



Flughöhe  $y$  in m

( $y$ -Achse zur besseren Darstellung um den Faktor 4 gestreckt.)

5

4

3

2

10

20

30

40

Abschusswinkel

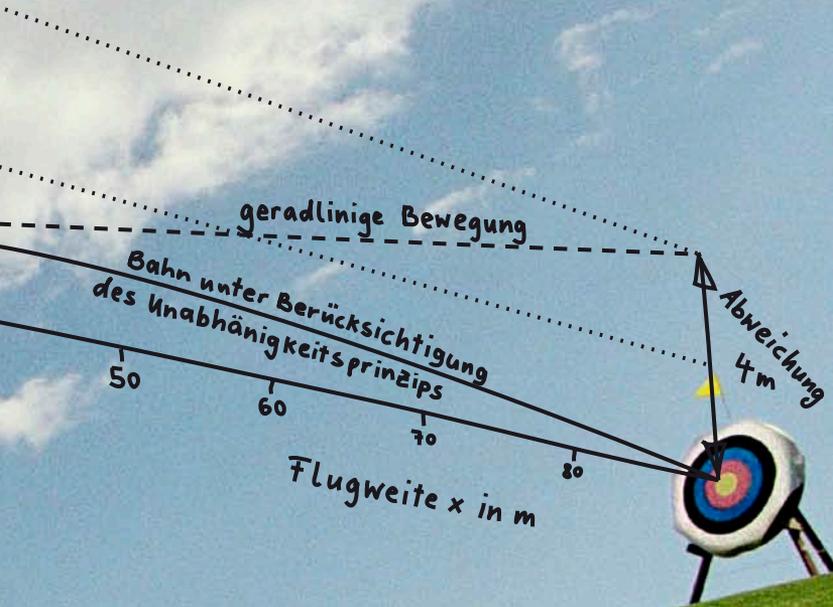
Der Pfeil eines Bogenschützen findet auf einer ballistischen, asymmetrischen Kurve ins Ziel. Über den Weg dorthin hat sich auch der berühmte Physiker Galileo Galilei seine Gedanken gemacht:

FORMELSAMMLUNG

# PFEIL-SCHNELL

Selbst für Virtuosen des Bogenschießens wie einen Robin Hood gilt die Physik.\*

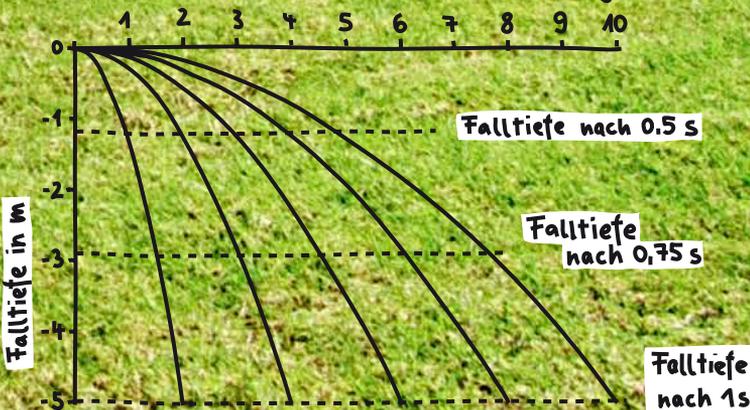
$$\tan \alpha = \frac{y}{x} \Rightarrow \alpha = \arctan \left( \frac{y}{x} \right) = 2,5^\circ$$



$$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

Gegenstände, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit horizontal abgeworfen werden, fallen in derselben Zeit gleich tief.

Flugweite in m



Eine knifflige Frage: Sie stehen auf einem fünf Meter hohen Turm und lassen einmal einen Pfeil aus der bloßen Hand senkrecht nach unten fallen, einmal schießen Sie ihn horizontal mit dem Bogen ab. Welcher Pfeil fällt schneller zu Boden?

Vor der Antwort ein Zeitsprung: 1605 entdeckt der berühmte Physiker Galileo Galilei eine Gesetzmäßigkeit, die heute als das Unabhängigkeitsprinzip bekannt ist. Man kann dieses so formulieren: Egal welche Horizontalgeschwindigkeit ein Objekt hat, in vertikaler Richtung fällt es in derselben Zeit immer gleich weit nach unten.

Die Falltiefe  $s$  kann man (unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes) mit der Gleichung  $s = (g/2) \cdot t^2$  berechnen. Dabei ist  $g$  die Fallbeschleunigung (etwa  $10 \text{ m/s}^2$ ) und  $t$  die Fallzeit in Sekunden. Setzt man für  $t$  1 Sekunde ein, erhält man für die Falltiefe 5 Meter. Man kann in diesem Fall das Unabhängigkeitsprinzip so formulieren: Egal welche Horizontalgeschwindigkeit ein Objekt hat, in vertikaler Richtung fällt es in 1 Sekunde immer 5 Meter tief. Unser Pfeil wird also in beiden Fällen in 1 Sekunde auf den Boden fallen, der sich 5 Meter tiefer befindet.

Das Unabhängigkeitsprinzip hat im Bogensport große Bedeutung. Bei Meisterschaften wird mit Sportbögen auf Scheiben geschossen, die bis zu 90 Meter entfernt sind. Diese Bögen erzeugen Abschussgeschwindigkeiten bis zu  $360 \text{ km/h}$  ( $100 \text{ m/s}$ ). Der Pfeil benötigt also  $0,9 \text{ s}$  bis ins Ziel. Setzt man diese Zeit in obige Gleichung ein, ergibt sich trotz des Höllentempos eine Falltiefe von rund vier Metern. Der Schütze muss also 4 Meter über die Scheibe halten, sonst bohrt sich der Pfeil vor der Scheibe in den Boden. (In Wirklichkeit ist die Situation komplizierter, weil der Pfeil während des Flugs gebremst wird und daher keine Flugparabel beschreibt, sondern eine ballistische, asymmetrische Kurve.)

Unter welchem Winkel muss der Schütze nach oben abschießen? Zwischen dem Abschusswinkel  $\alpha$ , der Flugweite  $x$  (90 m) und der Flughöhe  $y$  im Ziel ohne Berücksichtigung des Unabhängigkeitsprinzips (4 m) besteht der Zusammenhang  $\tan \alpha = (y/x)$ . Daraus folgt  $\alpha = \arctan (y/x) = 2,5^\circ$ . Das ist mit freiem Auge nicht auszumachen. Betrachtet man aber einen fliegenden Pfeil von hinten oder vorn, was die Flugbahn perspektivisch zusammenstaut, ist die Flugparabel gut erkennbar.

Das Unabhängigkeitsprinzip bringt auch Helden wie Robin Hood in Bedrängnis. Horizontale Schüsse, oft in Filmen zu sehen, sind Legende. Und weil Märchenschützen über kein modernes Hightech verfügen und ihre Pfeile somit langsamer sind, heißt es: noch viel, viel höher zielen.

\* Mag. DDr. Martin Apolin, 46, promovierter Physiker und Sportwissenschaftler, arbeitet als AHS-Lehrer (Physik, Sportkunde) und Lektor an der Fakultät für Physik in Wien und ist mehrfacher Buchautor.