

## 1. Keine Bewegung ohne Ursache?

### Was denken Sie?

- 1 ? Wir nehmen die Welt durch ihre Veränderung wahr. Veränderung bedeutet Bewegung von Objekten. Und diese Bewegungen müssen irgendwelche Ursachen haben. Wie und warum bewegen sich Dinge?
- Haben Sie auch schon versucht, diesen Ursachen auf die Spur zu kommen? Besprechen Sie die folgenden Fragen mit Ihrem Partner oder Ihrer Partnerin und notieren Sie kurze Antworten.
- Warum kommt ein antriebsloser Wagen nach einiger Zeit zum Stillstand?
  - Warum braucht es für eine gleichförmige Fahrt mit dem Auto einen Antrieb? Wie stark muss der Antrieb sein?
  - Warum fallen Steine auf die Erde?
  - Wie schnell fallen Steine auf die Erde?
  - Der Mond ist ein "grosser Stein" und fällt doch nicht auf die Erde, warum?

### Gedanken des Aristoteles

- 2 ? Die Frage, wodurch Gegenstände bewegt werden, ist uralt. Der wohl bedeutendste Naturforscher des Altertums war der Grieche **Aristoteles** (384 – 322 v. Chr.). Er fasste als Erster alle Gebiete der Naturforschung systematisch zusammen. Ein wesentliches Gebiet seiner Untersuchungen war die Bewegungslehre.
- Das in der rechten Spalte gedruckte **Gespräch** zwischen Aristoteles und einem seiner Schüler wurde erfunden, könnte aber so oder in ähnlicher Form stattgefunden haben.
- Unterstreichen Sie jene Passagen in diesem fiktiven Gespräch grün, bei denen es sich um **Beobachtungen** handelt.
  - Unterstreichen Sie **Erklärungsversuche** und **Verallgemeinerungen** rot.
  - Stimmen die beschriebenen Beobachtungen mit Ihren **Erfahrungen** überein?
  - Welche Erklärungen sind für Sie einleuchtend, welche nicht?

#### Ziele dieses Kapitels

- Sie gehen selber der Frage nach, was sie als Ursache für Bewegung betrachten.
- Sie vergleichen Ihre Ansichten mit denjenigen von Aristoteles und Galileo Galilei.

[1] SCHÜLER: Wie kommt man zur Erkenntnis über die Natur?

ARISTOTELES: Die Prinzipien der Natur sind in unseren Beobachtungen nicht direkt zu erkennen. Wir kommen zu den Prinzipien nur durch genaue Analyse unserer Beobachtungen.

[2] SCHÜLER: Welches sind die Prinzipien, nach welchen Bewegungen ablaufen?

ARISTOTELES: Offensichtlich gibt es Körper in Ruhe und Körper, die sich bewegen. Ohne äusseres Zutun bleiben Körper in Ruhe.

[3] SCHÜLER: Warum bewegen sich Körper?

ARISTOTELES: Es gibt zwei Bewegungsarten und dementsprechend zwei verschiedene Ursachen. Einmal gibt es die natürliche Bewegung.

[4] SCHÜLER: Was versteht man darunter?

ARISTOTELES: Ein Stein, den man loslässt, fällt nach unten. Die von einer Flamme erwärmte Luft steigt dagegen nach oben. Alle Körper besitzen einen natürlichen Ort, zu dem sie hinstreben. Schwere Körper streben nach unten, leichte nach oben.

[5] SCHÜLER: Welches ist die zweite Bewegungsart?

ARISTOTELES: Du kannst einen Stein hochheben. Die Bewegung des Steins erfolgt dann entgegengesetzt zu seiner natürlichen Bewegung. Damit ein Stein eine solche erzwungene Bewegung ausführt, muss etwas da sein, was den Stein bewegt. Sobald dem Stein keine Bewegung mehr aufgezungen wird, bleibt er in Ruhe, oder er führt eine natürliche Bewegung aus. Auch ein Ochsenkarren bleibt stehen, sobald der Ochse nicht mehr zieht.

[6] SCHÜLER: Aber man kann einen kleinen Stein hochwerfen. Der Stein bewegt sich noch nach oben, wenn er die werfende Hand schon verlassen hat.

ARISTOTELES: Damit sprichst Du ein Problem an. Es könnte sein, dass die Luft vom Stein verdrängt wird, in einem Wirbel um den Körper herumströmt und ihn dann weiter nach oben stösst.

[7] SCHÜLER: Und wie ist es mit den Bewegungen der Himmelskörper?

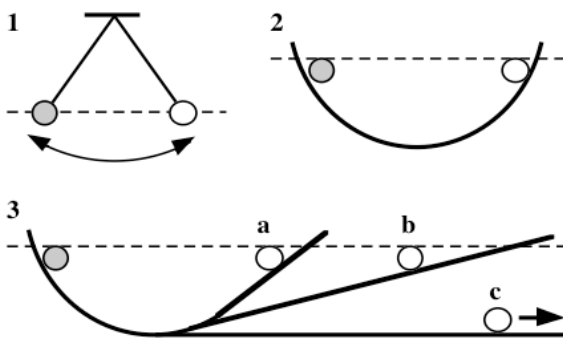
ARISTOTELES: Für diese gelten andere Gesetze, denn die Bewegungen der Himmelskörper dauern ewig.

## Galileis Entgegnung

- 3 ? Die Theorien des Aristoteles beherrschten fast 2000 Jahre nahezu unverändert das naturwissenschaftliche Denken. Das aristotelische Weltbild entsprach auch der kirchlichen Lehre. Deshalb wagten es nur wenige, die Ausführungen des Aristoteles in Zweifel zu ziehen. Der in Pisa geborene **Galileo Galilei** (1564 – 1642) veröffentlichte seine Gedanken vorsichtigerweise überwiegend in Diskussionsform. Seine eigene Meinung lässt Galilei von einem Mann namens SALVIATI aussprechen. Der Anhänger der aristotelischen Lehre wird SIMPLICIO genannt.

Das Gespräch (rechte Spalte) ist ein Auszug aus **Galileis Buch *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische***, 1632.

- a) Wie verhält sich nach Meinung Galileis eine **Kugel** auf einer spiegelglatten und exakt horizontalen Ebene?
- b) Wie begründet **Galilei** seine Meinung?
- c) Was zeigt das **Experiment**? Hat Galilei recht oder Aristoteles?
- 4 ? Blicken Sie nun auf die bisherigen Überlegungen zurück.
- a) Worin sieht Aristoteles die Ursache für eine völlig **gleichförmige Bewegung** (geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit), worin sieht Galilei die Ursache?
- b) Wie stellen Sie sich nach der Lektüre von Galileis Text zum **Titel dieses Kapitels**?
- c) Können Sie in Ihren Antworten zu 1 a) – e) Elemente von **Galileis**, aber auch von **Aristoteles'** Denkweise entdecken?
- 5 ? Durch ein weiteres raffiniertes **Gedankenexperiment** kommt Galilei zum gleichen Schluss, nämlich dass die geradlinig gleichförmige Bewegung die "ursprünglichste" ist, und dass es für deren Aufrechterhaltung "keiner weiteren Ursache" bedarf, ebenso wie für die Aufrechterhaltung des Ruhezustandes. Die folgende Bilderserie stellt dieses Gedankenexperiment dar.



- 6 ? Vielleicht werden im Unterricht **Ergänzungen** zu diesem Kapitel angebracht. Notieren Sie diese hier.

[1] SALVIATI: Sagt mir also: Wenn Ihr eine ebene, völlig glatte, spiegelähnliche Fläche habt von stahlhartem Stoffe, die nicht horizontal, sondern etwas geneigt ist, und Ihr legt einen vollkommen kugelförmigen Ball darauf aus schwerem, sehr hartem Stoffe, etwa aus Bronze, was würde er sich selbst überlassen, Eurer Ansicht nach tun? Meint Ihr nicht auch wie ich, er würde ruhig liegen bleiben?

SIMPLICIO: Und die Fläche soll geneigt sein?

SALVIATI: Freilich, diese Voraussetzung habe ich ja gemacht.

SIMPLICIO: Keineswegs glaube ich, dass er liegen bleibt, im Gegenteil, ich bin völlig gewiss, dass er sich von selbst nach der geneigten Seite bewegen würde. (...)

[2] SALVIATI: So ist's. Wie lange und mit welcher Geschwindigkeit würde nun die Kugel fortfahren sich zu bewegen? Beachtet, dass ich von einer vollkommen runden Kugel und einer ausgezeichnet glatten Ebene gesprochen habe, um damit alle äusseren und zufälligen Hindernisse auszuschließen. Ebenso möchte ich denn auch, dass Ihr von der Luft abseht, welche insofern ein Hindernis bildet, als sie dem Durchschneiden einen Widerstand entgegensetzt, desgleichen von allen anderen zufälligen Hemmnissen, wenn etwa solche vorhanden sein sollten.

SIMPLICIO: Ich habe das alles ganz gut verstanden. Euere Frage anlangend antworte ich: Sie würde ins Unendliche fortfahren sich zu bewegen, wenn die Neigung der Ebene so lange vorhielte, und zwar in stetig beschleunigter Bewegung.

[3] SALVIATI: Wenn man aber wollte, dass die Kugel auf der nämlichen Ebene sich nach oben bewegte, würde sie das Eurer Meinung nach tun?

SIMPLICIO: Freiwillig nicht, wohl aber wenn man sie gewaltsam hinaufschleudert oder -stösst.

Salviati: Und wenn sie nun vermöge eines gewaltsam ihr mitgeteilten Anstosses hinaufgetrieben würde, wie beschaffen und von wie langer Dauer würde ihre Bewegung dann sein?

SIMPLICIO: Die Bewegung würde immer mehr ermatten und sich verzögern, weil sie naturwidrig ist; sie würde ferner länger oder kürzer andauern, je nach der Stärke des Impulses und nach dem Grade der Steilheit.

[4] SALVIATI: Nun sagt mir, was mit dem nämlichen Körper (der also durch einen Stoss in Bewegung gesetzt wurde) auf einer Fläche geschähe, die weder abschüssig ist noch ansteigt...

SIMPLICIO: Ich kann weder einen Grund für eine Beschleunigung noch für eine Verzögerung entdecken, da weder ein Ab- noch Ansteigen stattfindet.

SALVIATI: Gut; wenn aber kein Grund für eine Verzögerung vorliegt, so kann umso weniger ein solcher für ein völliges Stillestehen vorliegen. Wie lange muss demnach der Körper fortfahren sich zu bewegen?

SIMPLICIO: So lange als die Ausdehnung dieser weder steilen noch geneigten Fläche vorhält.