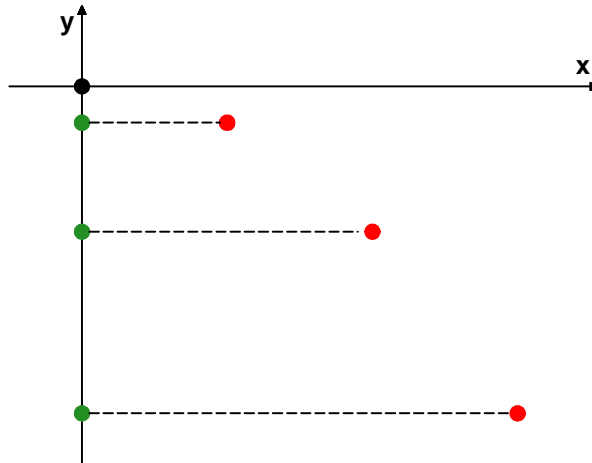


## IV. Der waagrechte Wurf- ebene Bewegungen

### 5.1 Ortsbeschreibung

Wird ein Körper der Masse  $m$  zur Zeit  $t = 0$  mit einer waagrecht gerichteten Geschwindigkeit vom Betrag  $v_0$  im Schwerfeld der Erde abgeworfen, dann nennt man sich unter dem Einfluß der Schwerkraft ergebende Bewegung einen waagrechten Wurf.



Für den waagrechten Wurf gilt das **Relativitätsprinzip** :

In allen Bezugssystemen, in denen der Newtonsche **Trägheitssatz** gilt, sind die physikalischen Gesetze die gleich. Solche Bezugssysteme heißen **Inertialsysteme**.

Jedes Bezugssystem, das sich mit gleichbleibender Geschwindigkeit zu einem Inertialsystem bewegt, ist selbst ein Inertialsystem.

Folgerung :

Die Koordinaten eines waagrecht abgeworfenen Körpers zur Zeit  $t$  ergeben sich zu

$$\boxed{\mathbf{x}(t) = \mathbf{v}_0 \cdot t} \quad \text{und} \quad \boxed{y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2}$$

Der Pfeil, der vom Ursprung des Bezugssystems, zum jeweiligen Ort des Körpers zeit, heißt **Ortsvektor**  $\vec{r}(t)$ .

Man schreibt

$$\boxed{\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{x}(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{v}_0 \cdot t \\ -\frac{1}{2} g \cdot t^2 \end{pmatrix}}$$

Stellt man die y-Koordinate des Körpers als Funktion der x-Koordinate dar, dann erhält man Gleichung der **Bahnkurve**

$$t = \frac{x}{v_0} \text{ in } y = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 \text{ eingesetzt ergibt } y = -\frac{1}{2}g \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = -\frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2$$

Die Bahnkurve beim waagrechten Wurf ist eine nach unten geöffnete Parabel mit dem Abwurfpunkt als Scheitel.

$$y = -\frac{1}{2}g \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = -\frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2$$

Ist die durchfallene Höhe gleich H, dann gilt für die Wurfweite W

$$W = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}}$$



## 5.2 Die Geschwindigkeit

---

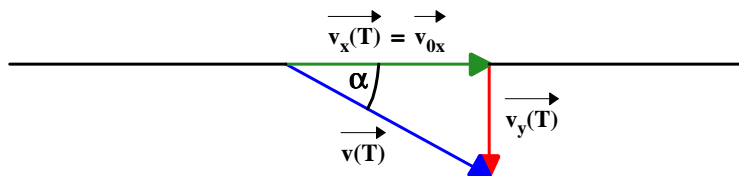
Die geometrischen Geschwindigkeiten in x und y Richtung sind die Koordinaten des Geschwindigkeitsvektors

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} v_0 \\ -g \cdot t \end{pmatrix}$$

Dies ist ein zur Bahnkurve tangential gerichteter Vektor. Sein Betrag

$$v(t) = \sqrt{v_0^2 + g^2 \cdot t^2}$$

heißt Bahngeschwindigkeit und gibt den zurückgelegten Weg pro Zeiteinheit an



Ist T die Wurfdauer, dann ist der Auftreffwinkel  $\alpha$  gegen die Horizontale gegeben durch

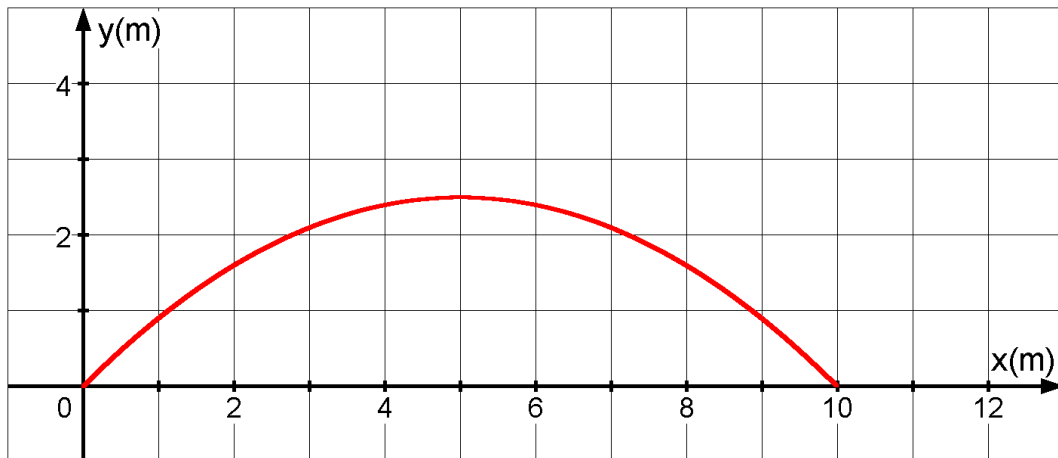
$$\tan \alpha = \frac{v_0}{g \cdot T}$$

---

### 4.3 Der schiefe Wurf

---

---



Wird ein Körper unter einem Winkel  $\alpha$  gegen die Horizontale mit der Geschwindigkeit vom Betrag  $v_0$  im Schwerfeld der Erde abgeworfen, dann spricht man von einem schiefen Wurf.

x-Koordinate der Geschwindigkeit :  $v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$

y-Koordinate der Geschwindigkeit :  $v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$

Beobachter, der sich mit der Geschwindigkeit  $v_{0x}$  mitbewegt, sieht einen senkrechten Wurf nach oben.

Also gilt für die y-Koordinate des Körpers zur Zeit t

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

Beobachter, der diesen Wurf nach oben mitmacht, sieht eine lineare Bewegung mit der Geschwindigkeit  $v_{0x}$ .

Also gilt für die x-Koordinate des Körpers zur Zeit t

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

Damit ergibt sich als Ortsvektor :

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t \\ v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \end{pmatrix}$$

Gleichung der Bahnkurve :

$$x = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t \Rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos\alpha}$$

In  $y = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$  eingesetzt

$$y = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cos\alpha} - \frac{1}{2} g \cdot \left( \frac{x}{v_0 \cos\alpha} \right)^2 = \tan\alpha \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} \cdot x^2$$

**Ergebnis :**

Die Bahnkurve beim schiefen Wurf ist Teil einer nach unten geöffnete Parabel.

Bedingung für die **Wurfweite W** :

$$y = 0 \Leftrightarrow \tan\alpha \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 = 0 \Leftrightarrow$$

$$x = 0 \text{ (Abwurf)} \vee x = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha \text{ (Wurfweite)}$$

$$\mathbf{W = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha}$$

Bedingung für maximale Wurfweite bei vorgegebener Abwurfgeschwindigkeit :  $\alpha = 45^\circ$

Geschwindigkeitsvektor :

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} v_0 \cdot \cos\alpha \\ v_0 \cdot \sin\alpha - g \cdot t \end{pmatrix}$$

Bedingung für die halbe Wurfdauer T :

$$v_y\left(\frac{T}{2}\right) = v_0 \cdot \sin\alpha - g \cdot \frac{T}{2} = 0 \Leftrightarrow T = \frac{2v_0 \cdot \sin\alpha}{g}$$

Also ist die **Wurfdauer T** gegeben durch

$$\mathbf{T = \frac{2v_0 \cdot \sin\alpha}{g}}$$

Maximale **Wurfhöhe H** :

$$H = y\left(\frac{T}{2}\right) = v_0 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{v_0 \sin\alpha}{g} - \frac{1}{2}g \cdot \left(\frac{v_0 \sin\alpha}{g}\right)^2 = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$$

$$\mathbf{H = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}}$$

---