}5 \cdot 530\ \text{nm}/30000\text{nm} \approx \alpha$

Abstand dx in Pixeln auf der Kamera:

$dx \cdot 9000\ \text{nm}/33{,}4\ \text{mm} = \tan(\alpha) \approx \alpha$

Gleichsetzen:

$dx \cdot 9000\ \text{nm}/33{,}4\ \text{mm} = 1{,}5 \cdot 530/30000$

$dx = 1{,}5 \cdot 530/30000 \cdot 33{,}4\ \text{mm}/9000\ \text{nm} = 98{,}3$

Der Abstand zum Minimum beträgt 2/3 der obigen Entfernung: $dx = 65{,}6$

Zu Aufgabe 2b) bestimmten sie Lage der Extrema entsprechend:

Maxima erster Ordnung:

$\sin(\alpha) = \lambda/d = 530\ \text{nm}/90000\text{nm} \approx \alpha$

Abstand vom Hauptmaximum:

$dx \cdot 9000\ \text{nm}/33{,}4\ \text{mm} = \tan(\alpha) \approx \alpha$

Gleichsetzen:

$dx \cdot 9000\ \text{nm}/33{,}4\ \text{mm} = 530/90000$

$dx = 530/90000 \cdot 33{,}4\ \text{mm}/9000\ \text{nm}$

$dx = 21{,}9$

Der Abstand zum Minimum ist halb so groß:

$dx = 10{,}9$

Zu Aufgabe 2c) wurde eine Wertetabelle erstellt und gefolgert, dass hier keineswegs Beugung am Spalt auftritt, sondern Beugung am Doppelspalt.

Ort	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Beobachtet	31	41	52	64	75
Einzelspalt	-46.3	-13,6	52	117,6	150,3
Doppelspalt	30,1	41,1	52	62,9	73,9

Tabelle 2: Gegenüberstellung der beobachteten Positionen der Extrema mit denen der Deutungen durch Spalt und Doppelspalt.

Daraus wurde geschlossen, dass ein einzelnes Photon nicht durch einen der Spalte läuft. Vielmehr erzeugt ein einzelnes Photon am Doppelspalt das Beugungsbild eines Doppelspaltes und scheint daher durch beide Spalte zugleich zu laufen.

Diskussion

Diese kleine Unterrichtseinheit habe ich in drei Leistungskursen Physik erprobt. Die Schülerinnen und Schüler erzielten die Ergebnisse selbstständig innerhalb einer Doppelstunde. Sie konnten später begründen, dass ein Photon kein Teilchen ist, da es sonst durch einen der beiden Spalte hätte laufen müssen. Ferner konnten sie aus dem zuvor behandelten Fotoeffekt folgern, dass das Licht keine Welle darstellt. Insgesamt konnten sie ihre Ergebnisse so zusammenfassen, dass Licht weder aus Wellen noch aus Teilchen besteht, sondern durch einen Welle - Teilchen - Dualismus beschrieben werden kann. Das heißt, bei einigen Versuchen kann Licht durch Welleneigenschaften, bei anderen durch Teilcheneigenschaften gedeutet werden.

5. Diskussion

Will man den Schülerinnen und Schülern bei der Entdeckung des Gravitationsgesetzes oder der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit eigenständig gewonnene Daten bieten, so führt kaum ein Weg an Himmelsbeobachtungen vorbei. Nun hat auch hier nicht immer jeder Schüler selbst die Fotos aufgenommen, aber man kennt doch häufig die Schulsternwarte und die Schüler, welche die Aufnahmen gemacht haben und kann sich so recht konkret vorstellen, wie die Ergebnisse entstanden sind. Häufig wünschten die Schüler im Anschluss an die dargestellten Unterrichtseinheiten eigene Beobachtungen in der Sternwarte zu machen.

Die drei Beispiele zeigen, dass die Einbindung von Himmelsbeobachtungen in den Physikunterricht wirkungsvoll zu den ohnehin vorhandenen Lernzielen führen kann. Meine Erfahrungen zeigen, dass gelegentliche Beispiele aus dem Bereich Astronomie das Interesse der Schülerinnen und Schüler am Physik und Mathematikunterricht steigern können; Beispiele sind:

Feldlinienbild der Erde in Klasse[1] 6, Sehwinkel, Größen und Entfernungen in Geometrie in Klasse 6 bis 10, Mondbeobachtungen in Klasse 7 [1], Lineare Funktion und Urknall in Klasse 8 [4], Teleskop in Klasse 8, Entdeckung der Infrarotstrahlung nach Herschel ab Klasse 8, Expansion des Weltalls als zentrische Streckung[2] in Klasse 9, Erklärung des Auftretens der Polarlichter an den Polen durch das Erdmagnetfeld in Klasse 10, Bestimmung der Solarkonstante in Klasse 11 [2,5], Klimamodelle für verschieden Planeten in Klasse 11, Himmelsmechanik [6, 7], Relativitätstheorie ab Klasse 11 [7], Raketenantriebe ab Klasse 11[1], Gezeiten und Mond in Klasse 11, Sonnen- und Mondbeobachtung mit einem selbst gebauten Radioteleskop[1] ab Klassenstufe 12, Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Römer[3] ab Klassenstufe 12, Spektrum der Sonne[1] ab Klassenstufe 12, Sternspektren und Atomphysik[1] ab Klassenstufe 12, Sterne [9] ab Klassenstufe 12, Urknalldynamik ab Klassenstufe 12 [4], Kernfusion auf der Sonne ab Klassenstufe 12, Entdeckung von Elementarteilchen und Antimaterie in der kosmischen Strahlung ab Klasse 12.

Literatur

[1] G. Boysen et al.: Physik für Gymnasien, Cornelsen Verlag, Berlin 1991, S. 20, 21, 70.

[2] G. Boysen et al.: Oberstufe Physik, Ausgabe A Band 1, Cornelsen Verlag, Berlin 1997, S. 78-98, 144-152, 156-166.

[3] J. Grehn et al.: Metzler Physik: Schroedel Verlag, Hannover 1998, S. 80-102, S. 342-344, S. 368, S. 542-555.

[4] H.-O. Carmesin: Urknallmechanik im Unterricht. In: V. Nordmeier: Didaktik der Physik, Beiträge zur Frühjahrstagung Leipzig 2002. Tagungs-CD des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. ISBN 3-936427-11-9, 2002.

[5] H.-O. Carmesin, Stefan-Boltzmann-Gesetz und Stefan-Boltzmann-Konstante – Entdeckungen mit einem Flüssigkeitsthermometer in Klasse 11, Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule, Jahrgang 53, Heft 5, S. 36-39, 2004.

[6] H.-O. Carmesin: Himmelsmechanik im Unterricht. In: V. Nordmeier: Didaktik der Physik, Beiträge zur Frühjahrstagung Leipzig 2002. Tagungs-CD des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. ISBN 3-936427-11-9, 2002.

[7] U. Uffrecht und T. Poppe: Himmelsmechanik und Raumfahrt, Lambacher Schweizer, Ernst Klett verlag, Stuttgart 2002.

[8] H.-O. Carmesin: Erlebte Relativitätstheorie. In: V. Nordmeier: Didaktik der Physik, Beiträge

[1] Hier sind die derzeitigen Rahmenrichtlinien Niedersachsens zugrunde gelegt.

[2] Das ist noch nicht veröffentlicht.

zur Frühjahrstagung Augsburg 2003. Tagungs-CD des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. ISBN 3-936427-71-2, 2003.

[9] H.-O. Carmesin: Sternmodelle. In: V. Nordmeier und A. Oberländer: Didaktik der Physik, Beiträge zur Frühjahrstagung Düsseldorf 2004. Tagungs-CD des Fachverbandes Didaktik der Physik in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. ISBN 3-86541-066-9, 2004.

Carmesin, Hans-Otto: Entdeckungen im Physikunterricht durch Beobachtungen des Himmels. In: Nordmeier, Volker; Oberländer, Arne (Hrsg.): Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, 2006. ISBN 978-386541-190-7