

Name: _____

Waagerechter Wurf – eine Videoanalyse

[experilyser hier herunterladen](#)

Ein Skispringer will nach dem Absprung vom Schanzentisch eine möglichst große Weite erreichen. Für den Erfolg ist ein kräftiger Absprung mit einer hohen Anfangsgeschwindigkeit wichtig. Mit einer günstigen Flughaltung wird der bremsende Luftwiderstand verringert und das Gleiten auf einem Luftpolster verstärkt.

Bei normalen Sprungschanzen werden Weiten um 90 m erreicht. Große Schanzen, die man Skiflugschanzen nennt, ermöglichen Weiten über 200 m.

Physikalisch kann die Flugbewegung auf Normalschanzen näherungsweise durch das Modell des waagerechten Wurfs beschrieben werden.



Ein **waagerechter Wurf** ist eine ideale Bewegung, die ein horizontal geworfener Körper macht, wenn ausschließlich die Erde mit der Gewichtskraft einwirkt.

In horizontaler Richtung ist die Bewegung gleichförmig.

Die vertikale Komponente entspricht dem freien Fall.

Wenn der Wurf im Nullpunkt des Koordinatensystems zum Zeitpunkt $t = 0$ beginnt, lässt sich der waagerechte Wurf durch folgende Gleichungssysteme beschreiben:

	Beschleunigung	Geschwindigkeit	Ort
gleichförmig in x-Richtung	$a_x = 0$	$v_x = v_0$	$s_x = v_0 \cdot t$
freier Fall in y-Richtung	$a_y = -g$	$v_y = -g \cdot t$	$s_y = -\frac{1}{2} g \cdot t^2$

Die Bahnkurve ist eine nach unten geöffnete Halbparabel mit dem Scheitel am Ort des Abwurfs.

Die Bahngleichung lautet: $s_y = -\frac{g}{2v_0^2} s_x^2$.

Im Alltag können zusätzliche Einwirkungen wie Luftwiderstand, Luftströmung und Auftrieb nicht immer vernachlässigt werden: Eine Kanonenkugel wird wegen ihrer großen Geschwindigkeit durch die Luft abgebremst. Wurfscheiben gleiten dagegen weiter, als es der waagerechte Wurf beschreibt. Ein gasgefüllter Luftballon fällt trotz der Gewichtskraft nicht nach unten, sondern steigt auf.

Name: _____

1 Wurf eines Basketballs

[Video anschauen](#)

Der Wurf eines Basketballs wurde vor einer Hauswand mit 25 Bildern pro Sekunde gefilmt. (Der Schatten des Werfers ist ebenfalls festgehalten.) Mit der Videoanalyse-App wurde die Bewegung des Balls ausgewertet und in einem Screenshot dokumentiert (Abb. 1). Die beiden Pfosten haben auf dem Boden einen Abstand von 2,70 m.

Du kannst dir das Video anschauen, indem du auf den Link rechts klickst oder es mit dem QR Code herunterlädst.



Abbildung 1 Videoanalyse eines waagerechten Wurfs mit t - v_x - und t - v_y -Diagramm

[Hier klicken für eine vergrößerte Ansicht des rechten Diagramms.](#)

In der linken Bildhälfte macht die App die Flugbahn des Balls durch rote Spurpunkte sichtbar.

Diese Spurpunkte folgen gemäß der Bildrate in einem zeitlichen Abstand von $\Delta t = \frac{1}{25} \text{ s}$.

Auf der rechten Bildhälfte sind die Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme der x -Koordinate dunkelrot und der y -Koordinate hellrot aufgezeichnet.

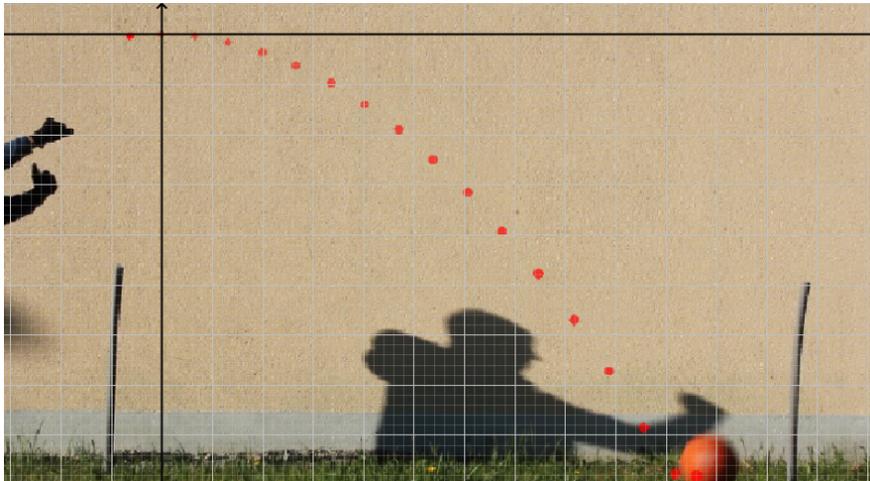
Die Einheiten der Geschwindigkeit sind auf der rechten Seite des Diagramms in m/s angegeben. Die Messwerte zu jedem Spurpunkt sind als Punkte auf dem Graphen eingetragen.

1. Aufgaben

- 1.a Begründe mit dem Verlauf der Graphen in der rechten Bildhälfte von Abb. 1, dass die Bewegung in x -Richtung gleichförmig und in y -Richtung gleichmäßig beschleunigt verläuft.
- 1.b Entnimm dem Graphen die Anfangsgeschwindigkeit v_0 .
Ermittle die Beschleunigung a_y des Balls während der Flugphase. Erkläre, warum man ein möglichst großes Steigungsdreieck wählen soll. Berechne die prozentuale Abweichung von g .
- 1.c Erstelle alle Bewegungsgleichungen für diesen Wurf.

Name: _____

2 Bewegungsgleichungen



[Hier klicken für eine vergrößerte Ansicht von Abbildung 2](#)

Abbildung 2 Wahl eines Koordinatensystems

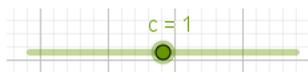
2. Aufgaben

- 2.a Diese Gleichungen des waagerechten Wurfs sind nur in einem Koordinatensystem gültig, das bestimmte Bedingungen erfüllt.
Begründe, dass das Koordinatensystem in Abb. 2 für die Gleichungen geeignet gewählt ist. Beschrifte die Achsen und die Einheiten, die durch das Raster vorgegeben sind.
- 2.b Ein Spurpunkt befindet sich auf dem Schatten des Spielers.
Ermittle aus Abb. 2 die Koordinaten des Ortes und die Zeit, die der Ball vom Scheitelpunkt aus bis zu dieser Stelle benötigt.
- 2.c Berechne nun die Koordinaten mit den Bewegungsgleichungen und vergleiche sie mit den gemessenen Werten.
- 2.d Berechne die Geschwindigkeit an diesem Ort. Zeichne den Geschwindigkeitspfeil in die Abbildung.

3 Wurfparabel

Mit einer Geometrie-Software lässt sich die Parabel $y = -c \cdot x^2$ über die Spurpunkte aus Abb. 2 legen.

[Hier kannst du die Simulation herunterladen.](#) Öffne die Datei mit einer Geometrie-Software.



Mit dem Schieberegler kann man die Parabel an die Flugbahn anpassen.

3. Aufgaben

- 3.a Verschiebe den Regler c so, dass die Parabel sich möglichst gut an die Spurpunkte anpasst. Gib den Wert des Parameters c mit seiner Einheit an.
- 3.b Leite mit Erläuterungen die Bahngleichung $s_y = -\frac{g}{2v_0^2} s_x^2$ her.
- 3.c Berechne den Faktor $\frac{g}{2v_0^2}$ mit den gemessenen Größen aus Aufgabe 1.a und vergleiche diesen mit dem in Aufgabe 3.a ermittelten Wert c . Gib gegebenenfalls Gründe für die Abweichung an.

Name: _____

4 Experiment: Überlagerung von Bewegungen

Man sagt: Der waagerechte Wurf ist eine **Überlagerung** zweier Bewegungen: einer gleichförmigen Bewegung in horizontaler Richtung und eines freien Falls senkrecht dazu.

Dies bedeutet nicht, dass ein Körper gleichzeitig zwei verschiedene Bewegungen durchführt. Der Ball kann nicht gleichzeitig in zwei unterschiedliche Richtungen fliegen. Er bewegt sich nur auf einer einzigen Flugbahn. Die Zerlegung in 2 Bewegungen kann man aber als **eine Bewegung in einem bewegten Bezugssystem** deuten:

Ein Skater rollt mit konstanter Geschwindigkeit und hält zunächst einen Ball seitlich fest. Der Skater lässt ihn los, sodass der Ball fällt. Der Skater wirft nicht (Abb. 3).

Aus der Sicht des Skaters fällt der Ball neben ihm senkrecht nach unten (gelbe Bahn). Im Bezugssystem Skater ist es ein freier Fall. Ein außenstehender Beobachter beschreibt die Bewegung dagegen als einen waagerechten Wurf (rote Bahnkurve). Für diesen Beobachter überlagern sich das Rollen des Skaters und der freie Fall des Balls, wie ihn der Skater wahrnimmt, zu einem waagerechten Wurf.

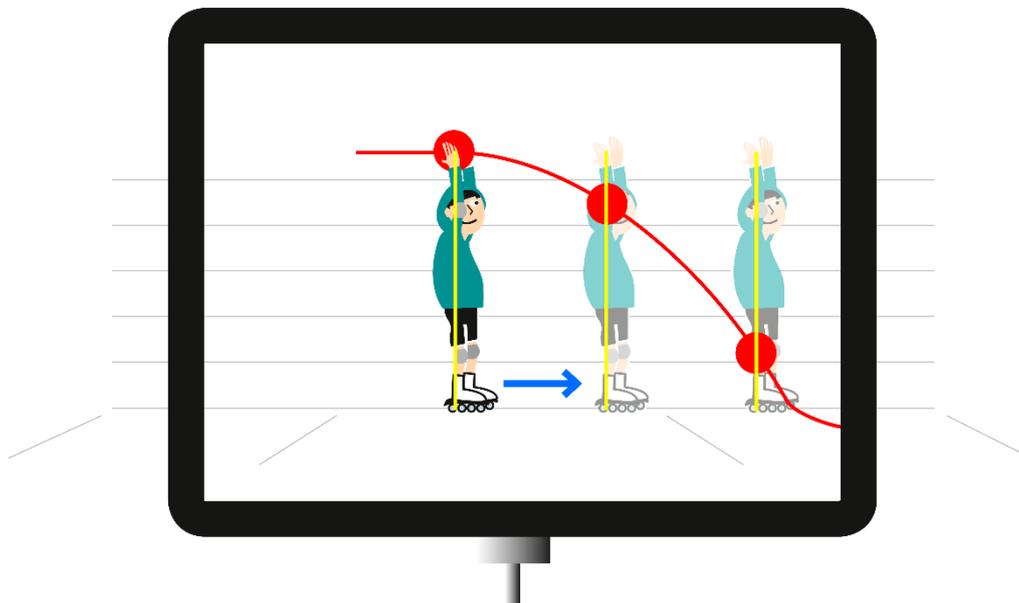


Abbildung 3

4. Aufgaben

Tipps zur Video-App [gibt es hier](#)

4.a Führe das Experiment mit dem Videoanalyseprogramm durch.

Hinweis: Die Kamera muss senkrecht zur Bewegungsrichtung fixiert werden. Wähle einen einfarbigen Ball. Im Bild der Kamera darf eine ähnliche Farbe kein weiteres Mal vorkommen.

4.b Obwohl der Skater den Ball nicht wirft, sondern nur fallen lässt, ist die Bewegung aus der Perspektive der Kamera ein waagerechter Wurf. Weise dies mit dem Videoanalyseprogramm nach und erläutere es.

4.c Der Skater wirft nicht. Erkläre, wie der Ball seine Anfangsgeschwindigkeit erhält.

4.d Nach einer Katastrophe wird eine Bevölkerung aus der Luft versorgt. Dazu werden aus einem Flugzeug Pakete abgeworfen. Das Experiment ist ein Modell dafür. Zeichne eine Skizze mit der Flugbahn eines Pakets. Formuliere eine Aufgabenstellung mit geeigneten Angaben und berechne anschließend die Information, die die Flugzeugbesatzung für einen zielgenauen Abwurf benötigt.