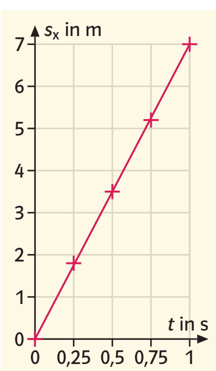
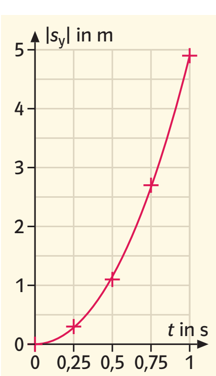
1.6 Wurfbewegungen

Das Werfen, mit Stein oder Speer, machte den Menschen zum erfolgreichen Jäger, da er über größere Entfernungen Ziele treffen konnte.

B1 Sprung mit Anlauf



B2



B3

Der waagerechte Wurf

Christian steht auf der Plattform eines 10-m-Turms im Freibad. Besteht die Gefahr, dass er bei schnellem Anlauf den gegenüberliegenden Beckenrand erreichen könnte? Wenn er losspurtet und an der Kante des Sprungbretts nach vorne abspringt, beschreibt Christian eine gekrümmte Flugbahn. **B4** zeigt den Verlauf seiner Bewegung.

Im Koordinatensystem benötigt man zwei Ortsachsen, die s_x-Achse in waagerechter und die s_y-Achse in senkrechter Richtung. Der Ursprung des Koordinatensystems wurde in den Startpunkt der Bewegung gelegt. In diesem Diagramm hat die Zeit t keine eigene Achse, trotzdem gehört zu jedem Punkt der Bahnkurve genau ein Zeitpunkt.

Die Bewegung, die Christian ausführt, heißt **waagerechter Wurf**. Wird ein waagerechter Wurf genau von vorn oder von sehr weit oben betrachtet, so scheint es sich jeweils um eine geradlinige Bewegung zu handeln. Man sieht entweder nur die Veränderung der s_x- oder der s_y-Koordinate mit der Zeit. Der zeitliche Verlauf der Bewegung wird deshalb in beiden Richtungen getrennt untersucht. Dazu werden die Messwerte aus **B4** verwendet.

Das t-s_x-Diagramm (→**B2**) zeigt einen linearen Zusammenhang zwischen dem Weg in waagerechter Richtung s_x und der Zeit t. Dies deutet auf eine **gleichförmige Bewegung** hin. In waagerechter Richtung bewegt sich Christian also mit konstanter Geschwindigkeit, in diesem Fall mit 7 m/s.

Springt Christian waagerecht vom Plattformrand ab, kommt er zum gleichen Zeitpunkt im Wasser an, wie wenn er sich einfach nur fallen lässt (→**B4**), obwohl sein Weg länger ist.
Das zugehörige t-s_y-Diagramm **B3** zeigt eine Parabel. Es handelt sich bei der Bewegung in senkrechter Richtung um eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung**. Die Beschleunigung beträgt etwa 10 m/s^2.
Das heißt, dass ein waagerecht in s_x-Richtung geworfener Gegenstand in s_y-Richtung eine reine Fallbewegung ausführt, sofern man vom Luftwiderstand absieht.
Der waagerechte Wurf setzt sich also aus zwei Bewegungen zusammen, die sich nicht beeinflussen: einer gleichförmigen Bewegung in waagerechter Richtung und einem freien Fall.

Bewegungsgesetze

Die Analyse von Christians Bewegung ergibt für die Bewegungsgleichungen in x-Richtung:

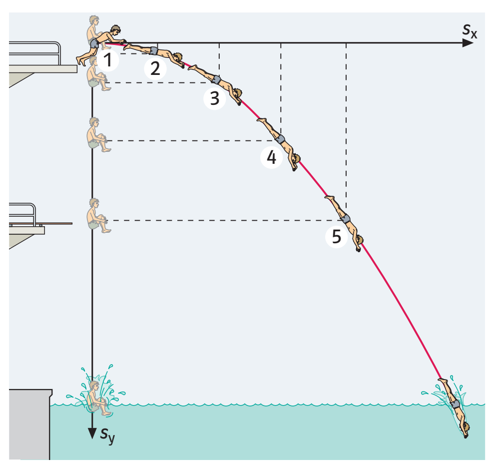
$$s_x = v_0 \cdot t;\ v_x = v_0;\ a_x = 0 \quad (1)$$

In y-Richtung bewegt sich Christian nach den Gesetzen des freien Falls:

$$s_y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2;\ v_y = g \cdot t;\ a_y = g \quad (2)$$

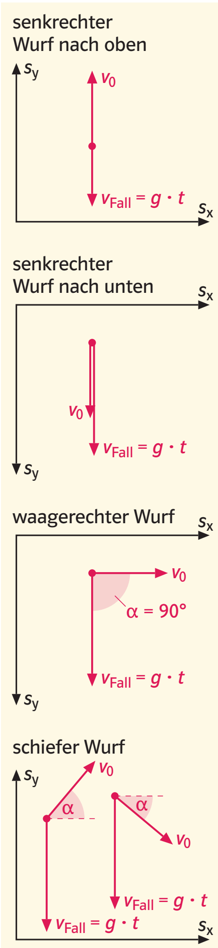
Lösen wir die erste Gleichung von (1) nach t auf und setzen sie in (2) ein, so erhalten wir:

$$t = \frac{s_x}{v_0} \text{ in (2)} \quad \Rightarrow \quad s_y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \frac{s_x^2}{v_0^2} \quad (3)$$

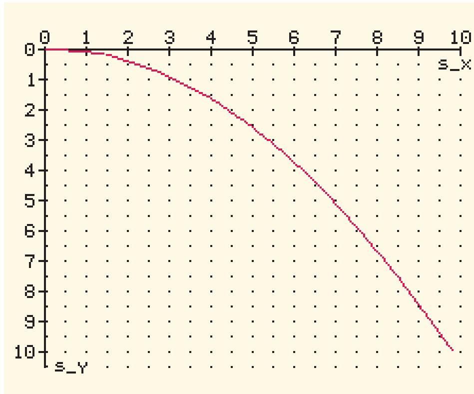


Position	1	2	3	4	5
t in s	0,0	0,25	0,50	0,75	1,0
s_x in m	0	1,8	3,5	5,2	7,0
s_y in m	0	0,3	1,1	2,7	4,9

B4



B1



B3

Wegen $s_y \sim s_x^2$ ist dies die Gleichung einer Parabel, der sogenannten **Wurfparabel**.

Vergleichen wir noch die in der Tabelle aufgeführten Werte von s_y (= $s_{y;\,exp}$) mit den nach der Formel (3) berechneten ($s_{y;\,ber}$), so finden wir eine gute Übereinstimmung.

$s_{y;\,exp}$ in m	0	0,3	1,1	2,7	4,9	9,75
$s_{y;\,ber}$ in m	0	0,31	1,23	2,76	4,90	9,61

Wurfweite

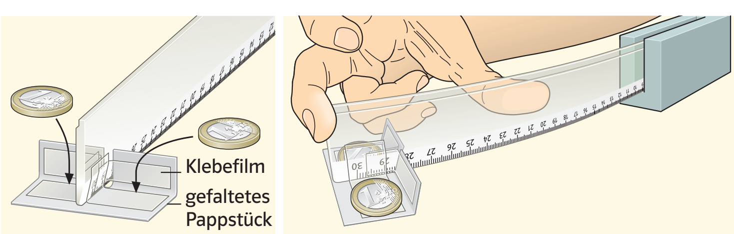
Interessant ist die Ausgangsfrage, wie weit Christian maximal in waagerechter Richtung kommen könnte, welche Wurfweite $s_{x,\,max}$ also erreicht würde. Da Christian aus 10 m Höhe abspringt, können wir die Fallzeit berechnen:

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{2 \cdot \frac{h}{g}} = \sqrt{2 \cdot \frac{10\,\text{m}}{9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1{,}4\,\text{s}$$

In dieser Zeit erreicht er in x-Richtung

$$s_{x,\,max}(t = 1{,}4\,\text{s}) = x_W = v_0 \cdot t = 7\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1{,}4\,\text{s} = 9{,}8\,\text{m}$$

Die Wurfweite beträgt hier also knapp 10 m. Berücksichtigt man, dass die Plattform aus Sicherheitsgründen etwa 3 m über den Beckenrand ragt, würde Christian bei 13 m im Wasser auftreffen.



B2 Versuch zum waagerechten Wurf

Ein zugelassenes Sprungbecken ist mindestens 18 m lang, sodass er ungefähr 5 m vor dem gegenüberliegenden Beckenrand ins Wasser tauchen würde.

Weitere Wurfbewegungen

Allgemein bezeichnet man als Wurf die Bewegung eines Körpers, bei der eine geradlinig gleichförmige Bewegung mit der Abwurfgeschwindigkeit v_0 und eine geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung zum Erdmittelpunkt (die Fallbewegung) gleichzeitig ablaufen, ohne sich zu beeinflussen.
Ohne Erdanziehung würde sich der Körper mit seiner Anfangsgeschwindigkeit v_0 geradlinig weiterbewegen, bis er irgendwo anstößt.

Betrachtet man die Richtung, die die Anfangsgeschwindigkeit eines Körpers hat, kommen zum waagerechten Wurf noch weitere Wurfarten hinzu (→**B1**). Dies sind
- der senkrechte Wurf nach oben,
- der senkrechte Wurf nach unten und
- der schiefe Wurf.

Bei zahlreichen Sportarten, wie z. B. Basketball und Hochsprung, findet man diese Bewegungen wieder.

Der senkrechte Wurf nach oben

Ein Pfeil wird vom Ort s_0 mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0 senkrecht nach oben geschossen. Er führt eine gleichförmige Bewegung aus, der eine Fallbewegung überlagert ist. Es gilt:

$$v = v_0 - g \cdot t \quad \text{und} \quad s = s_0 + v_0 \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2$$

Im höchsten Punkt ist die Geschwindigkeit null. Es ist $v_0 = g \cdot t_h$. Dieser Punkt wird nach der Zeit $t_h = v_0/g$ erreicht. Der Körper befindet sich dann in der Position

$$s_h = s_0 + v_0 \cdot \frac{v_0}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2}{g^2} = s_0 + \frac{v_0^2}{2g}$$

Alle Wurfbewegungen setzen sich aus einer gleichförmigen Bewegung und einer Fallbewegung zusammen. Die Bewegungen überlagern sich, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen.

A1 ● **a)** Führen Sie den in **B2** gezeigten Versuch durch. Beschreiben und vergleichen Sie die Bewegungen der beiden Münzen nach dem Loslassen des Lineals.
b) Filmen Sie die Bewegungen und werten Sie die Einzelbilder aus.