

3.5 Freier Fall und senkrechter Wurf

Videomaterial

- senkrecht fallender Körper mit oder ohne Anfangsgeschwindigkeit bei vernachlässigbarem Luftwiderstand;
- senkrecht hüpfender Ball;
- senkrecht springende Person.

Einsatzmöglichkeiten

- Bewegungsgesetze für eine gleichförmig beschleunigte Bewegung;
- Messung der Fallbeschleunigung;
- Energiebetrachtungen.

Durchführung und Auswertung

Als freier Fall wird in der Regel eine reibungslose Fallbewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit bezeichnet. Gibt es eine Anfangsgeschwindigkeit in vertikaler Richtung, so spricht man vom senkrechten Wurf. Die einzige am Körper angreifende Kraft ist die Gravitationskraft. Die Bewegung eines senkrecht hüpfenden Gummiballs kann bei entsprechender Wahl des Zeitausschnitts sowohl zur Untersuchung des freien Falls als auch des senkrechten Wurfs genutzt werden. Darüber hinaus ermöglicht sie interessante Energiebetrachtungen. Für Schüler sehr beeindruckend ist der freie Fall eines großen Gegenstands (z. B. Medizinball) aus einem der oberen Stockwerke des Schulgebäudes. Um perspektivische Verzerrungen bei der Videoaufnahme möglichst gering zu halten, sollte dabei aus großer Entfernung ein freier Blick auf die Fassade vorhanden sein.

Bewegungsgesetze und Fallbeschleunigung

Ein Streifenbild wie in Abbildung 1 kann als Vorstufe zum Verständnis des Zeit-Ort-Diagramms dienen, welches sich aus mehreren nach unten

geöffneten Parabelbögen zusammensetzt. Das Streifenbild darf nicht mit dem Stroboskopbild eines schräg geworfenen Balles verwechselt werden, das eine Bahnkurve repräsentiert (vgl. „3.9 Schräger Wurf“).

Durch eine Videoanalyse gewinnt man die Diagramme für den Ort, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit. Wird der Zeitausschnitt so gewählt, dass der Videoclip beim Loslassen des Balles beginnt und beim ersten Kontakt mit dem Boden endet, so entspricht die Bewegung dem freien Fall. Wenn das Video hingegen den Abschnitt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bodenberührungen umfasst, dann ist die Bewegung ein senkrechter Wurf. Die Fallbewegung und die Wurfbewegung unterscheiden sich also nur in den Anfangsbedingungen. Die Fallbeschleunigung g kann auf unterschiedliche Arten aus dem Video ermittelt werden:

- Berechnung mittels Differenzenquotienten aus den Ortsmesswerten;
- Berechnung mittels der Bewegungsgesetze für die gleichförmig beschleunigte Bewegung;

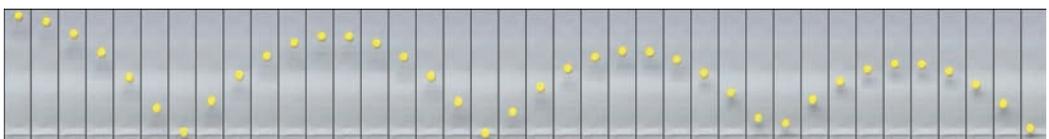
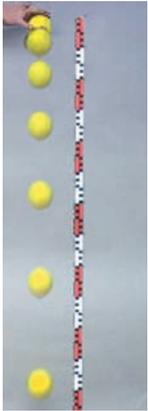


Abb. 1: Streifenbild eines hüpfenden Balles



Kugelbild Nr.	Fallstrecke s in m	Fallzeit t in s	Beschleunigung a in m/s^2
0	0	0	—
1	0,03	0,08	9,4
2	0,14	0,16	10,9
3	0,30	0,24	10,4
4	0,53	0,32	10,4
5	0,80	0,40	10,0
6	1,13	0,48	9,8

Tabelle 1: Ermittlung der Fallbeschleunigung eines Körpers

- Fitten der Messwerte im Zeit-Ort-Diagramm;
- Fitten der Messwerte im Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm;
- Fitten der Messwerte im Zeit-Beschleunigung-Diagramm.

Beim freien Fall werden die Anfangsbedingungen am geschicktesten so gewählt, dass der Ortsnullpunkt und der Zeitnullpunkt beim Loslassen des Körpers liegen. Es kann sinnvoll sein, die Ortsachse in Bewegungsrichtung zeigen zu lassen, also nach unten. Eine nach oben gerichtete Ortsachse entspricht hingegen eher der Konvention. Im ersten Fall ergibt sich ein positiver und im zweiten Fall ein negativer Wert für die Fallbeschleunigung. Da die Bewegung beim senkrechten Wurf erst nach oben und dann nach unten verläuft, wählt man hier die Ortsachse in der Regel nach oben zeigend und den Abwurfpunkt als Orts- und Zeitnullpunkt. Die Bewegungsgesetze lauten dann mit Anfangsort s_0 und Anfangsgeschwindigkeit v_0 :

$$s(t) = 0,5 \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

$$a(t) = a$$

Variiert man die Parameter s_0 , v_0 und a so lange, bis der Funktionsgraph mit den Messwerten im

Diagramm optimal übereinstimmt, so ergibt sich mit $|a| \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ meist ein sehr guter Näherungswert für die Fallbeschleunigung.

Rechnerisch kann die Beschleunigung durch Bildung von Differenzenquotienten (wie in „3.3 Schiefe Ebene“) oder mit Hilfe der Bewegungsgesetze ermittelt werden. Dazu genügt ein Stroboskopbild des freien Falls mit Maßstab und Angabe der Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Ballpositionen. Tabelle 1 zeigt beispielhaft eine solche Messung. Im Anschluss an die Auswertung bietet sich eine Diskussion über die möglichen Ursachen für die Abweichung vom Literaturwert g an. Die Ungenauigkeiten bei der Streckenmessung wirken sich sicherlich am stärksten aus, da mit Hilfe des Maßstabs höchstens auf einen Zentimeter genau gemessen werden kann. Bei kurzen Fallstrecken fällt dieser Fehler mehr ins Gewicht als bei langen Fallstrecken.

Fallbeschleunigung auf dem Mond

Das Serienbild in Abbildung 2 zeigt einen Astronauten der „Apollo 16“-Mission, der auf der Mondoberfläche senkrecht in die Höhe springt und dabei vor der amerikanischen Flagge salutiert. Das Video wurde mit 30 Frames pro Sekunde aufgenommen. Die Bilderreihe zeigt nur jedes zwölfte Bild zwischen dem Moment des Abhebens und dem Moment des Aufkommens. Es vergeht also