

# Wurfbewegung (ArtikelNr.: P2131100)

## Curriculare Themenzuordnung



### Schwierigkeitsgrad



Leicht

### Vorbereitungszeit



1 Stunde

### Durchführungszeit



1 Stunde

### empfohlene Gruppengröße



2 Schüler/Studenten

### Zusätzlich wird benötigt:

### Versuchsvarianten:

### Schlagwörter:

parabelförmige Bahnkurve, gleichförmige beschleunigte Bewegung, Ballistik

## Einleitung

## Einführung

### Prinzip

Eine Stahlkugel wird durch Federkraft mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Winkeln in Bezug auf die Waagerechte abgeschossen. Die Beziehungen zwischen Reichweite, Höhe der Flugbahn, Abschusswinkel und Abschussgeschwindigkeit werden bestimmt.

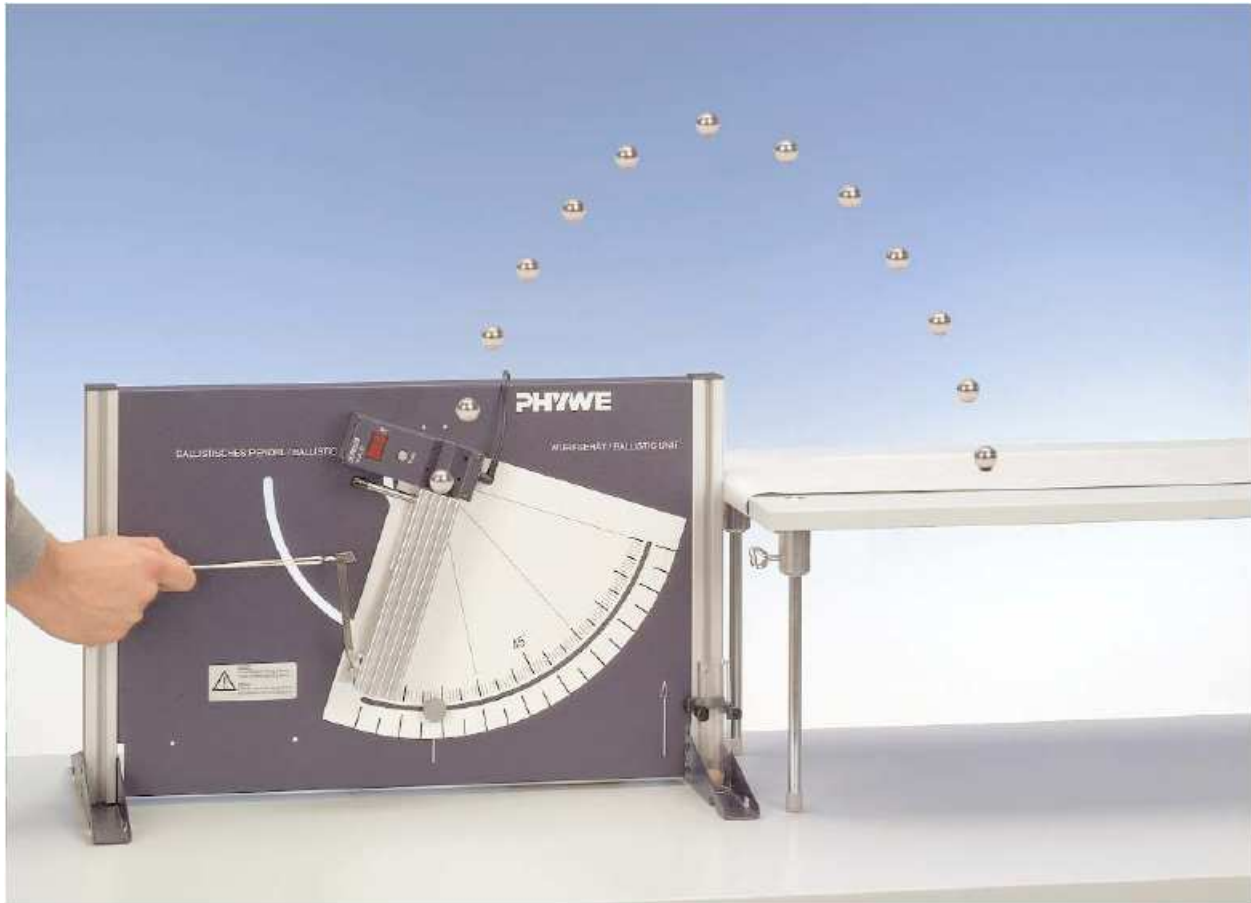


Abbildung 1: Versuchsaufbau zum Messen der maximalen Reichweite eines Projektils mit Zusatzmaterial für die Messung der Anfangsgeschwindigkeit.

## Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	Wurfgerät	11229-10	1
2	Schreibstreifen, $b = 210 \text{ mm}$	11221-01	1
3	Stahlkugel, $d = 19 \text{ mm}$	02502-01	2
4	Tisch mit zwei Demonstrationsebenen	02076-03	1
5	Maßstab, $l = 750 \text{ mm}$ , auf Stiel	02200-00	1
6	Tonnenfuß expert	02004-55	1
7	Geschwindigkeitsmessaufsatz	11229-30	1
8	Netzgerät 5 VDC/4 A gem. EN61558-2-16, DC-Bu 2.1mm, SK-II	12651-99	1

## Aufgaben

1. Bestimmung der Reichweite als Funktion des Abschusswinkels.
2. Bestimmung der Höhe der Flugbahn als Funktion des Abschusswinkels.
3. Bestimmung der (maximalen) Reichweite als Funktion der Anfangsgeschwindigkeit.

## Aufbau und Durchführung

Stellen Sie das Wurfgerät ein. Stellen Sie die Skala auf 90° ein, feuern Sie die Stahlkugel senkrecht nach oben (Einstellung 3) ab und fangen Sie sie mit der Hand auf. Stellen Sie den Stativfuß mit Hilfe der Einstellschrauben so ein, dass die Kugel tatsächlich vertikal nach oben abgefeuert wird.

Die Anfangsgeschwindigkeiten der Stahlkugel, die den drei Spannungszuständen der Abschussfeder entsprechen, können mit Hilfe des Geschwindigkeitsmessaufsatzes oder mit Hilfe des Ausdrucks  $v_0 = \sqrt{2gh}$  basierend auf der maximalen Höhe für eine vertikale Flugbahn bestimmt werden. Die Anfangsgeschwindigkeiten können von Gerät zu Gerät stark variieren.

Der Tisch mit zwei Demonstrationsebenen (02076-01) dient zur Bestimmung der Reichweite. Zur Markierung der Aufprallpunkte kleben Sie den Schreibstreifen mit Hilfe von Klebeband auf den Tisch. Es empfiehlt sich, größere Reichweiten vor kürzeren Reichweiten (sekundäre Aufprallpunkte!) zu messen und die primären Aufprallpunkte mit einem Filzstift zu markieren. Überprüfen Sie den Abstand zum Wurfgerät mehrmals während des Versuchs mit dem Maßstab. Zum Auffangen der Kugeln können Sie hinter dem Tisch einen leeren Karton aufstellen.

Für die Messung der Höhe der Flugbahn spannen Sie den Maßstab in den Tonnenfuß ein und verschieben ihn parallel zur Ebene der Flugbahn. Verwenden Sie erneut den leeren Karton, um die Kugeln aufzufangen. Die Höhe der Flugbahnen kann ballistisch relativ gut per Augenmaß bestimmt werden.

## Theorie und Auswertung

Wenn sich ein Körper der Masse  $m$  in einem konstanten Gravitationsfeld bewegt (Gravitationskraft  $m\vec{g}$ ), liegt die Bahnkurve in einer Ebene (siehe Abb. 2).

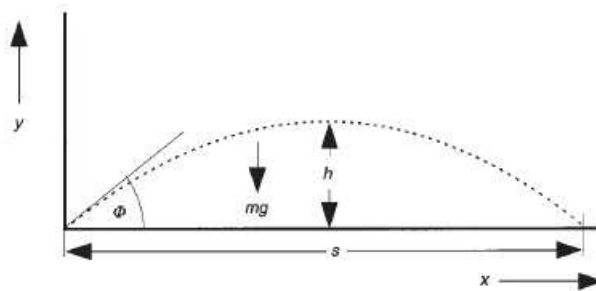


Abbildung 2: Bewegung eines Massepunktes unter dem Einfluss der Gravitationskraft.

Wird das Koordinatensystem in diese Ebene gelegt ( $x, y$ -Ebene, Abb. 2) und die Bewegungsgleichung

$$m \frac{d^2}{dt^2} \vec{r}(t) = m \vec{g}$$

mit

$$\vec{r} = (x, y); \vec{g} = (0, -g)$$

unter den Anfangsbedingungen

$$\vec{r}(0) = 0 \quad \text{und}$$

$$\vec{v}(0) = (v_0 \cos \phi, v_0 \sin \phi)$$

gelöst, erhalten wir die Koordinaten als Funktion der Zeit  $t$ :

$$x(t) = v_0 \cdot \cos \phi \cdot t$$

$$y(t) = v_0 \cdot \sin \phi \cdot t - \frac{1}{2} g t^2.$$

Auf dieser Grundlage erhält man die maximale Höhe der Flugbahn  $h$  als Funktion des Winkels  $\phi$ :

$$h = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \phi$$

Und die maximale Reichweite

$$s = \frac{v_0^2}{g} \sin(2\phi).$$

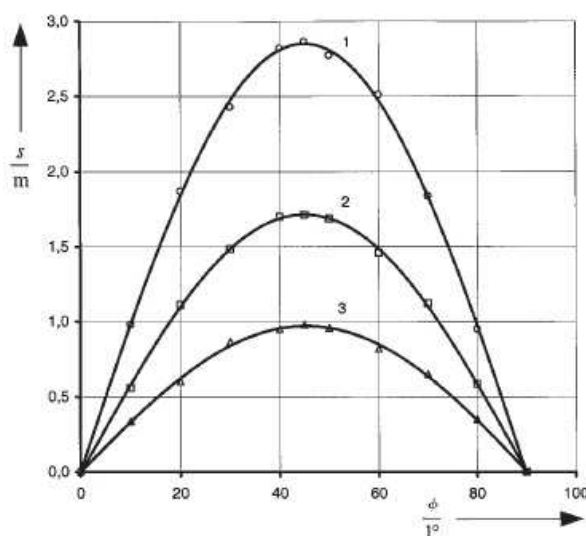


Abbildung 3: Maximale Reichweite  $s$  als Funktion des Abschusswinkels  $\phi$  für unterschiedliche Anfangsgeschwindigkeiten  $v_0$ :

Messdaten in Abb. 3:

Kurve 1:  $v_0 = 5,3 \text{ m/s}$   
 Kurve 2:  $v_0 = 4,1 \text{ m/s}$   
 Kurve 3:  $v_0 = 3,1 \text{ m/s}$

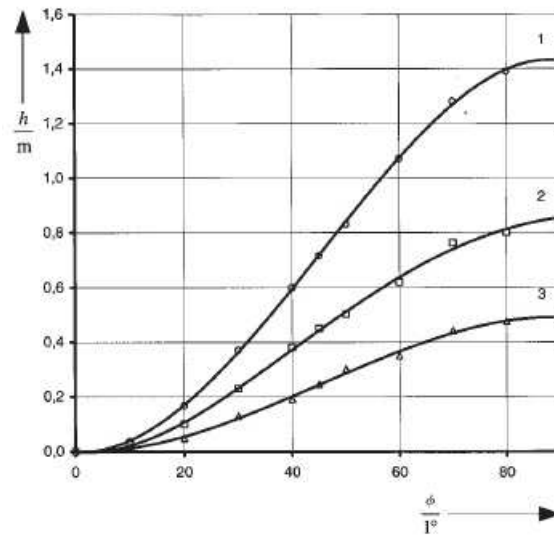


Abbildung 4: Maximale Höhe der Flugbahn  $h$  als Funktion des Abschusswinkels  $\phi$  für die Anfangsgeschwindigkeiten aus Abb. 1.

Die maximale Reichweite  $s$  wird unabhängig von der Anfangsgeschwindigkeit immer bei einem Austrittswinkel von  $45^\circ$  erreicht. In Abb. 5 ist für einen Winkel von  $45^\circ$  die maximale Reichweite  $s$  gegen die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  aufgetragen. Durch die doppelt-logarithmische Darstellung lässt sich so eine Regressionsgerade durch die Punkte legen und somit für weitere Geschwindigkeiten die zugehörige Reichweite ermitteln.

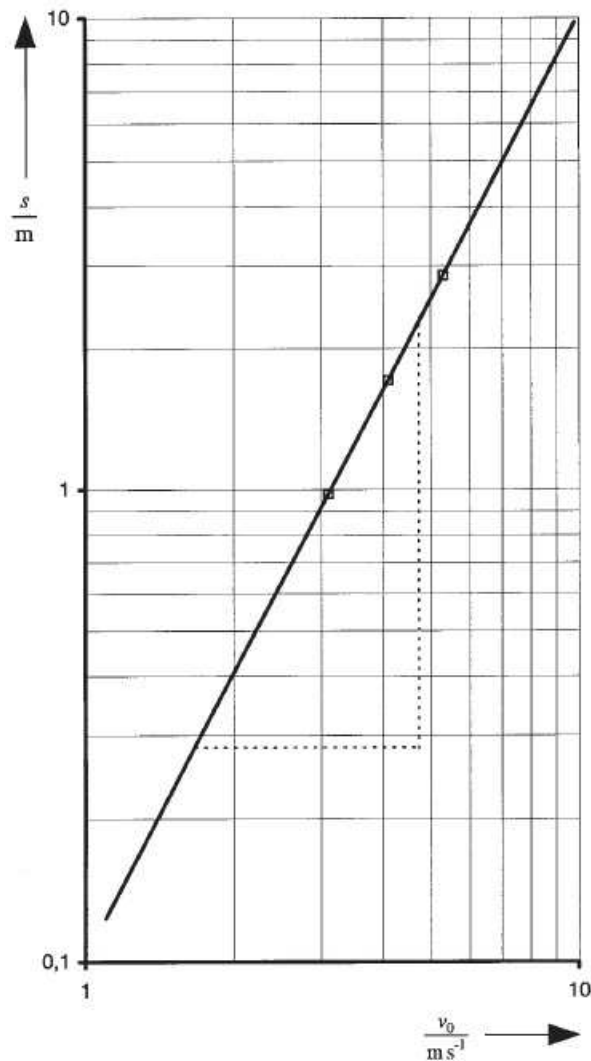


Abbildung 5: Maximale Reichweite  $s$  als Funktion der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  mit festem Abschusswinkel  $\phi = 45^\circ$ .

## Hinweis

Um die genaue Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit zu gewährleisten, muss die Zeit, die die Kugel für das Zurücklegen des Messwegs benötigt, einbezogen werden. Abhängig vom Austrittswinkel verlässt die Kugel die Lichtschranken bereits mit einer reduzierten Geschwindigkeit. Wenn  $v_{\text{exp}}$  die experimentell bestimmte Anfangsgeschwindigkeit ist, so erhalten wir für die tatsächliche Anfangsgeschwindigkeit

$$v_0 = \sqrt{v_{\text{exp}}^2 + gd \sin \phi}$$

mit  $d$  als Abstand zwischen dem Bolzen des Wurfgeräts und dem Mittelpunkt zwischen den Lichtschranken.