

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 uralte. 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 unten und rechts abgedruckte **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?

[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

Ziele dieses Kapitels

- Sie gehen selber der Frage nach, was Sie als Ursache von Bewegung betrachten.
- Sie vergleichen Ihre Ansichten mit denjenigen von Aristoteles, Galilei und Newton.
- Sie kennen den Trägheitssatz und wissen, was wir unter dem Begriff Kraft verstehen.
- Die Bedeutung der Inertialsysteme ist Ihnen bekannt und Sie kennen das Mass für die Trägheit.

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 (siehe Kasten) ist ein Auszug aus **Galileis Buch *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Welt-systeme, das ptolemäische und das kopernikanische*, 1632.**

- Wie verhält sich nach Meinung Galileis eine **Kugel** auf einer spiegelglatten und exakt horizontalen Ebene?
- Wie begründet **Galilei** seine Meinung?
- Was zeigt das **Experiment**? Hat Galilei recht oder Aristoteles?

[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 hinaufschleibt 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...

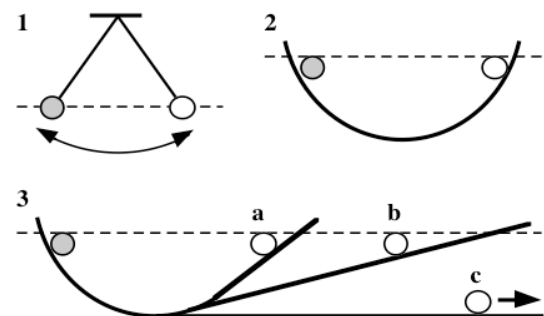
Simplicio: Ich kann weder einen Grund für eine Beschleunigung noch für eine Verzögerung entdecken, da weder ein Ab- noch Ansteigen stattfindet.

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.

- 4 ?** 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.

Übersetzen Sie die Bildfolge in Worte, so dass eine Person ohne Blick auf die Bilder den Gedankengang nachvollziehen kann.



- 5 ? Blicken Sie nun auf die bisherigen Überlegungen zurück.
- Worin sieht Aristoteles die Ursache für eine völlig **gleichförmige Bewegung** (geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit), worin sieht Galilei die Ursache?
 - Wie stellen Sie sich nach der Lektüre von Galileis Text zum **Titel dieses Kapitels**?
 - Können Sie in Ihren Antworten zu **1** Elemente von **Galileis**, aber auch von **Aristoteles'** Denkweise entdecken?

Newton's Fortsetzung

- 6 i Ein Jahr nach **Galileis** Tod, wurde **Isaac Newton** (1643-1727) geboren. Er wurde der Schöpfer der modernen Mechanik, die heute seinen Namen trägt: **Die Newton'sche Mechanik**. Newton fasste die hier dargestellten Gedanken Galileis im **ersten Newton'schen Axiom**, dem **Trägheitssatz** zusammen, den er in seinem Buch *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1687 veröffentlichte.

- 7 i Zum **Trägheitssatz** sind einige Bemerkungen nötig:
- Mit dem Wort **Kraft** bezeichnen wir also die Einwirkung von einem Körper auf einen andern. Diese Einwirkung ist das, was einen Körper vom Zustand der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung wegbringt, ihn beschleunigt. Die Einwirkung einer Kraft können wir demnach am Verhalten eines Körpers feststellen: **Wird ein Körper beschleunigt, so wissen wir, dass er eine Kraft oder mehrere Kräfte erfährt.**
 - Wenn ein Körper **beschleunigt** wird, bedeutet dies, dass er **schneller** wird oder **langsamer**, oder dass er seine **Bewegungsrichtung ändert**.
 - Die umgekehrte Folgerung gilt nicht: Erfährt ein Körper Kräfte, so wird er nicht unbedingt beschleunigt, er kann auch **deformiert** werden. Wir untersuchen diesen Fall später.
 - Im Gedankenexperiment **4** wird nicht direkt der Trägheitssatz beobachtet, denn wie Sie ja wissen, wirken wegen der **Erdanziehungskraft** in Wahrheit Kräfte auf die Kugel. Warum sich das Gedankenexperiment trotzdem mit dem Trägheitssatz verträgt, werden wir später sehen.
 - Ob der Trägheitssatz tatsächlich gilt, hängt vom **Bewegungszustand des Beobachters** (Beobachtersystem, Bezugssystem) ab. Bewegt sich nämlich ein Beobachter selbst beschleunigt, so sieht er auch einen kräftefreien Körper beschleunigt, was ein Widerspruch zum Trägheitssatz ist.

- 8 ? Fassen Sie die Standpunkte von **Aristoteles** und **Newton** (resp. Galilei) zusammen, indem Sie die in der Tabelle auf der nächsten Seite aufgeführten Beispiele interpretieren.

Trägheitssatz

Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung, wenn keine Kraft auf ihn einwirkt.

Kraft und Beschleunigung

Mit dem Begriff **Kraft** bezeichnen wir also jene Einwirkung auf einen Körper, welche dafür sorgt, dass sich dieser nicht im Zustand der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung befindet, sondern sich **beschleunigt** bewegt.


Inertialsystem


Ein Inertialsystem ist ein Bezugssystem, welches entweder in Ruhe ist oder in geradlinig gleichförmiger Bewegung, also nicht beschleunigt.

Der Trägheitssatz gilt demnach nur für Beobachter in Inertialsystemen.

Beobachtung	Erklärung nach Aristoteles	Erklärung nach Newton
Ein Stein fällt auf die Erde.		
Ein antriebsloser Wagen kommt nach einiger Zeit zum Stillstand.		
Um sich mit konstanter Geschwindigkeit zu bewegen, benötigt man einen ständigen Antrieb.		
Der Mond bewegt sich auf einer Kreisbahn um die Erde.		


Es gibt ein Mass für die Trägheit

9  Woher hat der Trägheitssatz seinen Namen? Von der **Trägheit**. Was ist Trägheit? Mit der Trägheit eines Körpers bezeichnen wir seinen "Widerstand" gegen die Änderung seines Bewegungszustandes. Der Bewegungszustand eines Körpers wird geändert, indem er durch Krafteinwirkung beschleunigt wird. Lassen alle Körper ihren Bewegungszustand gleich leicht oder schwer ändern? Wir gehen dieser Frage durch Beobachtungen an verschiedenen **Kugeln** nach. Protokollieren Sie die Beobachtungen in Ihrem Heft und fassen Sie das Beobachtungsergebnis in einem einzigen Satz zusammen.

10  Sie selber machen **alltäglich Erfahrungen**, die mit der (Ihrer) **Trägheit** oder dem **Trägheitssatz** zusammenhängen. Wir stellen eine Liste solcher Ereignisse zusammen.

Wir stellen fest:

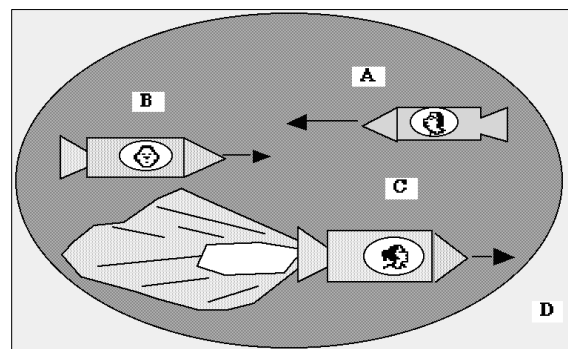
Zur Frage des Standpunktes (Bezugsystems)

11  Zur Verdeutlichung der Aussagen zu den Inertialsystemen müssen wir einen "konkreten Fall" betrachten. "Wirklich beobachten" lässt sich der Trägheitssatz eigentlich nur an der Bewegung von **Raumschiffen** in der Leere des Weltalls, fernab von allen Himmelskörpern, wo man annehmen kann, dass die Körper (fast) ganz frei sind von Kräften.

Das Bild rechts stellt eine Begegnung von vier Raketen dar, gesehen aus der Luke der Rakete D. Die Raketen bewegen sich von D aus gesehen in die durch die Pfeile angezeigten Richtungen. C hat als einzige der vier Raketen den Antrieb gezündet.

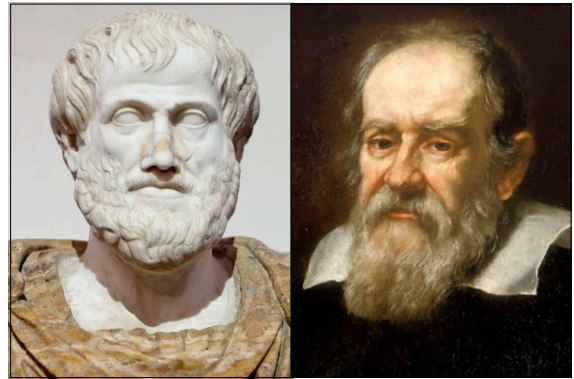
Der Beobachter in der Rakete D kann zum Beispiel die unter dem Bild aufgeführten Aussagen und Folgerungen machen.

Welche ähnlichen Aussagen machen die Astronauten in den Raketen B und C?



Aussagen des Astronauten in D:
"Ich sehe die Rakete B gleichförmig bewegt mit der Geschwindigkeit v_B und auf geradliniger Bahn. Ich sehe auch, dass die Rakete B die Motoren abgestellt hat. Ich sehe also, dass die kräftefreie Rakete sich gleichförmig auf geradliniger Bahn bewegt. Für mich gilt also der Trägheitssatz. Somit ist meine Rakete ein Inertialsystem."

- 12 ?** Angenommen, in der Rakete C wären die Anzeigergeräte defekt und sie wäre ganz allein im Weltall. Könnte die Astronautin trotzdem herausfinden, ob der Antrieb gezündet ist, resp. ob sie ihre Rakete als Inertialsystem betrachten kann, oder nicht?
- 13 ?** **Überprüfen** Sie die Richtigkeit des folgenden Satzes: "Ob eine Kraft auf einen Körper wirkt oder nicht, kann man daran erkennen, ob sich der Körper bewegt oder nicht."
- 14 R** Sie haben bestimmt schon Bilder von schwebenden Astronauten im Raumschiff (Space Shuttle) auf **Erdumlaufbahn** gesehen.
- Erfahren die Astronauten Kräfte?
 - Ist das Raumschiff ein Inertialsystem?
 - Warum sieht man (durch eine Bordkamera aufgenommen) die Astronauten kräftefrei?
 - Ist die Erde ein Inertialsystem?
- 15 R** Eine **Metallkugel** rollt auf einer schief gestellten Glasplatte abwärts. Was sagen die rechts abgebildeten Personen möglicherweise zur beobachteten Bewegung?
- 16 R** "Steht man in einem **fahrenden Bus**, so ist es besser, sich an einer Stange festzuhalten. Dies hat etwas mit dem Trägheitssatz zu tun."
Erläutern Sie diese Aussage.



1

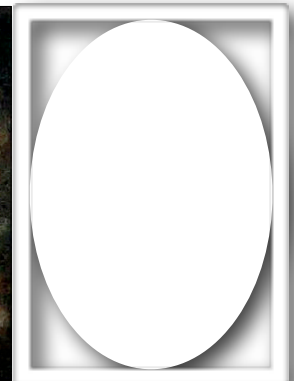
2

1 Ἀριστοτέλης, * 384 v. Chr. in Stageira/Make-donien; † 322 v. Chr. in Chalkis/Euböa) gilt neben Platon und dessen Lehrer Sokrates als der bedeutendste griechische Philosoph.
(de.wikipedia.org/wiki/Aristoteles, Okt.07)

2 Galileo Galilei (* 15. Februar 1564 in Pisa; † 8. Januar 1642 in Arcetri bei Florenz) war ein italienischer Mathematiker, Physiker und Astronom, der bahnbrechende Entdeckungen auf mehreren Gebieten der Naturwissenschaften machte.
(de.wikipedia.org/wiki/Galilei, Okt.07)




3



4

3 Sir Isaac Newton [ˌaɪzək ˈnjuːtən] * 25. Dezember 1642 in Woolsthorpe-by-Colsterworth in Lincolnshire; † 20. März 1727 in Kensington) war ein englischer Physiker, Mathematiker, Astronom, Alchemist, Philosoph und Verwaltungsbeamter.
(de.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton, Okt.07)

4 Besitzer/in dieses Skripts, Gymnasiastin oder Gymnasiast des Gymnasiums Kirchenfeld, Stufe Tertia, im Jahre 2007 oder später.

- 17**  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: