

Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Das Aufzeichnen und Analysieren von Bewegungen spielt in der experimentellen Mechanik eine große Rolle. Mit Stoppuhr und Maßband stößt man allerdings schnell an technische Grenzen, da sich viele Bewegungen nicht mehr vermessen lassen, wenn sie z. B. zu schnell ablaufen. Beispiele hierfür sind **Fallbewegungen** unterschiedlichster Körper, **mechanische Schwingungen** und zahlreiche „reale“ Bewegungen aus dem Lebensumfeld der Schülerinnen und Schüler. Dennoch ist es wünschenswert, dass auch solche Bewegungen im Schülerexperiment erfasst und analysiert werden können.

Die computergestützte Messwerterfassung bietet neben der Videoanalyse eine einfache Möglichkeit mit einem Ultraschallabstandsmesser Bewegungen zu erfassen und anschließend zu analysieren. Dabei werden Ultraschallsignale ausgesendet, welche am nächsten Objekt reflektiert werden. Die Laufzeit bis zum Eintreffen des reflektierten Signals am Sensor wird gemessen. Das CBR 2TM von Texas Instruments ist darüber hinaus Dank eines eingebauten Prozessors in der Lage, die Entfernung des Objektes vom Sensor, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Messobjektes zu berechnen und auszugeben. Ein GTR oder ein CAS wird so in Verbindung mit einem Ultraschallabstandsmesser zu einem wertvollen und vielseitig einsetzbaren Werkzeug im experimentellen Mechanikunterricht.

Versuche

Nachfolgend werden aus der Vielfalt der möglichen Experimente mit Ultraschallabstandsmessern zwei Versuche beschrieben, die sich jeweils leicht als Schülerversuch durchführen lassen.

1. Versuch: Ein Ball rollt eine geneigte Ebene hinab, so dass die **Gesetze der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung** untersucht werden können.

2. Versuch: Im Mittelpunkt stehen **Fallbewegungen** unterschiedlicher Körper, bei denen auch die Luftreibung oder der Auftrieb eine Rolle spielen. Werden schwere, nicht zu große Bälle verwendet, kann vom freien Fall ausgegangen werden.

Material

Für alle Versuche werden benötigt:

- (Taschen-)Computer (hier TI-NspireTM CAS)
- Ultraschallbewegungssensor (hier CBR 2TM)

Zusätzlich für den 1. Versuch:

- geneigte Ebene
- Ball (z. B. 15 cm Durchmesser)

Versuchsaufbau



Versuch 1: Experimente an der geneigten Ebene

Zusätzlich für den 2. Versuch:

- Stativ für den Ultraschallsensor (ca. 2 m hoch)
- Fallkörper, z. B. verschiedene Bälle, Regenschirm, Papierkegel, Bücher (vgl. Tipps und Tricks, 6.)

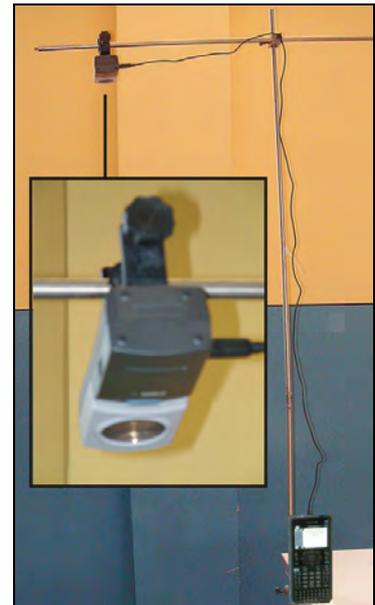
Versuchsdurchführung

In beiden Versuchen werden Bewegungen untersucht, indem der Abstand des sich bewegenden Körpers vom Sensor in Abhängigkeit von der Zeit gemessen wird.

1. Versuch: Ein Ball rollt eine geneigte Ebene hinab. Er rollt weitgehend gleichmäßig beschleunigt. Die Beschleunigung ist vom Neigungswinkel abhängig.

Vorbereitung: 10 min,

Durchführung: 35 min (mit Auswertung)



Versuch 2: Experimente zu Fallbewegungen

2. Versuch: Verschiedene Körper (vgl. Tipps und Tricks, 6.) werden fallen gelassen. Hierbei können sowohl der freie Fall als auch Fallbewegungen untersucht werden, bei denen die Luftreibung oder der Auftrieb eine Rolle spielen.

Vorbereitung: 10 min, Durchführung: 35 min (mit Auswertung)

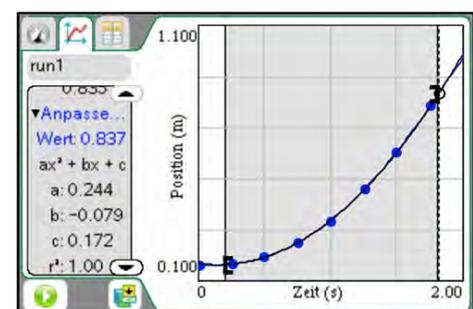
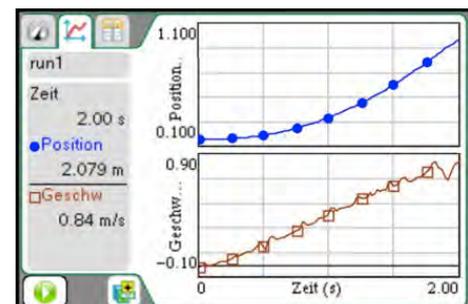
Einstellungen

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messrate, z. B. 50 Messungen pro Sekunde
- Länge des Experimentes, z. B. 2 s

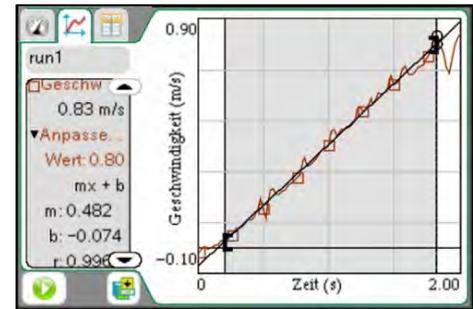
Hinweise zur Auswertung

Versuche mit einem Ultraschallabstandssensor lassen sich auf vielfältige Art und Weise auswerten.

Eine Möglichkeit für die Auswertung der gewonnenen Daten (*Abstands-Zeit-* und *Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm*) ist die Analyse der funktionalen Abhängigkeit des Weges und der Geschwindigkeit von der Zeit. Dazu kann die Regression durch eine quadratische bzw. lineare Funktion (vgl. Anleitung A10.) verwendet werden.



Um Ausreißer von Messwerten auszuschließen, kann der Bereich der Messwerte eingeschränkt werden. Dadurch lässt sich die Qualität der Regression verbessern.



Die Momentangeschwindigkeiten und Momentanbeschleunigungen lassen sich durch numerische Differentiation näherungsweise berechnen. Dabei kann der differenzielle Charakter der Größen *Geschwindigkeit* und *Beschleunigung* hervorgehoben werden (siehe Tipps und Tricks, 5.).

Für die Bewegungen sollen dabei diejenigen mathematischen Modelle gefunden werden, die diese bestmöglichst beschreiben.

Selbstverständlich lassen sich auch die vom CBR 2TM bereitgestellten Listen der Geschwindigkeit und Beschleunigung (siehe Tipps und Tricks, 5.) nutzen, wenn die Schülerinnen und Schüler ausreichend mit dem näherungsweisen Berechnen von Momentangeschwindigkeiten vertraut sind.

Tipps und Tricks

... zum CBR 2TM:

1. Der Abstand eines Körpers, bei dem der Sensor zuverlässig arbeitet, beträgt zwischen 0,15 m und 6 m.
2. Der Sensor verfügt über einen Empfindlichkeitsschalter mit zwei Modi: *Track* und *Normal*. Der Normalmodus ist für die meisten Experimente geeignet. Im Trackmodus arbeitet der Sensor mit einer verringerten Empfindlichkeit. Dieser Modus eignet sich daher für Experimente mit geringen Störgeräuschen, z. B. für Fahrbahnexperimente.
3. Der Öffnungswinkel des Ultraschallsignals beträgt 30°. Es wird also kein schmaler, gebündelter Strahl ausgesendet.
4. Die vom CBR 2TM gelieferten Geschwindigkeitsdaten werden durch numerisches Differenzieren der Abstandsdaten gewonnen:

$$v_n = \frac{\frac{d_{n+1} - d_{n-1}}{2}}{t_{n+1} - t_n}$$

5. Die Berechnung der Beschleunigungsdaten beruht auf dem gleichen Prinzip. Allerdings wirken sich Messungenauigkeiten und die zweifache numerische Differentiation verfälschend auf die Ergebnisse aus. Deshalb wird an dieser Stelle nicht mit den so berechneten Beschleunigungswerten gearbeitet.

... zum Fallexperiment:

6. Als Fallkörper kann im Prinzip alles verwendet werden, was das Ultraschallsignal ausreichend reflektiert. Kugeln und Bälle mit einem Durchmesser von 5 bis 20 cm fallen weitgehend frei, wenn sie nicht zu leicht sind. Ein Papierkegel (Durchmesser 20 cm, Öffnungswinkel 20°) oder ein Regenschirm bewegen sich zunächst beschleunigt, aber sehr schnell stellt sich aufgrund der Reibung eine gleichförmige Bewegung ein. Die Bewegung großer Gymnastikbälle (Durchmesser ab 80 cm) wird durch die Luftreibung kaum beeinflusst. Hier lässt sich aber die Wirkung des Auftriebs erkennen, wodurch die Fallbeschleunigung signifikant herabgesetzt wird.



Verschiedene Fallkörper