

Verschiedene Wege, die Erdbeschleunigung g zu bestimmen

Patrik Vogt, Essingen

II/A

Für die Kinematik und Dynamik stellt die Erdbeschleunigung eine der wichtigsten Naturkonstanten dar. In dem Stationen-zirkel geht es um die experimentelle Bestimmung dieser Konstanten. Der Beitrag beinhaltet viele Versuchsanleitungen, so z. B. zur schiefen Ebene, zur Untersuchung des freien Falls mittels Videoanalyse, zu verschiedenen akustischen Varianten, zu Pendelexperimenten wie auch zur Atwood'schen Fallmaschine.

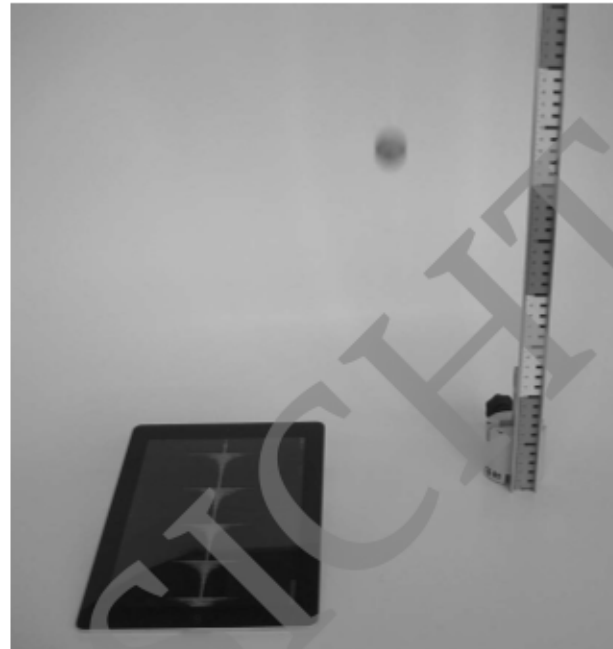


Foto: P. Vogt

Akustische Messungen mit springenden Bällen

Für die beschriebenen Versuche benötigen Sie lediglich Standardmaterialien, welche üblicherweise in der Physiksammlung vorhanden sind.

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 11 Dauer: 4–5 Stunden Ihr Plus: ✓ Insbesondere werden Kompetenzen aus dem Bereich „Fachmethoden“ gefestigt und weiter ausgebaut (vgl. Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung, Kompetenzbereich „Fachmethoden“).	Inhalt: • Videoanalyse des freien Falls • Verzögerter Fall (schiefe Ebene, Atwood'sche Fallmaschine) • Pendelversuche (Faden- und Federpendel, Pendel nach Whiting) • Akustische Messungen (Fallzeitbestimmung, Dopplereffekt, springende Bälle)
---	---

II/A

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit; SV = Schülerversuch; Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt

⌚ D = Durchführungszeit; Fo = Folie

M 1	Fo	Einführung in den Stationenzirkel	
	⌚ D: 15 min		
M 2	Ab	Die „g-Bestimmung“ – Laufzettel zum Stationenzirkel	
M 3	SV	Der freie Fall mit Videoanalyse	
	⌚ V: 5 min	☐ Digitalkamera	☐ Maßstab
	⌚ D: 20 min	☐ Kugel/Springball	☐ Videoanalysesoftware (z. B. Viana.NET)
		☐ leistungsstarker Halogenstrahler (z.B. Baulampe)	
M 4	SV	Der verzögerte Fall an der schiefen Ebene	
	⌚ V: 5 min	☐ Schiefe Ebene	☐ Stoppuhr
	⌚ D: 20 min	☐ Stativmaterial	☐ Zollstock
		☐ Stahlkugel	
M 5	SV	Der verzögerte Fall bei der Atwood'schen Fallmaschine	
	⌚ V: 5 min	☐ Feste Rolle	☐ Maßstab mit Zeiger
	⌚ D: 25 min	☐ Stativmaterial	☐ Satz Massestücke
		☐ Faden	☐ Büroklammern
		☐ Stoppuhr	☐ Waage
M 6	SV	Das mathematische Pendel – Pendelversuch 1	
	⌚ V: 5 min	☐ Faden	☐ Stoppuhr
	⌚ D: 15 min	☐ Aufhängung	☐ Zollstock
		☐ Stativmaterial	
M 7	SV	Das Federpendel – Pendelversuch 2	
	⌚ V: 5 min	☐ Feder	☐ Stoppuhr
	⌚ D: 20 min	☐ Aufhängung	☐ Satz Massestücke
		☐ Stativmaterial	☐ Maßstab mit Zeiger
M 8	SV	Das Pendel nach Whiting – Pendelversuch 3	
	⌚ V: 5 min	☐ Schiefe Ebene	☐ Stoppuhr
	⌚ D: 20 min	☐ Stativmaterial	☐ Papier
		☐ Faden	☐ Kohlepapier
		☐ Feuerzeug	☐ Zollstock
		☐ Reißzwecke	
M 9	SV	Die Bestimmung der Fallzeit – akustische Messung 1	
	⌚ V: 5 min	☐ 2 Stahlkugeln	☐ Zollstock
	⌚ D: 15 min	☐ Laptop + Mikrofon, alternativ Tablet PC oder Smartphone	☐ Audacity oder vergleichbare Software
M 10	SV	Der Dopplereffekt – akustische Messung 2	
	⌚ V: 5 min	☐ Handy mit mp3-File eines Tons konstanter Frequenz; alternativ Smartphone mit Tongenerator	☐ PC mit externem Mikrofon
	⌚ D: 25 min	☐ weiche Unterlage	☐ Software SPEAR
			☐ Software Audacity
M 11	SV	Springende Bälle – akustische Messung 3	
	⌚ V: 5 min	☐ Laptop mit der Software Audacity, alternativ iPad/iPod touch/iPhone mit der App „Oscilloscope“	☐ Springball
	⌚ D: 20 min		☐ Zollstock

Die Erläuterungen und Beispielmessungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 17.

M 3 Der freie Fall mit Videoanalyse



Führen Sie den Versuch durch. Schreiben Sie ein **Protokoll** mit der Gliederung:
1. Aufbau, 2. Durchführung, 3. Beobachtung, 4. Auswertung.

Schülerversuch: Theoretischer Hintergrund

Für frei fallende Körper gelten unter Vernachlässigung der Luftreibung das

Weg-Zeit-Gesetz: $s(t) = \frac{1}{2} g t^2 + v_0 t + s_0$ und das

Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz: $v(t) = g t + v_0$

($s \triangleq$ Fallstrecke, $t \triangleq$ Fallzeit, $v \triangleq$ Geschwindigkeit, $g \triangleq$ Erdbeschleunigung).

Die Bestimmung der Fallstrecke und Fallzeit ermöglicht somit eine sehr anschauliche Möglichkeit, die Erdbeschleunigung g experimentell zu bestimmen. Allerdings stellt die Methode eine hohe Anforderung an die Zeitmessung, weshalb meist computergestützte Verfahren – z. B. Lichtschrankenmessungen – zum Einsatz kommen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den freien Fall mithilfe eines aufgenommenen Videos zu untersuchen. Hierbei wird mit einer Videoanalysesoftware (z. B. **Viana.NET**) durch eine Einzelbildauswertung die Bewegung eines gefilmten Objekts nachverfolgt. Nach dem Kalibrieren der Versuchsanordnung (hierzu wurde im dargestellten Video ein in der Fallebene platziertes, 31 cm langes Holzlineal mitgefilmt) kann man dem Video die Orts-Zeit-Koordinaten des Objekts entnehmen, woraus die Software selbstständig weitere kinematische Größen errechnet.

Durchführung/Auswertung

- Filmen Sie den freien Fall einer Stahlkugel/eines Springballs.
- Achten Sie auf eine ausreichende Beleuchtung, damit der Fallkörper auf den Einzelbildern des Videos scharf abgebildet wird.
- Filmen Sie einen Gegenstand bekannter Größe mit, welchen Sie in der Fallebene platzieren.

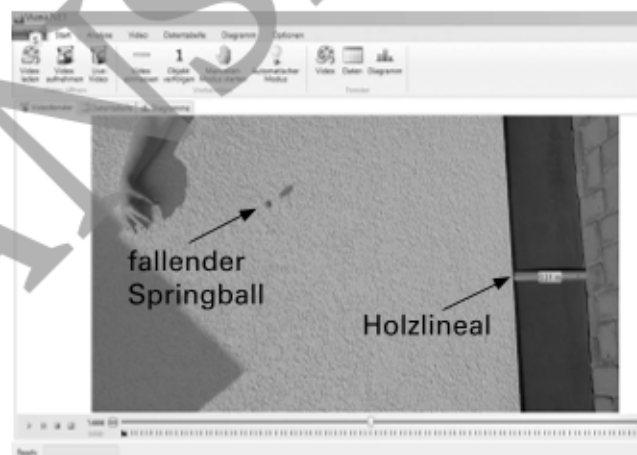


Abb. 1: Screenshot der kostenfreien Videoanalysesoftware Viana.NET

Auswertung

- Übertragen Sie das Video von der Digitalkamera auf einen Computer. Öffnen Sie es in der Software „Viana.NET“.
- Verschieben Sie die Zeitleiste des Videos bis zum Einsetzen des freien Falls und kalibrieren Sie das Video (Schaltfläche „Video einmessen“).
- Nehmen Sie nun die Orts-Zeit-Koordinaten anhand einer manuellen Analyse auf (Schaltfläche „Manuellen Modus starten“).
- Stellen Sie im Anschluss die Fallgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit grafisch dar; entsprechend dem oben angeführten Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz ergibt sich näherungsweise eine Gerade, deren Steigung der Erdbeschleunigung entspricht.
- Legen Sie durch die Messwerte eine lineare Trendlinie und entnehmen Sie der Geradengleichung die Erdbeschleunigung.

M 7 Das Federpendel – Pendelversuch 2



Führen Sie den Versuch durch. Schreiben Sie ein **Protokoll** mit der Gliederung:
1. Aufbau, 2. Durchführung, 3. Beobachtung, 4. Auswertung.

II/A

Schülerversuch: Theoretischer Hintergrund

Die Federkonstante D gibt an, wie hart oder weich eine Feder ist. Möchte man sie experimentell bestimmen, so bieten sich prinzipiell zwei Verfahren an: a) eine statische oder b) eine dynamische Messung. Bei der statischen Messung nutzt man das **Hooke'sche Gesetz**, also die Proportionalität von Ausdehnung x und angreifender Kraft F . D ist dann gerade die Proportionalitätskonstante, und es gilt:

$F = D \cdot x$ bzw. mit der Gewichtskraft $F = mg$

$$mg = Dx. \quad (1)$$

Bei der dynamischen Messung versetzt man das angehängte Massestück m in Schwingung und ermittelt die Periodendauer T .

Dann ist:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}} \quad \text{bzw.} \quad D = \frac{4\pi^2 m}{T^2}. \quad (2)$$

Bestimmt man zunächst die Federkonstante D über eine dynamische Messung (Gleichung 2), so lässt sich umgekehrt aus einer anschließenden statischen Messung (Gleichung 1) die Erdbeschleunigung bestimmen.

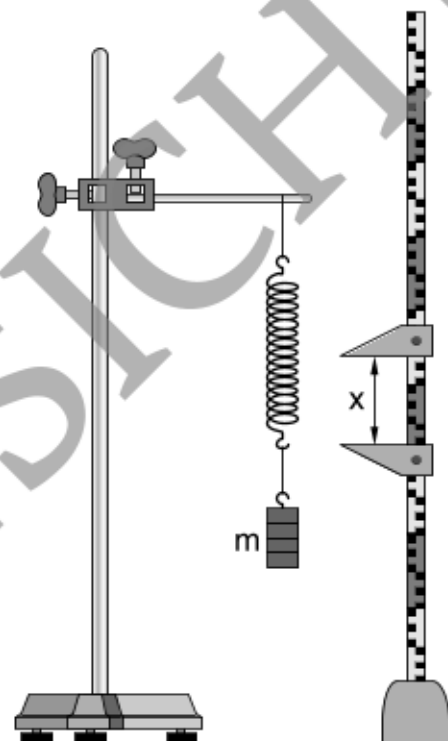


Abb. 5: Die Versuchsanordnung

Durchführung/Auswertung

- Belasten Sie die Feder durch Anhängen einer Masse derart, dass sich eine mittlere Ausdehnung ergibt.
- Versetzen Sie das System in Schwingung und messen Sie die Dauer von 10 Perioden (5 Versuchswiederholungen, dann Mittelwertbildung).
- Berechnen Sie aus der ermittelten Schwingungsdauer die Federkonstante D .
- Belasten Sie nacheinander die Feder mit mindestens fünf verschiedenen Massestücken und messen Sie die sich ergebenden Auslenkungen der Feder.
- Berechnen Sie aus Ihren Messwerten jeweils die Erdbeschleunigung und bestimmen Sie den Mittelwert.