



Eine Studentin schwebt beim Parabelflug. Bild: DLR

abfängt und den nächsten Steigflug einleitet, um eine weitere Parabel zu fliegen. Auf dieser „Achterbahnfahrt im Himmel“ wechseln so Phasen reduzierter Schwerkraft mit Phasen verstärkter Schwerkraft (im „Tal“ der Flugbahn) ab.

Die *ISS* folgt ebenfalls einer solchen Wurfparabel. Der Unterschied ist allerdings, dass hier niemand den freien Fall abfangen muss und es nicht andauernd hinauf und hinunter geht, denn die Station ist so schnell, dass sie immer weiter um die Erde herum fällt. Stellen Sie sich dazu einfach (natürlich nur in der Theorie) vor, dass der Pilot des Parabelfliegers auf dem Weg nach oben noch einmal kurz und kräftig so viel Schub geben würde, dass das Flugzeug in eine Kreisbahn um die Erde gelangt – dann haben Sie den gedanklichen Bogen vom Parabelflug zur *ISS* geschlagen.

Aufgabe 11: Galileo Galileis Kugelbahn

Für ältere Schülerinnen und Schüler können Sie den nachfolgenden Versuchen zur Schwerelosigkeit zunächst ein anderes Experiment voranstellen, das dem Thema Schwerkraft gewidmet ist (jüngere Kinder könnte das allerdings verwirren, sodass man mit ihnen besser direkt in die „Welt der Schwerelosigkeit“ einsteigt). Dazu hier eine Anregung, die einen wunderbaren „Klassiker“ aus der Wissenschaftsgeschichte aufgreift.

Im Museo Galileo in Florenz steht eine ebenso einfache wie faszinierende Apparatur: Eine Kugel rollt auf einer Bahn nach unten und berührt unterwegs mehrere kleine Glöckchen, die dicht über der Bahn angebracht sind. Vom Anfang bis zum Ende der Bahn wird der Abstand von Glöckchen zu Glöckchen immer größer, die Intervalle der akustischen Signale ändern sich jedoch nicht: Rollt die Kugel nach unten, ertönen die Glöckchen immer im selben zeitlichen Abstand. **Hinweis:** Ein korrespondierendes Experiment ist Ihnen sicher unter dem Namen „Fallschnur“ bekannt und je nach Ihrer Wahl können Sie natürlich die eine oder andere Version einsetzen. Hier folgt aber die Anleitung zur Galilei'schen Kugelbahn.

Materialien

- 1 U-Profil (1 Meter lang).
- 1 Glasmurmeltier (oder ähnliche Kugel aus Metall oder Holz)
- 1 Smartphone mit Kamera (oder andere Kamera)
- 1 Metronom (oder eine Stoppuhr-App für das Smartphone)
- Klebepunkte
- 1 Maßband
- doppelseitiges Klebeband
- Papierstapel, um die Bahn schief zu lagern

Tipp: Nehmen Sie beim Kauf des U-Profiles die Kugel mit, um die richtige Größe des Profils auszusuchen (oder umgekehrt).

Und so geht's:

Das U-Profil wird auf einen Tisch gelegt und das eine Ende um 2 bis 3 Grad Neigungswinkel erhöht (bei der hier empfohlenen Bahnlänge von 100 cm dazu ein Ende auf einen ca. 4 cm hohen Papierstapel legen). Wir haben damit eine schiefe Ebene. Entlang der Bahn wird das Maßband mit doppelseitigem Klebeband angebracht oder es wird die Zentimeter-Skala auf die Bahn übertragen. Per Smartphone-Kamera (die auf die Bahn und die Skala gerichtet

sein muss und sich nicht bewegen darf) wird der Lauf einer Kugel gefilmt. Dabei sollte als Zeitgeber ein Metronom im Bild zu sehen sein, das man vorher so einstellt, dass sich damit halbe Sekunden oder Drittelsekunden ablesen lassen (einfach auf 120 oder 180 Schläge pro Minute stellen).

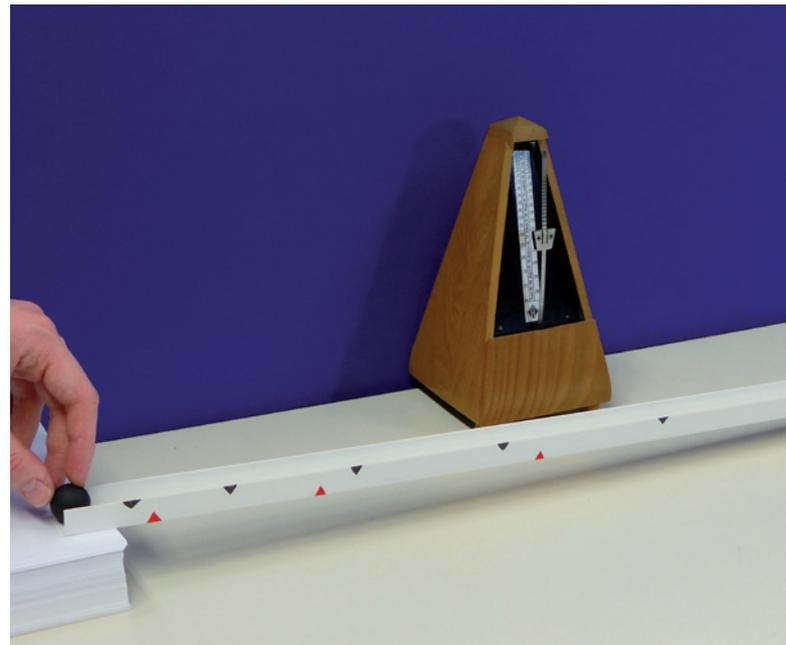
Beim Abspielen des Films in Einzelbildschaltung oder Zeitlupe ist wichtig: Immer am Wendepunkt des Metronoms wird die genaue Position der Kugel ermittelt und dann mit einem Klebepunkt an der Bahn markiert. Betrachtet man anschließend die Bahn mit den Punkten, so fällt auf: Die Abstände zwischen den Punkten werden immer größer. Denn je länger die Kugel rollt, desto größer ist der Weg, den sie in derselben Zeiteinheit zurücklegt: Sie wird immer schneller! Die Veränderung der Geschwindigkeit mit der Zeit nennt man Beschleunigung.

Bei Halbsekunden-Analysen (im Foto rote Markierungen) ergaben sich bei unseren Versuchen folgende Strecken:

Zeit in Sek.	Insgesamt zurückgelegte Strecke in cm	Während des Zeitintervalls zurückgelegte Strecke in cm
0	0	0
0,5	5	5
1	15	10
1,5	30	15
2	50	20
2,5	75	25

Bei Drittelsekunden-Analysen (schwarze Markierungen) ergaben sich bei unseren Versuchen folgende Strecken:

Zeit in Sek.	Insgesamt zurückgelegte Strecke in cm	Während des Zeitintervalls zurückgelegte Strecke in cm
0	0	0
0,33	3,7	3,7
0,66	9,8	6,1
1	17,3	7,5
1,33	27,2	9,9
1,66	39,2	12
2	53,2	14
2,33	69,3	16,1
2,66	87,4	18,1



Einfacher Nachbau der historischen Kugelbahn nach Galileo Galilei. Bild: DLR

Sprechen Sie anschließend die Beobachtungen und Ergebnisse mit den Schülerinnen und Schülern durch. Der Versuch macht intuitiv den Charakter der Fallbeschleunigung deutlich. Dass die Kugel nicht in gleichbleibendem Tempo nach unten saust, sondern immer schneller wird, kann man dabei ganz ohne Formel wie folgt erklären: Die Erdanziehung (Gravitation) wirkt permanent auf die Kugel ein. Dadurch gerät die Kugel ja überhaupt erst ins Rollen, wenn man sie auf die Bahn legt. Aber wenn die Erdanziehung, die ja eine konstante Größe ist, permanent auf die Kugel einwirkt – warum hat die Kugel dann kein konstantes Tempo? Der entscheidende Gedanke: Wie schnell die Kugel auf ihrem Weg auch immer ist – die Masse der Erde zieht weiter an ihr und steigert so permanent die aktuelle Geschwindigkeit. Die Kugel ist schnell, dann noch schneller, dann „noch noch“ schneller usw. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt hat die Kugel auf ihrem Weg nach unten eine bestimmte Geschwindigkeit und immer „sattelt“ die Erdanziehung auf diese Geschwindigkeit noch etwas drauf. Als Analogie kann man den Schülerinnen und Schülern das folgende Beispiel nennen: Stellt euch vor, der Fahrer eines stehenden Autos tritt fest aufs Gaspedal und drückt es die ganze Zeit konstant bis zum Anschlag durch. Der Wagen setzt sich in Bewegung und wird immer schneller und schneller.