

### 3. Von der Erde beschleunigte Körper – der freie Fall

#### Zusammenhang

**59** **i** Bestimmt haben Sie in Kapitel 2 die Analyse der wohl häufigsten Bewegung vermisst, oder? Irgend ein Gegenstand fällt uns aus der Hand und auf den Boden. Das ist wohl die elementarste und natürlichste Bewegung, die wir kennen. Und sie ist auch irgendwie die grundlegendste, durch deren genaue Beobachtung viel Physik gelernt werden kann. Deshalb ist ihr ein eigenes Kapitel gewidmet.

#### Fallende Körper

**60** **i** Aus Erfahrung wissen wir: Ein **fallender Körper** wird – zumindest am Anfang – beschleunigt. Wir wissen auch, dass die **Erdanziehungskraft** die Ursache dafür darstellt. Wir untersuchen diese alltägliche Bewegung nun, um auch zu quantitativen Ergebnissen zu gelangen.

**61** **?** Nach einer Beschleunigungs-Phase geht die **Fallbewegung eines Schirmes** über in eine gleichförmige Bewegung.

- Skizzieren Sie das  $v$ - $t$ -Diagramm des fallenden Schirmes.
- Worin unterscheidet sich die Bewegung einer **fallenden Stahlkugel** von der Bewegung des **Fallschirmes**?
- Wie äussert sich dieser Unterschied im  $v$ - $t$ -Diagramm?
- Drängt sich eine Vermutung auf für die Bewegung der fallenden Stahlkugel? Wie könnte diese Vermutung experimentell überprüft werden?

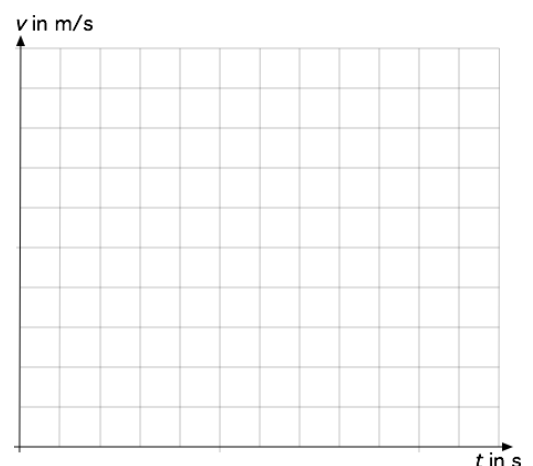
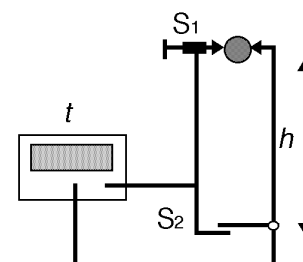
**62** **i** Im Unterricht wird eine **elektronische Fallzeitmessung** durchgeführt. Die Skizze zeigt die Grundidee der Messvorrichtung.

- Benützen Sie die folgende Tabelle für das Messprotokoll und zeichnen Sie die Werte für die abschnittswiseen mittleren Geschwindigkeiten als Stufendiagramm auf.


Fallhöhe in m	Fallzeit in s	Streckenabschnitt $\Delta s$ in m	Zeitspanne $\Delta t$ in s	mittlere Geschw. $\bar{v}$ in m/s
0				
0.2		0.2		
0.4		0.2		
0.6		0.2		
0.8		0.2		
1.0		0.2		

#### Ziele dieses Kapitels

- Sie kennen die Eigenschaften der Fallbewegung im leeren Raum.
- Sie kennen die Fallbeschleunigung der Erde und Messmethoden.
- Sie können einfache Berechnungen zur Fallbewegung und zum vertikalen Wurf durchführen



- b) Wird die vorgängig geäußerte Vermutung für die Charakterisierung der Bewegung bestätigt? Was können Sie alles aus dem Diagramm herauslesen?
- c) Was sich (zumindest innerhalb der Messgenauigkeit) nachweisen lässt halten wir im Kasten fest.

- 63**  Als Ergänzung zur oben angezeigten Messmethode kann im Unterricht auch noch eine Methode mit Hilfe des Datenerfassungssystem **LabPro** gezeigt werden. Man erhält die Daten, indem man eine Plexiglasplatte mit dunklen Streifen durch eine Lichtschranke fallen lässt. Näheres wird im Unterricht erläutert. Protokollieren Sie.



### Wir merken uns:

### Der Normwert der Fallbeschleunigung auf der Erdoberfläche beträgt


$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2.$$

Meist verwendete Näherungswerte

$$g \approx 9.81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2.$$

$g$  an verschiedenen Orten: Tabellen S. 10

## Schon Galilei

- 64**  Schon Galilei hatte sich über die Fallbewegung der Körper in seinem Buch *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme* (1632) Gedanken gemacht und ist dabei zu andern Schlüssen gekommen, als die damals vorherrschende Lehre von **Aristoteles** angab (beachte auch Kapitel 1).

Drei Partner/innen üben den folgenden Dialog zum freien Vortragen **uf Bärndütsch** ein.

[1] Simplicio: Er [Aristoteles] diskutiert zwei Fälle: erstens lässt er verschiedene Massen in ein und demselben Medium sich bewegen: zweitens ein und dieselbe Masse in verschiedenen Medien. Im ersten Falle behauptet er, ... dass z.B. ein 10 mal grösseres Gewicht sich 10 mal schneller bewege. Im andern Falle nimmt er an, ... dass wenn z.B. die Dichtigkeit des Wassers 10 mal so gross ist als die der Luft, die Geschwindigkeit in der Luft 10 mal grösser sei, als die Geschwindigkeit in Wasser.

[2] ... [also] wird jeder Körper, der im erfüllten Medium in einiger Zeit eine gewisse Strecke zurücklegt, im Vacuum sich momentan bewegen; aber eine instantane Bewegung ist unmöglich; mithin ist es unmöglich, dass in Folge der Bewegung ein Vacuum sich bilde.

[3] Sagredo: Aber ich, Herr Simplicio, ... versichere Euch, dass eine Kanonenkugel von 100, 200 und mehr Pfund um keine Spanne vor einer Flintenkugel von einem halben Pfund Gewicht die Erde erreichen wird, wenn beide aus 200 Ellen Höhe herabkommen. ...

[4] Simplicio: Unzweifelhaft hat ein Körper in einem gewis-

sen Mittel eine von Natur bestimmte Geschwindigkeit, die nur mit einem neuen Antrieb, oder durch ein Hindernis vermindert werden kann.

[5] Salviati: Wenn wir zwei Körper haben, deren natürliche Geschwindigkeit verschieden sei, so ist es klar, dass, wenn wir den langsameren mit dem geschwindigeren vereinigen, dieser von jenem verzögert werden müsste, und jener, der langsamere, müsste vom schnelleren beschleunigt werden. Seid Ihr hierin mit mir einverstanden?


Simplicio: Mir scheint die Consequenz völlig richtig.

[6] Salviati: Aber wenn dieses richtig ist, und wenn es wahr wäre, dass ein grosser Stein sich z.B. mit 8 Maass Geschwindigkeit bewegt, und ein kleinerer Stein mit 4 Maass, so würden beide vereinigt eine Geschwindigkeit von weniger als 8 Maass haben müssen; aber die beiden Steine zusammen sind doch grösser als jener grössere Stein war, der 8 Maass Geschwindigkeit hatte; mithin würde sich nun der grössere langsamer bewegen, als der kleinere; was gegen Eure Voraussetzung wäre. Ihr seht also, wie aus der Annahme, ein grösserer Körper habe eine grössere Geschwindigkeit, als ein kleiner Körper, ich Euch weiter folgern lassen konnte, dass ein grösserer Körper langsamer sich bewege als ein kleinerer.


Simplicio: Ich bin ganz verwirrt, ...

**65**  Die in Galileis Text von Salviati noch zu ziehende Folgerung prüfen wir **experimentell** nach.

Beschreiben Sie mit einigen Stichworten die Demonstration im Unterricht. Die Folgerung halten wir im Kasten fest.

**66**  **Ein Beispiel:** Eine Gymnasiastin lässt von einer Brücke einen Stein in einen Fluss fallen, um aus der Messung der Fallzeit deren **Höhe** zu berechnen. Sie stellt fest, dass zwischen dem Loslassen des Steines und dem Spritzen beim Aufschlag 2.7 Sekunden verstreichen.


- Welche Brückenhöhe und welche Aufschlagsgeschwindigkeit berechnet die Gymnasiastin?
- Welche Gedanken sollte sie sich zur Genauigkeit der Ergebnisse machen?

**67**  Ein senkrecht nach oben geworfener Körper wird abgebremst, also verzögert. Der Grund ist wiederum die Erdanziehungskraft. Die bremsende Kraft beim senkrechten Wurf ist somit gleich gross wie die beschleunigende Kraft beim freien Fall. Folglich muss die **Bremsbeschleunigung** beim **senkrechten Wurf** auch gleich gross sein wie die Beschleunigung im freien Fall.


**Wir merken uns:**

**Der vertikale Wurf**


### Probleme zum Üben

**68**  Eine weitere Gymnasiastin schafft es, aus dem Stand mit den Füßen 25 cm vom Boden weg zu **springen** (bei gestreckten Beinen gemessen).

- Welche Geschwindigkeit muss sie in dem Moment aufweisen, in dem sie den Bodenkontakt unter den Füßen verliert?
- Wie stark muss sie beschleunigen (es gibt verschiedene Schätzungsmöglichkeiten)?

**69**  Ein frei fallender Körper hat in einem Punkt A die Geschwindigkeit  $v_A$  und in einem tiefer gelegenen Punkt B die Geschwindigkeit  $v_B$ .

- Leiten Sie eine Formel her, mit welcher die Strecke  $s$  zwischen den Punkten A und B aus den gegebenen Geschwindigkeiten berechnet werden kann.
- Bsp:  $v_A = 40 \text{ cm/s}$ ,  $v_B = 150 \text{ cm/s}$ ,  $s = ?$

**70**  **Reaktionszeit-Test:** Sie können Ihre eigene Reaktionszeit mit einem Lineal folgendermassen testen: Ein Schüler hält den Lineal oben in der Mitte der Schmalseite fest. Der Versuchspartner hält am unteren Ende Daumen und Zeigfinger geöffnet in Bereitschaft, ohne aber den Lineal zu berühren. Nun lässt der eine Schüler den Lineal fallen. Der andere versucht, durch möglichst rasches Zugreifen mit den beiden Fingern den fallenden Lineal zu fassen. Auf dem Lineal können Sie nun direkt

den Fallweg ablesen und daraus die Fallzeit (= Reaktionszeit) berechnen.

- Führen Sie das Experiment mehrere Male mit unterschiedlich langen Wartezeiten durch. Bestimmen Sie daraus Ihre mittlere Reaktionszeit und die Messunsicherheit.
- Überlegen Sie sich zudem, warum Sie als Autofahrer, resp. als Autofahrerin für die Berechnung des Reaktionsweges nicht von der eben gemessenen Reaktionszeit ausgehen dürfen.

**71 ?** Zur Messung der **Tiefe eines Schachtes** kann man folgendermassen vorgehen. Man lässt einen Körper einen Schacht hinunterfallen und misst die Zeit, bis man den Aufschlag hört, möglichst genau. Nehmen wir an, es werde bei einem solchen Versuch eine Zeit von 3.15 s gemessen.

- Bestimmen Sie zuerst mit möglichst einfacher Rechnung die ungefähre Tiefe des Schachtes.
- Will man die Tiefe ganz genau bestimmen, so muss man berücksichtigen, dass vom Zeitpunkt des Aufschlages am Boden an gemessen, noch eine gewisse Zeit verstreicht, bis der Aufschlag am oberen Ende des Schachtes gehört wird. Wie tief ist der Schacht also wirklich? Entwickeln Sie ein Lösungsverfahren durch schrittweise Annäherung.

**72 R** Stimmt die in der Karrikatur angegebene **Eintauchgeschwindigkeit**? (1 foot = 0.3048 m und 1 mile = 1'609 m ist. *whiz* = Kanone, *drawback* = Nachteil)



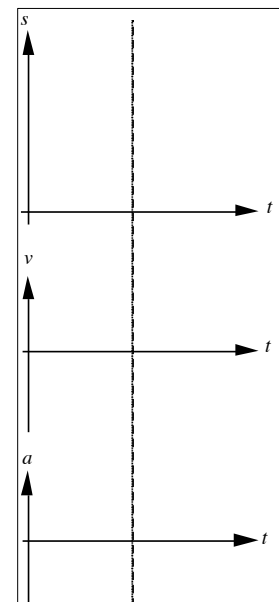
There are times when being a whiz at physics can be a definite drawback.

**73 R** Um sich für einen **Autounfall** eine Vorstellung von der Wucht des Aufpralls machen zu können, könnte man sich die folgende Frage stellen:

Aus welchen Höhen müsste man ein Auto fallen lassen, damit der Aufprall jeweils gleich heftig (d.h. mit gleichen Geschwindigkeiten) wäre, wie wenn das Auto mit 30 km/h und 50 km/h gegen eine **Mauer** fahren würde?

**74 R** Ein Ball wird vertikal nach oben geworfen und nach 2 Sekunden genau an der Abwurfstelle wieder aufgefangen.

- Zeichnen Sie nebenan die Diagramme dieser Bewegung, wobei der Ball zum Zeitpunkt  $t'$  (gestrichelte Linie) im höchsten Punkt sein soll.
- Berechnen Sie den maximalen Wert im  $s-t$ -Diagramm.



Zu Aufgabe 74

**75** Halten Sie unter dieser Nummer die **Ergänzungen** fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.

- Wir haben keine Ergänzungen gemacht.
- Ja, wir haben Ergänzungen vorgenommen, nämlich: