Zielwerfen

Stand: 02.10.2017

Jahrgangsstufen	FOS 11 (T), BOS 12 (T)
Fach/Fächer	Physik
Übergreifende Bildungs- und Erziehungsziele	Sprachliche Bildung
Zeitrahmen	ca. 45 Minuten bei vollständiger Durchführung
Benötigtes Material	

Kompetenzerwartungen

Lehrplan Physik FOS 11 (T) LB 1, Lehrplan Physik BOS 12 (T) LB 1

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ermitteln aus Stroboskopbildern krummlinig bewegter Körper, die in ihrer Alltagserfahrung vorkommen, nach Festlegung eines geeigneten Bezugssystems Orte und Ortsänderungen durch Messen und ziehen anhand unterschiedlicher Zeitauflösungen der Bilder Rückschlüsse auf Betrag und Richtung mittlerer und momentaner Geschwindigkeiten.

- führen krummlinige Bewegungen, exemplarisch aus dem Bereich des Sports, auf einen schiefen Wurf zurück. Um das Bewegungsverhalten unter Verwendung von Vektoren und Koordinatengleichungen zu prognostizieren, legen Sie geeignete Bezugssysteme fest und überprüfen ihre Prognosen beispielsweise unter Einsatz der digitalen Videoanalyse.

Aufgabe

Abbildung 1: Stroboskopbild zum Zielwerfen

Selma versucht, Ihren Fußball in einen Eimer zu werfen.

Die Flugphase des Balls wurde mit einer Bildrate von 30 Bildern pro Sekunde gefilmt und anschließend mit einer Videoanalysesoftware ausgewertet. Auf dem Bild ist ein Teil des Flugs als Stroboskopaufnahme dargestellt. Die roten Markierungen zeigen die Orte, an denen die Software den Ball in jedem Einzelbild registriert hat.

Was würden Sie schätzen - wird Selma treffen?

In den folgenden Aufgaben sollen Sie u. a. Ihre Schätzung genauer überprüfen:

1 Selma hat den Ball schief nach oben abgeworfen.
Erklären Sie einem Mitschüler mithilfe des Prinzips der Überlagerung von Bewegungen grundsätzlich das Zustandekommen dieser Flugbahn.

2 Überprüfen Sie mithilfe geeigneter Berechnungen, ob Selma in den Eimer trifft und vervollständigen Sie ungefähr die Flugbahn des Balles bis zum Auftreffen des Balls auf dem Boden bzw. im Eimer.
Selma ist übrigens 150 cm groß.

3 Nun ist es so, dass Selma tatsächlich in den Eimer getroffen hat, obwohl Ihre Berechnungen vermutlich ergeben haben, dass der Wurf über den Eimer hinausgegangen sein müsste.

Woran könnte das liegen? Notieren Sie Ihre Begründung bzw. Vermutung hierzu. Falls Sie keinen Ansatz finden, steht Ihnen eine **Hilfekarte** zur Verfügung, welche die komplette Bahnkurve des Balles zeigt. Betrachten Sie die Flugkurve darauf ganz genau.

4 Eine quantitative Analyse des Wurfs zeigt in den folgenden beiden Abbildungen, dass die Messwerte für $y(t)$ im *t*-*y*-Diagramm (*y*-Achse zeigt senkrecht nach oben) auf einer Parabel (grün) liegen, welche idealisiert erwartet wird.
Die Messwerte für $x(t)$ im *t*-*x*-Diagramm liegen im Gegensatz dazu nicht vollständig auf der theoretisch berechneten Geraden (grau).

Erklären Sie diese Abweichung und notieren Sie diese schriftlich.

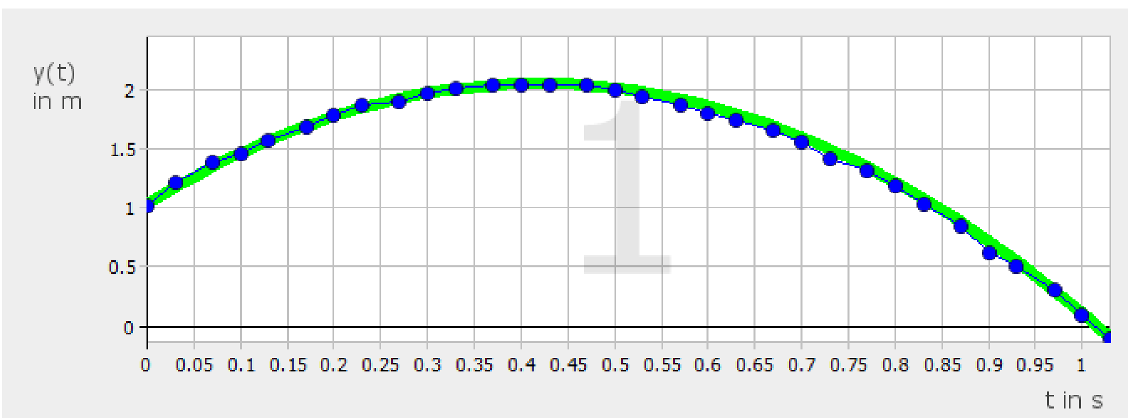

Abbildung 2: *t*-*y* – Diagramm

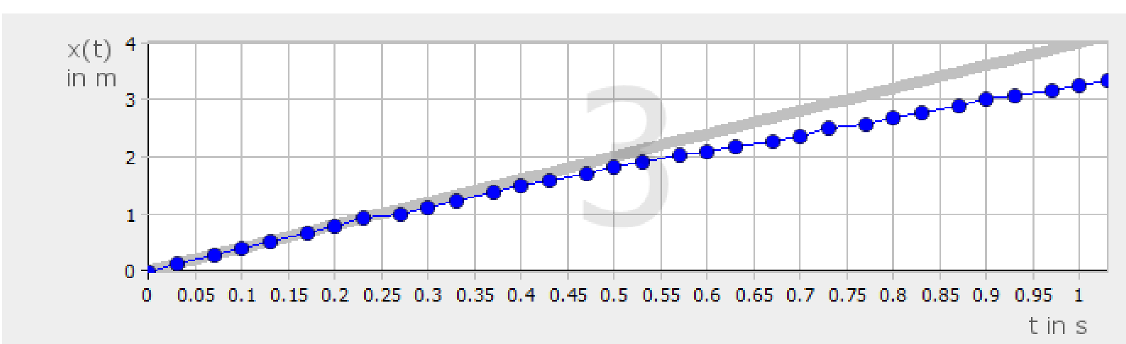

Abbildung 3: *t*-*x* – Diagramm

Hilfekarte:

Abbildung 4: Stroboskopbild des gesamten Wurfs

Hinweise zum Unterricht

Die Lösungsvorschläge unter den Hinweisen zum Unterricht erfolgen stichpunktartig. Diese sind nicht als vollständige, alternativlose Lösungserwartung zu sehen. Auch von einer strengen physikalischen Fachnotation wird hier abgesehen.

zu 1 Durch das schiefe Abwerfen bewegt sich der Ball gleichzeitig nach oben (y-Richtung) und nach rechts (x-Richtung) vom Werfer weg.
Während sich der Ball in x-Richtung näherungsweise mit konstanter Geschwindigkeit bewegt (gleichförmige Bewegung), vollzieht der Ball in y-Richtung eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung (senkrechter Wurf).
Die Überlagerung der beiden Bewegungen, welche gleichzeitig ablaufen, ergibt eine krummlinige Bahnkurve.

zu 2 4,8 cm ≙ 1,5 m
1 cm ≙ 0,313 m
Damit ergibt sich eine maximale Höhe des Balles von y_{max} = 2,06 m bei x_{max} = 1,47 m.

Berechnung der Wurfweite über die Fallzeit aus 2,06 m Höhe und der Geschwindigkeit in x-Richtung:

Fallzeit: (Bezugssystem vorher festlegen!)

$$\Delta y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (\Delta t)^2$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta y}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (-2{,}06\,\mathrm{m})}{-9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = \underline{0{,}648\,\mathrm{s}}$$

Geschwindigkeit in x-Richtung:

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$\Delta x = 1{,}47\,\mathrm{m}$ legt der Ball während 13 Bildern zurück, also während $\frac{13}{30}\,\mathrm{s} = 0{,}433\,\mathrm{s}$

$$v_x = \frac{1{,}47\,\mathrm{m}}{0{,}433\,\mathrm{s}} = \underline{3{,}39\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}$$

Damit ergibt sich in x-Richtung ausgehend vom höchsten Punkt:

$$\Delta x = v_x \cdot \Delta t = 3{,}39\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 0{,}648\,\mathrm{s} = 2{,}20\,\mathrm{m}$$

Die Wurfweite beträgt somit $x_{wurf} = 1{,}47\,\mathrm{m} + 2{,}20\,\mathrm{m} = \underline{3{,}67\,\mathrm{m}}$.

Durch das Einzeichnen der eben berechneten Wurfweite sowie eines weiteren Punktes kann die theoretisch zu erwartende Bahnkurve ungefähr skizziert werden. Als weiterer Punkt wurde hier das Spiegelbild des Abwurfortes bezüglich der Spiegelachse mit der Gleichung $x = 1{,}47\,\text{m}$ verwendet:

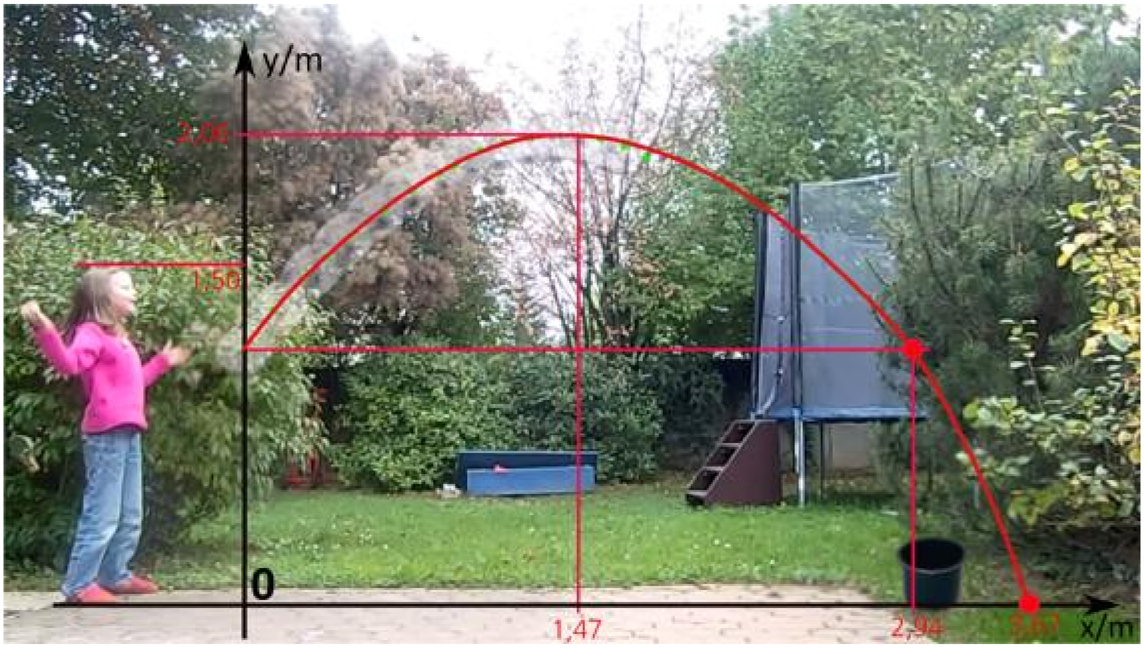

Abbildung 5: Berechnete Flugbahn

Es lässt sich erkennen, dass der Wurf deutlich über den Eimer hinausgehen sollte.

Anmerkungen:
- Alternativ könnte die Lösung auch mithilfe der Bahngleichung erfolgen oder über eine Zerlegung des Geschwindigkeitsvektors am Abwurfort, um über $v_{x,0}$ auf $v_{y,0}$ zu schließen. Mehrere Lösungswege sind hier denkbar.
- Die Schätzung, ob Selma trifft, und deren Überprüfung in Aufgabe 2 sind vermutlich spannender, wenn die Aufgaben 3 und 4 erst danach ausgeteilt werden.

zu 3 Durch die Luftreibung, welche auf einen so großen Ball durchaus eine Rolle spielen könnte, wird der Ball abgebremst und fliegt deshalb nicht so weit. (Auf dem Bild der Hilfekarte lässt sich deutlich erkennen, dass es sich nicht um eine Wurfparabel handelt. Der rechte Ast der Kurve ist in *x*-Richtung gestaucht.)

zu 4 Die beobachtete Abweichung im *t*-*x*-Diagramm von der ideal gültigen Geraden resultiert aus dem Abbremsen des Balles in *x*-Richtung auf Grund der Luftreibung.

Dass die Luftreibung im *t*-*y*-Diagramm keine merkbare Abweichung verursacht, kann daran liegen, dass die Beschleunigung, welche durch diese verursacht wird, relativ gering ist im Vergleich zur Fallbeschleunigung.

Anmerkung: Die Thematisierung der Gleichung zur Berechnung der Luftwiderstandskraft würde sich hier durchaus anbieten. Sollte diese behandelt werden, wäre auch noch folgende Zusatzerklärung möglich.
Die Tatsache, dass der Ball in *y*-Richtung die meiste Zeit eine geringere Geschwindigkeit aufweist als in *x*-Richtung (an der skizzierten Bahnkurve ersichtlich), führt dazu, dass die Luftreibung in *y*-Richtung auch absolut geringer ausfällt als in *x*-Richtung.

Anregung zum weiteren Lernen

Als zusätzliche Aufgabe für interessierte Schüler wäre es denkbar, mithilfe des *t*-*x*-Diagramms (Abbildung 3) die durch die Luftreibung erzeugte mittlere Beschleunigung des Balles in *x*-Richtung sowie die Änderung der Geschwindigkeit des Balles in *x*-Richtung zu bestimmen:

Abbildung 3 zeigt, dass bis $t = 0{,}20\ \text{s}$ die Messpunkte noch recht gut auf der theoretisch erwarteten grauen Geraden liegen. Aus Abbildung 1 lässt sich entnehmen, dass sich der Ball zu diesem Zeitpunkt $t = 0{,}20\ \text{s}$ etwa bei $x = 0{,}75\ \text{m}$ befindet. Somit ergibt sich als gute Näherung für die Abwurfgeschwindigkeit in x-Richtung:

$$v_{x,0} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0{,}75\,\text{m}}{0{,}2\,\text{s}} = 3{,}75\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$x(t) = v_{x,0} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Bei $t = 1{,}0\ \text{s}$ erreicht der Ball gerade den Eimer. Aus Abbildung 1 lässt sich ermitteln, dass dieser etwa bei $x = 3{,}05\ \text{m}$ steht. Das Einsetzen dieses Punktes in die Koordinatengleichung ergibt:

$$a = \frac{2 \cdot \left(3{,}05\,\text{m} - 3{,}75\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1{,}0\,\text{s}\right)}{(1{,}0\,\text{s})^2} = \underline{\underline{-1{,}4\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

Die Geschwindigkeit des Balles hat somit während der Flugphase mit einer Dauer von 1,0 Sekunden von $3{,}75\frac{\text{m}}{\text{s}}$ um $1{,}4\frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf $2{,}35\frac{\text{m}}{\text{s}}$ abgenommen.
Das entspricht einer Abnahme von 37 % vom Anfangswert.

Historische Ballistik-Diagramme zu den Flugkurven von Kanonenkugeln könnten zur Verdeutlichung des Sachverhalts herangezogen werden. Die Schüler könnten hierzu selbst recherchieren.

Alternativ oder zusätzlich zu dieser Aufgabe könnte z. B. ein Basketballwurf zusammen mit den Schülern gefilmt werden, um die Flugbahn anschließend mittels Videoanalyse genau zu untersuchen. Die Tatsache, dass der Wurf kürzer ausfällt als theoretisch erwartet, ist erneut zu beobachten.

Quellen- und Literaturangaben

Abbildung 1 Stroboskopbild zum Zielwerfen, eigenes Bild, Markus Keller, 17.03.2017

Abbildung 4 Stroboskopbild des gesamten Wurfs, eigenes Bild, Markus Keller, 17.03.2017

Abbildung 5 Berechnete Flugbahn, eigenes Bild, Markus Keller, 17.03.2017