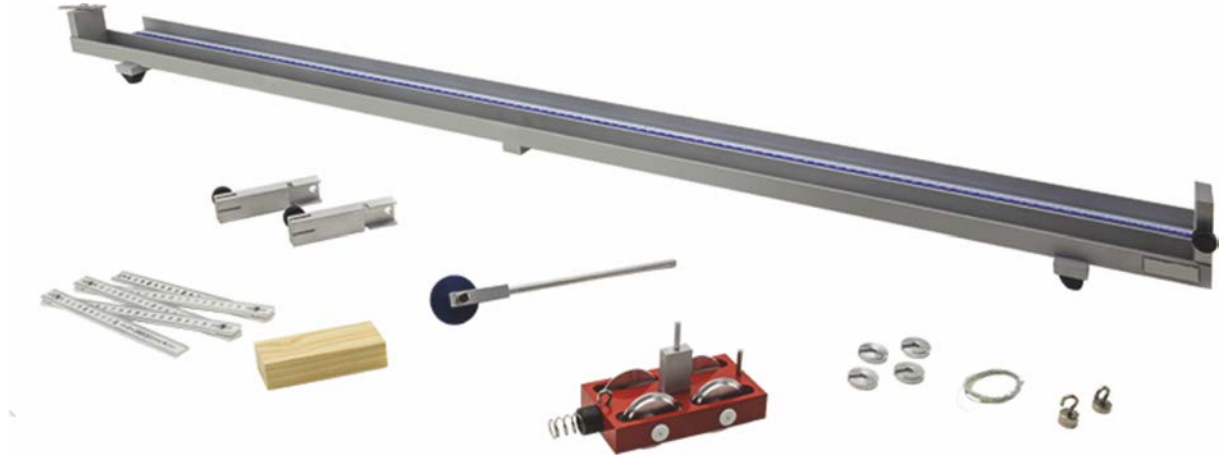


## Rollenfahrbahn 1,4m, Komplettsset



### Themen

1. Bewegung
2. Bewegung ist relativ
3. Bezugssysteme
4. Welche physikalische Größen definieren Bewegung?
5. Bewegungsbahnen
6. Der Abstandsbegriff
7. Experimentelle Untersuchungen von Bewegungen
8. Durchschnittsgeschwindigkeit
9. Momentangeschwindigkeit
10. Durchschnittliche Beschleunigung
11. Momentane Beschleunigung
12. Verschiedene Arten von Bewegung
13. Die geradlinige gleichförmige Bewegung
14. Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung
15. Das Trägheitsprinzip
16. Das Grundgesetz der Dynamik
17. Reibungskräfte

## Inhalt

- 1 Experimentierschnur
- 1 Zollstock
- 1 Fahrbahn
- 1 Fahrbahnwagen
- 2 Halter für Lichtschranken
- 1 Hakengewicht 5 g
- 1 Hakengewicht 8 g
- 1 Holzblock
- 4 Scheibengewichte à 10 g
- 1 Schnurrolle auf Stab



**Experimentierschnur**



**Holzblock**



**Scheibengewichte**



**Zollstock**



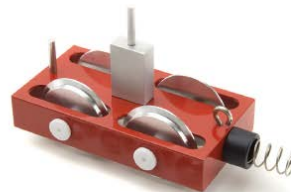
**Hakengewicht 5 g**



**Hakengewicht 8 g**



**Lichtschrankenhalter**



**Fahrbahnwagen**



**Fahrbahn 1,4 m**



**Schnurrolle auf Stab**

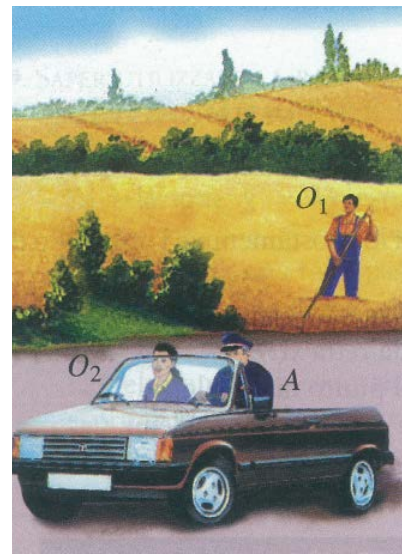
## 1. Bewegung

Bewegung ist ein Phänomen, das die gesamte Materie betrifft. Im Großen wie in seinen kleinsten Teilen. Moleküle bewegen sich in Körpern, Atome schwingen innerhalb von Molekülen. Elektronen bewegen sich innerhalb von Atomen, Zellkerne in Zellstrukturen. Zahlreiche Eigenschaften der Materie, wie beispielsweise thermische und elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Elektrizität hängen mit Bewegungszuständen im mikroskopischen Bereich zusammen. Wir können deshalb sagen, dass das Verständnis von Bewegung ein Schlüssel zum Verständnis des Universums darstellt.

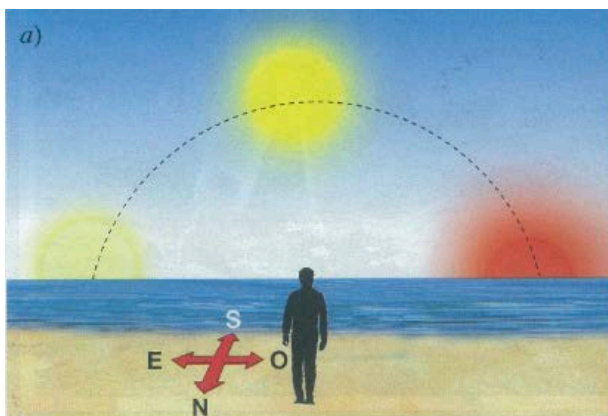
Galileo Galilei sagte einmal „*Ignato motu, ignatur natura*“ – Wenn wir Bewegung verstehen, verstehen wir die Natur.

## 2. Bewegung ist relativ

Eine Person in einem Fahrzeug **A** bewegt sich in Bezug auf eine Person **O<sub>1</sub>**, die am Straßenrand steht. Sie bewegt sich jedoch nicht in Bezug auf einen neben ihm sitzenden Beifahrer **O<sub>2</sub>**.



Jeder Bewohner auf unserem Planeten sieht die Sonne im Osten auf- und im Westen untergehen. Ein Astronaut im Weltraum erkennt, dass die Sonne stationär ist und sich die Erde um ihre Achse dreht



Dies legt nahe, dass Bewegung jeglicher Art immer ein relatives Phänomen ist, dessen Eigenschaft in Abhängigkeit vom jeweiligen Beobachter ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

**Ein Körper, der in Bewegung mit Bezug auf auf einen Beobachter  $O$  ist, nimmt im zeitlichen Verlauf unterschiedliche Positionen bezogen auf den Beobachter ein.**

Aus diesem Grund ist es von grundlegender Bedeutung, die Position eines Körpers in Bezug auf den Beobachter zu jedem einzelnen Zeitpunkt zu bestimmen.

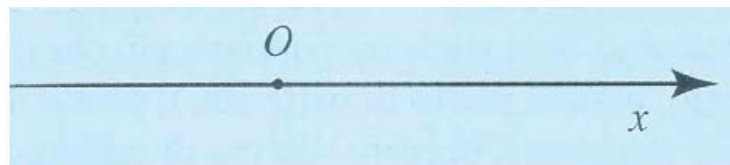
Dies führt uns zum Begriff des *Bezugsystems*.

### 3. Bezugssysteme

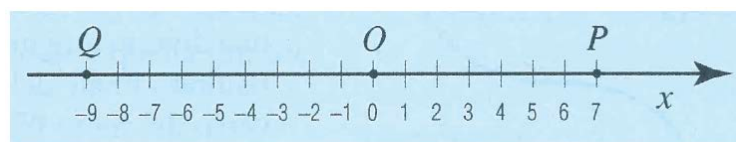
Die Position eines Körpers, der sich im Bezug zum Beobachter bewegt kann in einem Referenzsystem wie folgt identifiziert werden:

#### Die Bewegung ist geradlinig

Wenn sich ein Fahrzeug auf einer geraden Straße bewegt, wird seine Position in Bezug zum Beobachter  $O$  durch Zuordnung einer Geraden  $X$  durch den Punkt  $O$  definiert. Der Beobachter bildet den Ursprung des Systems. Die Orientierung der Bewegungsrichtung wird durch einen Pfeil gekennzeichnet.

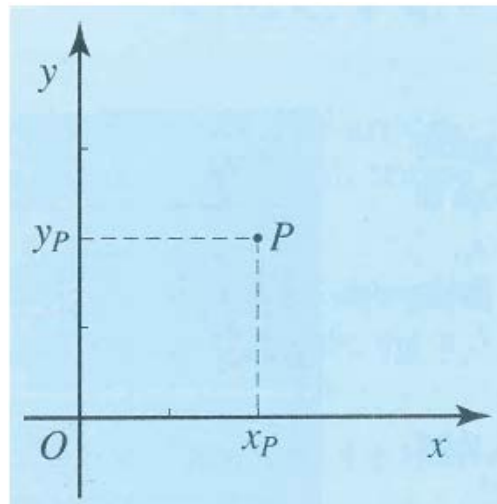


Auf diese Weise wird die Position des bewegenden Körpers  $P$  in Bezug auf den Beobachter  $O$  durch den Abstand  $x = OP$ , „**Abzisse**“ genannt, definiert. Die Zählung rechts von  $O$  erfolgt mit positiven Zahlen, links davon mit negativen Zahlen. Im nachfolgenden Beispiel beträgt die Abzisse von  $Q$  -9.

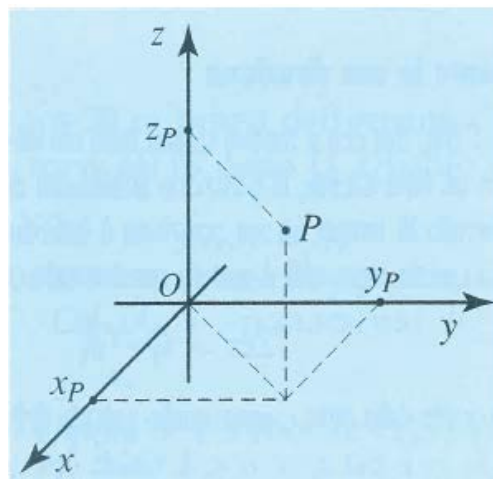


### Die Bewegung ist nicht geradlinig

Bewegt sich eine Person in einer Ebene, muss das Bezugssystem aus zwei senkrecht zueinander stehenden Geraden, der **x-** und **y-Achse** bestehen. (Hinweis: Wir beziehen uns hier ausschließlich auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem. Alternative Systeme bleiben hier unberücksichtigt). Die Position **P** wird durch die Koordinaten  **$x_P$**  und  **$y_P$**  beschrieben.



Um die position eines Flugzeuges **P** zu bestimmen muß das Bezugssystem aus drei zueinander rechtwinklig angeordneten Geraden, nämlich **x-**, **y-** und der **z-Achse** bestehen. Daher wird seine Position durch die drei Koordinaten  **$x_P$** ,  **$y_P$**  und  **$z_P$**  definiert.



#### 4. Welche physikalische Größen definieren Bewegung?

Beschäftigt man sich mit dem Thema Bewegung, stößt man immer auf dieselben Größen, unabhängig von der Art, der Größe und der Form des Objektes in Bewegung.

Begriffe, die zur Charakterisierung translatorischer Bewegungen dienen sind:

- Position
- Bewegungsbahn
- Weg
- Zeitintervall
- Geschwindigkeit
- Beschleunigung
- Impuls
- Energie

Im Vorherigen Abschnitt wurde beschrieben, wie man die Position eines Körpers beschreibt. In den folgenden Abschnitten gehen wir auf die Definition und Messung anderer charakteristischer Größen ein.

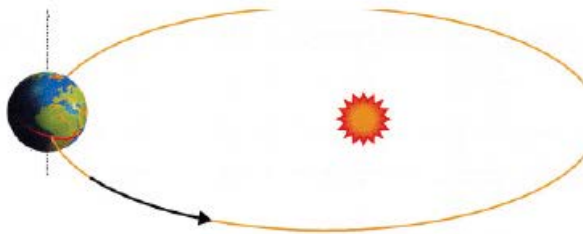
#### 5. Bewegungsbahnen

In Bezug auf einen Beobachter ist ein Körper bewegt, wenn er zu verschiedenen Zeiten verschiedene Positionen einnimmt. Eine Folge von Positionen, die während einer Bewegung eingenommen werden werden als *Bewegungsbahn* bezeichnet.

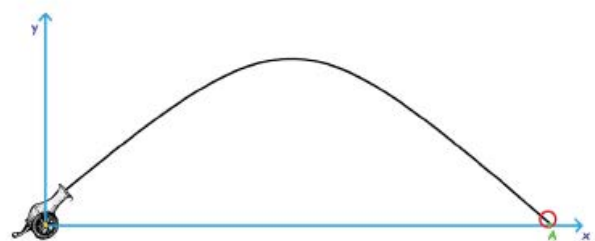
Im Beispiel eines Fahrzeuges, welches von Ort **A** zu Ort **B** fährt wird, ist die Bewegungsbahn durch den Straßenverlauf definiert.

Bei einer geradlinigen Bewegung ist die Bewegungsbahn eine Gerade, bei einer Kreisförmigen Bewegung eine Kreisbewegung.

Planeten beschreiben in Ihrem Umlauf um die Sonne elliptische Bewegungsbahnen. Eine Kanonenkugel beschreibt eine Parabel (parabolische Bewegungsbahn).



elliptische Bewegungsbahn eines Planeten

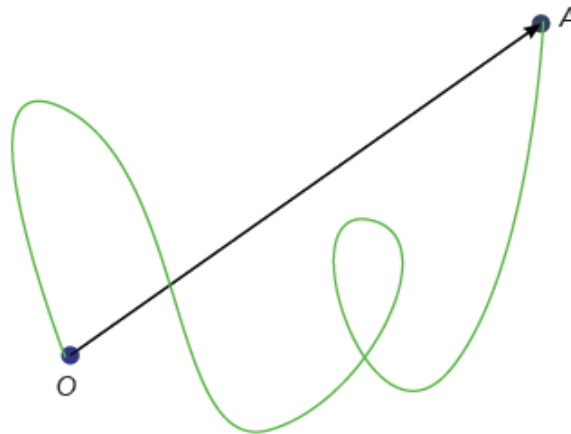


parabolische Bewegungsbahn einer Kanonenkugel

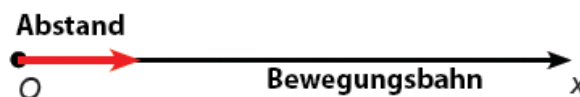


## 6. Der Abstandsbegriff

Um von Position O zu Position A zu gelangen gibt es eine unendliche Anzahl von Bewegungsbahnen. Eine Möglichkeit ist in nachfolgender Abb. dargestellt. Jede Bewegungsbahn deckt eine unterschiedliche Bahnlänge ab.



Es gibt jedoch eine Größe, die bei allen unterschiedlichen Bewegungsbahnen gleich, also konstant ist. Diese Größe wird als **Abstand** bezeichnet. Sie bezeichnet den kürzesten Weg zwischen dem Ursprungspunkt O und der (Ziel-)Position A. Der einzige Fall, in dem der Abstand mit der Bewegungsbahn identisch ist, ist dann gegeben, wenn die Bewegungsbahn geradlinig ist.



## 7. Experimentelle Untersuchungen von Bewegungen

Sie sind nun mit der Bedeutung der wichtigsten Grundbegriffe, die zur theoretischen Beschreibung von Bewegungen verwendet werden, vertraut, so dass Sie mit der experimentellen Untersuchung von Bewegungen beginnen können.

Zur Durchführung von Grundlagenversuchen zum Thema Bewegung eignet sich die vorliegende Rollenfahrbahn mit Zubehör. Zur Zeitmessung lassen sich Lichtschranken mit einem passenden Kurzzeitmesser (z.B. Der CONATEX-Timer mit Lichtschrankenpaar, Best.- Nr. 116.2043) verwenden.

## Körper in Bewegung

Wir verwenden einen Fahrbahnwagen bei allen Versuchen als sich bewegendes Objekt. Durch kugelgelagerte Räder sind Reibungsverluste sehr gering und haben nur geringe Einflüsse auf die Messergebnisse. Die Bewegung kann stets als linear betrachtet werden. Auf der Fahrbahn ist ein Maßstab angebracht, um Abstände zuverlässig zu ermitteln.



## Gabellichtschranken (optionales Zubehör)

Eine Gabellichtschranke ist ein elektronisches Gerät, bestehend aus einer Lichtquelle (Sender) und einem lichtempfindlichen Empfänger, auf den der Lichtstrahl trifft. Wird der Lichtstrahl unterbrochen, wird ein elektrisches Signal erzeugt und an den angeschlossenen Kurzzeitmesser weitergeleitet. In Verbindung mit ein oder zwei Lichtschranken sind unterschiedliche Konfigurationen zur Zeitmessung möglich.







Zur Umrechnung von km/h in m/s ist der Wert durch 3,6 zu dividieren und zur Umrechnung von m/s in km/h ist der Wert mit 3,6 zu multiplizieren.

### Wie messe ich die Durchschnittsgeschwindigkeit?

Gehen Sie folgendermaßen vor:

Binden Sie an jedes Ende eines Stücks Schnur eine Schleife, so dass Sie eine Gesamtlänge von ca 130 cm erhalten. Führen Sie den Stab der Schnurrolle an einem Ende in die dafür vorgesehene Bohrung in der Fahrbahn und fixieren die Rolle mit der Rändelschraube.

Setzen Sie den Fahrbahnwagen auf die Schiene, schieben diesen nach links und sichern Sie den Wagen mit der Verriegelung. Befestigen Sie die Schnur am Fronthaken des Wagens, und führen das andere Ende der Schnur durch die obere Bohrung am Alublock an der rechten Seite der Fahrbahn und legen die Schnur über die Rolle. Hängen Sie nun an das freie Ende der Schnur ein Hakengewicht von 8 g. Achten Sie darauf, dass sich das Hakengewicht frei nach unten bewegen kann.

Setzen sie nun die erste Lichtschranke an der Position  $x_1 = 0,4 \text{ m}$  und die zweite Lichtschranke an der Position  $x_2 = 0,6 \text{ m}$  an. Es ergibt sich ein Abstand zwischen den Lichtschranken von  $\Delta x = x_1 - x_2 = 0,2 \text{ m}$ . Es ergibt sich ein Versuchsaufbau gemäß nachfolgender Abbildung. Parametrieren Sie den verwendeten Kurzzeitmesser so, dass Lichtschranke an Pos  $x_1$  die Zeitmessung startet und Lichtschranke  $x_2$  die Zeitmessung stoppt (Einzelheiten dazu finden Sie in der Anleitung des Kurzzeitmessers).



Um das Zeitintervall  $\Delta t$  zu bestimmen, lösen Sie die Verriegelung und der Wagen beginnt sich zu bewegen.

Der Kurzzeitmesser zeigt nach dem Versuch die Zeit  $\Delta t$  an, die der Wagen zum Durchfahren beider Lichtschranken benötigt. Wiederholen Sie den Versuch mehrmals und bilden den Mittelwert aus den Ergebnissen. So werden unvermeidliche experimentelle Fehler kompensiert und Sie erhalten ein reproduzierbares Messergebnis. Diese Vorgehensweise der Mehrfachmessung mit anschließender Mittelwertbildung ist übrigens bei allen Versuchen sinnvoll.

## 9. Momentangeschwindigkeit

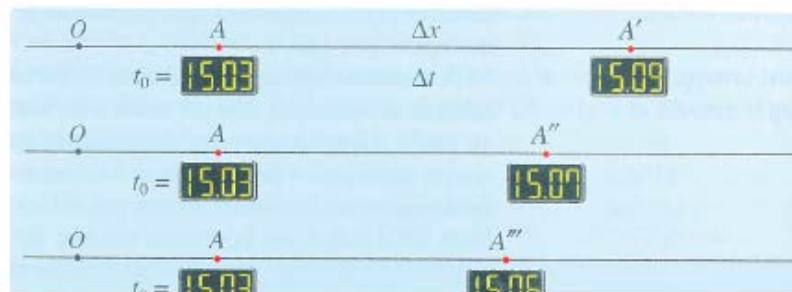
Bei Sportveranstaltungen, wie z.B. Radrennen, ist oft von „*Durchschnittsgeschwindigkeit*“ die Rede. Es wird dann gesagt, dass der Sieger des Rennens eine durchschnittliche Geschwindigkeit von beispielsweise 46 km/h fuhr. Das bedeutet, dass für eine Strecke, die er gefahren ist eine rechnerische Geschwindigkeit von 46 km/h resultiert. Es ist klar, dass Der Radfahrer in Gefällestrecken schneller oder an Steigungen langsamer unterwegs war. Der Radfahrer hätte auch gewonnen, wenn er die gesamte Strecke mit einer konstanten Geschwindigkeit von 46 km/h durchfahren hätte.



Um das Phänomen im Zusammenhang mit Bewegungsbahnen zu untersuchen, ist die Einführung einer neuen physikalischen Größe, der **Momentangeschwindigkeit**, notwendig. Dies ist die Geschwindigkeit eines Körpers zu bestimmten Zeitpunkt oder an einem bestimmten Punkt der Bewegungsbahn.

### Wie messe ich die Momentangeschwindigkeit?

Nehmen wir an, ein Körper bewegt sich mit entlang einer Geraden  $x$  (geradlinige Bewegung) mit einer variablen Geschwindigkeit. Unser Ziel ist, die Geschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t_0$  in Relation zu einer bestimmten Position  $A$  zu bestimmen.



Wenn unmittelbar nach dem Zeitpunkt  $t_0$ , für ein Zeitintervall  $\Delta t$  der Körper eine Strecke  $\Delta x$  zurücklegt, beschreibt das Verhältnis  $\Delta x / \Delta t$  die Durchschnittsgeschwindigkeit im Zeitintervall  $\Delta t$ .

Dieses Verhältnis entspricht mit Sicherheit nicht der Geschwindigkeit zum (Anfangs-) Zeitpunkt  $t_0$ .

Es ist jedoch offensichtlich, dass, je kleiner das Zeitintervall  $\Delta t$  und der dabei zurückgelegte Weg  $\Delta x$  ist, desto genauer wird das Verhältnis  $\Delta x/\Delta t$  die aktuelle Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t_0$  beschreiben.

Hieraus folgt unmittelbar:

**Die Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt  $t_0$  gleich der Durchschnittsgeschwindigkeit in einem unendlich kleinen Zeitintervall unmittelbar nach  $t_0$  ist.**

### Versuchsaufbau

Plazieren sie die erste Lichtschranke an der x-Koordinate  $x = 0,5 \text{ m}$ . Platzieren Sie die zweite Lichtschranke direkt neben der ersten Lichtschranke, so, dass sich beide Lichtschranken berühren. In dieser Konfiguration beträgt der Abstand  $\Delta x = 0,02 \text{ m}$  (abhängig von der Geometrie der verwendeten Lichtschranken. Der Wert von 0,02 m bezieht sich auf die Lichtschranken aus dem Kurzzeitmesser / Lichtschranken-Set mit der Bestellnummer 116.2043)

Führen Sie den oben beschriebenen Versuch zur Bestimmung der Durchschnittsgeschwindigkeit erneut durch. Sie bestimmen so im (kurzen) Zeitintervall  $\Delta x$  die Durchschnittsgeschwindigkeit.

Eine alternative Möglichkeit, die Momentangeschwindigkeit mit einer guten Näherung zu bestimmen, ist die folgende:

Plazieren sie eine Lichtschranke an der x-Koordinate  $x = 0,5 \text{ m}$ . Parametrieren sie den Zähler so, dass die Verdunkelungszeit beim Durchgang eines Hindernisses angezeigt wird (d.h. der Kurzzeitmesser wird gestartet sobald der Lichtstrahl untergrochen wird und gestoppt, wen der Lichtstrahl wieder auf die Fozelle trifft. Wenn die Geometrie des abdunkelnden Teils bekannt ist, lässt sich die Geschwindigkeit berechnen. Der Kurzzeitmesser zeigt die Verdunkelungszeit in Sekunden an.

## 10. Durchschnittliche Beschleunigung

Bei einem Automobil müssen Sie das Gaspedal betätigen um die Geschwindigkeit zu erhöhen und das Bremspedal betätigen um sie zu verringern.

Im ersten Fall gilt: *Die Bewegung des Fahrzeuges wird beschleunigt.*

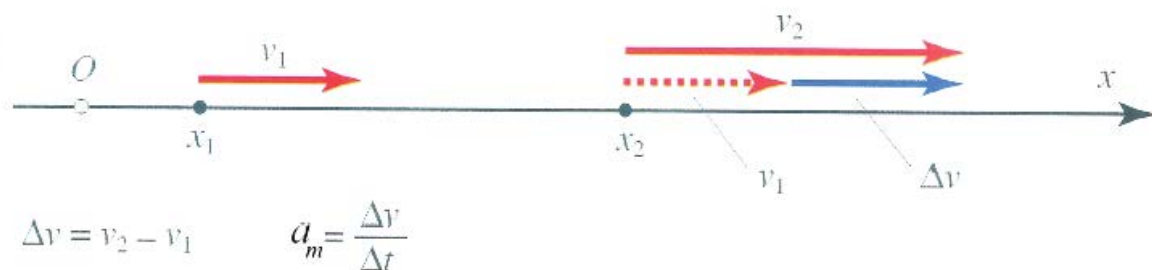
Im zweiten Fall gilt: *Die Bewegung wird verlangsamt oder abgebremst.*

Setzt man die Änderung der Geschwindigkeit in Relation zum Zeitintervall, in dem sie sich ändert, gelangen wir zu einer neuen Größe, genannt **Beschleunigung**.

Was wir zuvor zu den Begriffen Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit sagten, lässt sich auf den Begriff der Beschleunigung anwenden.

Nehmen wir an, ein Fahrzeug bewegt sich entlang einer Geraden  $x$  (geradlinige Bewegung). Zu einem Zeitpunkt  $t_1$  bewegt es sich mit einer Momentangeschwindigkeit  $v_1$ . Zu einem nächsten Zeitpunkt  $t_2$  beträgt die Momentangeschwindigkeit  $v_2$ . Die Durchschnittsbeschleunigung ist definiert als Verhältnis zwischen der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v = v_2 - v_1$  und dem Zeitintervall  $\Delta t = t_2 - t_1$ , in dem sich die Geschwindigkeit ändert.

$$\text{Durchschnittsbeschleunigung} = \frac{\text{Änderung der Geschwindigkeit}}{\text{Zeitintervall}} \quad a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$



Im internationalen System der Einheiten werden Geschwindigkeiten in der Einheit m/s (Meter pro Sekunde) und Zeiten in der Einheit s (Sekunden) angegeben. Die Einheit für die Beschleunigung wird im  $(\text{m/s})/\text{s} = \text{m/s}^2$  (Meter pro Sekunde zum Quadrat) angegeben.

Wenn beispielsweise zum Zeitpunkt  $t_1 = 10 \text{ s}$  die Geschwindigkeit  $v_1 = 20 \text{ m/s}$  und zum Zeitpunkt  $t_2 = 15 \text{ s}$  die Geschwindigkeit  $v_2 = 30 \text{ m/s}$  gemessen, ergibt sich als Durchschnittsbeschleunigung:

$$a_m = \frac{(30 - 20) \text{ m/s}}{(15 - 10) \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$$

### Wie messe ich die durchschnittliche Beschleunigung?

Bauen Sie die Fahrbahn gemäß nachfolgender Abbildung auf. Faden, Umlenkrolle und Hakengewicht werden nicht benötigt, sie werden für den Versuch entfernt. Unterbauen Sie die Fahrbahn einseitig mit dem beiliegenden Holzklötz. Sie erhalten eine sog. schiefe Ebene. Verriegeln Sie den Fahrbahnwagen mit dem Hebel am linken Fahrbahnende. Positionieren Sie die Lichtschranken an den Positionen  $x_1 = 0,4 \text{ m}$  und  $x_2 = 0,8 \text{ m}$ .

Schließen Sie die Lichtschranken an den Kurzzeitmesser an und lösen die Verriegelung des Fahrbahnwagens. Messen Sie die Verdunklungszeiten der Lichtschranken und wiederholen den Versuch mehrmals. Bilden sie jeweils den Mittelwert aus den Messreihen.

Dividieren Sie den Wert der Breite des den Lichtschranken bedämpfenden Teils des Fahrbahnwagens durch den Mittelwert der gemessenen Zeiten, um die Geschwindigkeit des Fahrbahnwagens im Bereich jeder Lichtschranke zu berechnen.

Da die Änderung der Geschwindigkeit  $\Delta v$  beträgt, ergibt sich für die durchschnittliche Beschleunigung  $a_m = \Delta v / \Delta t$ .



## 11. Momentane Beschleunigung

Analog zur Momentangeschwindigkeit wird die momentane Beschleunigung als Beschleunigung in einem Punkt der Bewegungsbahn oder zu einem Zeitpunkt der Bewegung bezeichnet.

**Die momentane Beschleunigung ist die durchschnittliche Beschleunigung in einem unendlich kleinen Zeitintervall unmittelbar nach dem Zeitpunkt bzw. der Position auf der Bewegungsbahn.**

## 12. Verschiedene Arten von Bewegung

Die bisherigen Größen, wie Geschwindigkeit und Beschleunigung, die Sie bereits kennen lernten, charakterisieren jede Art von Bewegung. Es gibt verschiedene Arten von Bewegung, da es unterschiedliche Arten von Bewegungsbahnen gibt. Somit gibt es auch unterschiedliche bewegungsbahnabhängige Arten von Geschwindigkeit und Beschleunigung.

In den vorliegenden Versuchen verwenden Sie im Wesentlichen eine Fahrbahnwagen auf einer linearen Fahrbahn. Zur Zeitmessung setzen Sie einen Kurzzeitmesser ein, um Zeitintervalle zu messen. In Verbindung mit der Fahrbahn gibt es zwei Begriffe (Möglichkeiten) der Bewegung, indem Sie die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung variieren:



Eine **geradlinige gleichförmig Bewegung** und eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung**.

### 13. Die geradlinige gleichförmige Bewegung

Unter einer geradlinig gleichförmigen Bewegung versteht man eine Bewegung, bei der die Bewegungsbahn eine Gerade bildet und die Momentangeschwindigkeit konstant und gleich der mittleren Geschwindigkeit über die gesamte Bewegungsbahn ist.

Angenommen, ein Fahrzeug bewegt sich auf einer Straße mit einer konstanten Geschwindigkeit. Ein Pfeil zeigt in die positive Bewegungsrichtung. In Bezug auf den Beobachter **O** sei die Position  $x_0$  zum Anfangszeitpunkt ( $t = 0$ ). Sei  $x$  die Position des Wagens zu einer Zeit  $t$ . Die Geschwindigkeit ergibt sich aus:

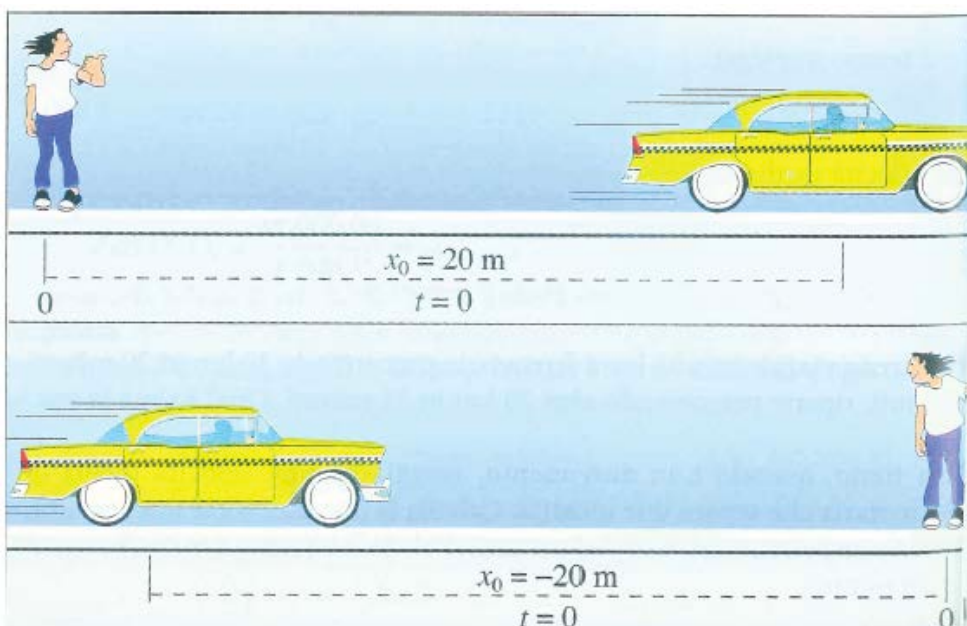
$$v = \frac{x - x_0}{t - 0} \quad \text{hieraus folgt} \quad v = \frac{x - x_0}{t}$$

Es gilt somit:

$$x = x_0 + v t$$

Diese Gleichung beschreibt eine **geradlinig gleichförmige Bewegung**.

$x_0$  besitzt einen positiven Wert, wenn sich das Fahrzeug rechts vom Beobachter **O** befindet.  $v$  ist positiv, wenn sich das Fahrzeug vom Beobachter weg bewegt, negativ, wenn es sich auf den Beobachter zu bewegt (siehe nachfolgende Abbildung).



## Wie erhalte ich eine geradlinige gleichförmige Bewegung?

Informationen darüber zu erhalten, ob eine Bewegung geradlinig gleichförmig ist, ist in der Praxis nicht einfach. In Versuchen sind einige Voraussetzungen sicher zu stellen. So ist es sehr wichtig, dass die Fahrbahn absolut eben steht. Geben Sie dem Fahrbahnwagen einen leichten Stoß. Sie werden feststellen, dass die Geschwindigkeit mit zunehmendem Weg, den er zurücklegt, abnimmt. Dieser Effekt beruht auf Reibungskräften und dem Luftwiderstand. Reibungskräfte lassen sich konstruktiv reduzieren, jedoch nicht eliminieren. Würden keine Reibungskräfte und kein Luftwiderstand auftreten, würde sich der Fahrbahnwagen mit der Geschwindigkeit, mit der er angestoßen wurde (konstant) bewegen. D.h. die Bewegung wäre geradlinig gleichförmig.

## 14. Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung

### Die Gesetzmäßigkeiten der Geschwindigkeit

Die Besonderheit bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist, dass die momentane Beschleunigung über die gesamte Bewegung konstant ist.

Dabei ist die Beschleunigung  $a$  - der Quotient aus seiner Geschwindigkeit zur verstrichenen Zeit – konstant. Es gilt also:

$$\frac{v}{t} = a = \text{constant}$$

Für die Geschwindigkeit  $v$  ergibt sich:

$$v = a t \quad (1)$$

Somit lässt sich die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt  $t$  aus der Beschleunigung bestimmen.

### Beispiel

Ein Fahrzeug startet mit einer Beschleunigung  $a = 1,2 \text{ m/ s}^2$ . Frage: Wie hoch ist seine Geschwindigkeit nach 30 s?

$$v = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 30 \text{ s} = 36 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 129,6 \text{ km /h}$$

### Das Bewegungsgesetz

Gleichung (1) wird benutzt, um die Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt nach Beginn der Bewegung zu berechnen. Die Frage, die sich nun stellt, ist folgende: Wie berechne ich die Länge einer Strecke, die nach dieser Zeit durchlaufen wurde. Das Problem kann über die Bestimmung der durchschnittlichen Geschwindigkeit gelöst werden.

Wenn zum Zeitpunkt  $t = 0$  die Geschwindigkeit  $v$  Null ist ( $v = 0$ ) und zu einem späteren Zeitpunkt gilt:  $v = a t$ , ergibt sich für die Durchschnittsgeschwindigkeit  $v_m$ :

$$v_m = \frac{0 + a t}{2} = \frac{a t}{2}$$

Die Entfernung  $x$ , die ein Fahrzeug über eine Zeit  $t$  mit der Geschwindigkeit  $v = a t$  durchfahren hat, entspricht derselben Entfernung, die ein Fahrzeug mit der Durchschnittsgeschwindigkeit  $v_m$  durchfahren würde. Es gilt also:

$$x = v_m t = \frac{a t}{2} t$$

Hieraus folgt:

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad (2)$$

### Wie messe ich eine gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung?

Um ein Auto in Bewegung zu setzen, muss man den Motor starten und das Gaspedal betätigen, um das Fahrzeug aus dem Ruhezustand zu beschleunigen. Betätigt der Fahrer des Fahrzeugs das Gaspedal gleichmäßig, so erhöht sich die Geschwindigkeit nicht unregelmäßig, sondern sie erhöht sich gleichmäßig. Das heißt, das Fahrzeug bewegt sich mit einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Diese Art der Bewegung können Sie mit der Fahrbahn wie folgt erreichen: legen Sie den Holzklötz einseitig unter die Fahrbahn, so dass Sie eine schiefe Ebene erhalten. Alternativ können Sie unter Verwendung der Riemenscheibe, einer Schnur mit angehängtem Hakengewicht und Verzicht des Holzklötzes (Fahrbahn muß gerade stehen) eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung erhalten. Beide Konfigurationen sind in nachfolgenden Abbildungen gezeigt.



## 15. Das Trägheitsprinzip

Was sind die Ursachen, die eine Bewegung eines Körpers bewirken?

Die Frage ist auch in diesem Fall nicht ganz einfach zu beantworten, da viele äußere Faktoren wie Reibung, Luftwiderstand usw. eine nicht unerhebliche Rolle spielen.

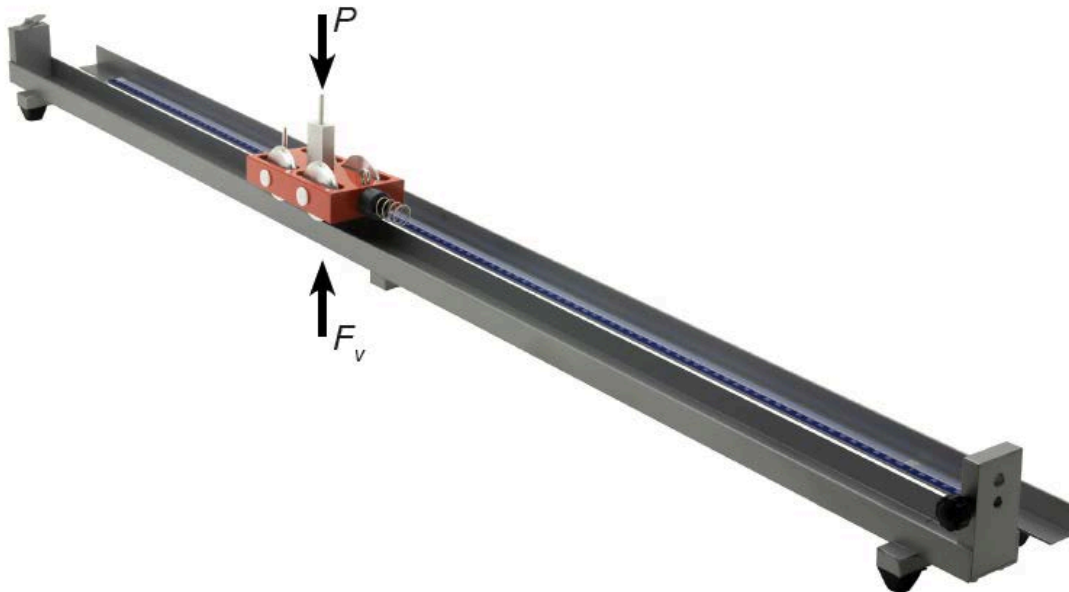
Der griechische Philosoph Aristoteles (384 – 322 v. Chr.) war der erste, der davon überzeugt war, dass die Bewegung eines Körpers immer von der Wirkung einer Kraft verursacht wird.

Der italienische Wissenschaftler Galilei Galileo (1564 – 1642 n. Chr.) zeigte, dass eine Kraft erforderlich ist, um eine Geschwindigkeit zu verändern, jedoch keine Kraft erforderlich ist um eine konstante Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten.

Um die Bedeutung dieser Aussage zu verstehen, müssen wir zwei typische Fälle untersuchen:

- Es wird keine Kraft aufgebracht
- Es wird eine konstante Kraft aufgebracht

Positionieren Sie gemäß nachfolgende Abbildung den Fahrbahnwagen in der Mitte der Fahrbahn.

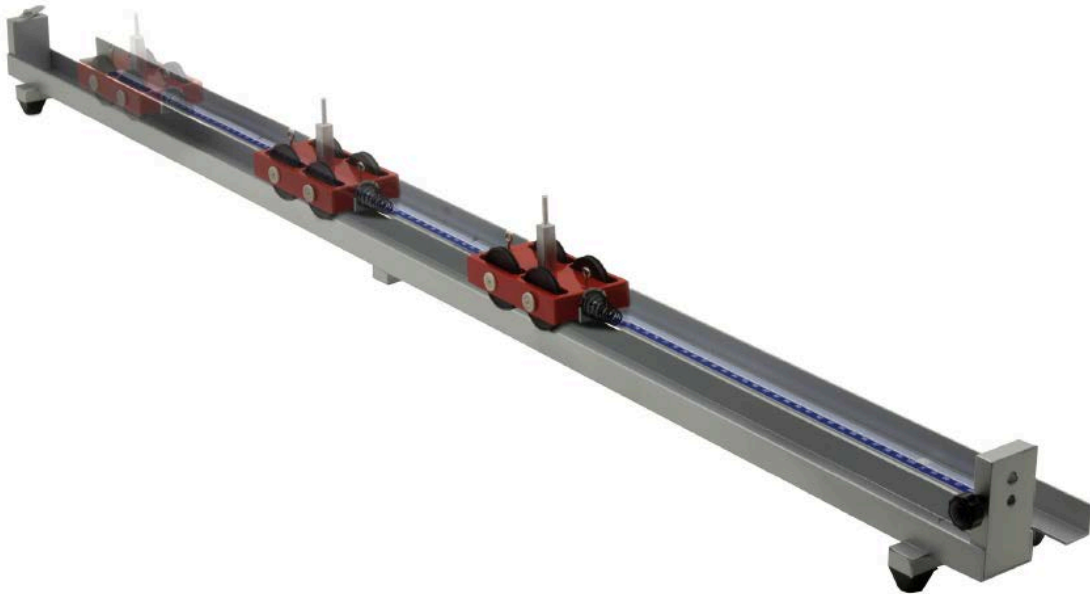


Auf den Fahrbahnwagen wirken zwei Kräfte: seine Gewichtskraft  $P$  und die durch die Fahrbahn ausgeübte Gegenkraft  $F_v$ . Beide Kräfte gleichen sich aus, deshalb ist das Ergebnis null. Das Verhalten nach außen ist identisch zu der Situation, wenn keine Kraft aufgebracht wird. Da sich der Fahrbahnwagen nicht bewegt stellen wir fest:

Ein Körper verharrt in Ruhe, wenn auf Ihne keine Kraft aufgebracht wird. Seine Geschwindigkeit ist null ( $v = 0$ )

Der Zustand der Bewegung ist nicht die einzige mögliche Bedingung, die der Kraft entgegen wirkt. Betrachten Sie nachfolgendes Beispiel.

Setzen Sie den Fahrbahnwagen so auf die Schiene, dass er auf der linken Seite den Anschlag berührt. Stoßen Sie den Wagen anschließend *leicht* an.



Von dem Moment des Loslassens des Wagens wird keine weitere Kraft auf den Fahrbahnwagen aufgebracht. Er bleibt jedoch nur für eine bestimmte Strecke in Bewegung, wird zunehmend langsamer und bleibt schließlich stehen. Warum? Grund sind Reibungskräfte, die der Bewegungsrichtung entgegen gesetzt sind. Sie sorgen für ein Abbremsen und dem schließlichen Stoppen der Bewegung.

Stellen Sie sich vor, dass keine Reibungskräfte wirksam wären. Warum sollte in dieser Situation der Fahrbahnwagen stoppen?

***Er würde sich weiterhin in gleicher Richtung und mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen.***

Versuch 12 und 13 bestätigen, was Galileo Galilei 1638 formulierte:

***„Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, sofern er nicht durch einwirkende Kräfte zur Änderung seines Zustandes gezwungen wird.“***  
(Trägheitsprinzip)

## 16. Das Grundgesetz der Dynamik

Mit den vorhergehenden Versuchen sind Sie in der Lage zu zeigen, dass bei Abwesenheit von Kräften der Fahrbahnwagen entweder in Ruhe ist oder sich in einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung befindet. In beiden Fällen ändert sich seine Geschwindigkeit aufgrund des Trägheitsprinzips nicht.

Die Situation wäre anders, wenn eine konstante gleichgerichtete Kraft zu jeder Zeit auf den Fahrbahnwagen wirkt. Dieses Phänomen wurde von dem engl. Physiker Isaac Newton (1642 – 1727 n. Chr.) untersucht.

Er fand heraus, dass eine konstante Kraft, die auf einen Körper wirkt, diesen beschleunigt. Die Beschleunigung ist direkt proportional zur Kraft  $F$  und umgekehrt proportional zu seiner Masse  $m$ .

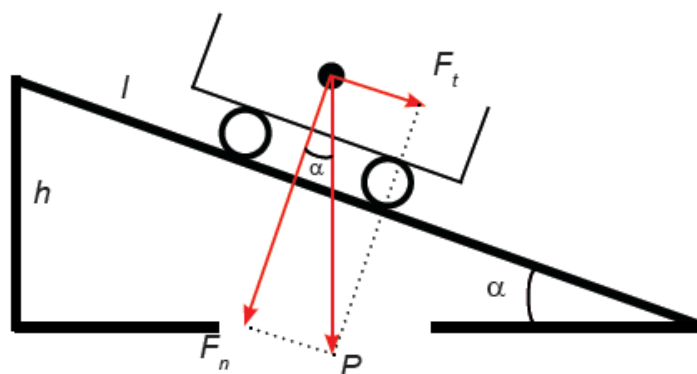
Daher gilt:

$$a = \frac{F}{m} \quad (3)$$

In der Formel wird die Kraft in der Einheit Newton (N), die Masse in Kilogramm (kg) und die Beschleunigung in Meter pro Sekunde im Quadrat ( $m/s^2$ ) gemessen.

Die Gleichung (3) wird auch als **Grundgesetz der Dynamik** bezeichnet.

Der **Versuch eines Fahrbahnwagens auf einer schiefen Ebene** ist ein Beispiel für eine derartige Bewegung. Die einzige aktive Kraft  $F$ , die auf ihn wirkt ist die Gewichtskraft  $P$ , die in zwei Komponenten zerlegt wird, die senkrecht zueinander stehen, wie in nachfolgende Abbildung gezeigt).



Wenn  $\alpha$  der Neigungswinkel der Ebene ist. Gilt:

- die tangentielle Komponente  $F_t = P \sin \alpha$
- die normale Komponente  $F_n = P \cos \alpha$



Diese wird durch die Auflagekraft  $F_V$  auf der Ebene ausgeglichen, während  $F_t$ , die nicht kompensiert wird, zu einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung entlang der schiefen Ebene führt, für die gilt:

$$a_t = \frac{F_t}{m}$$

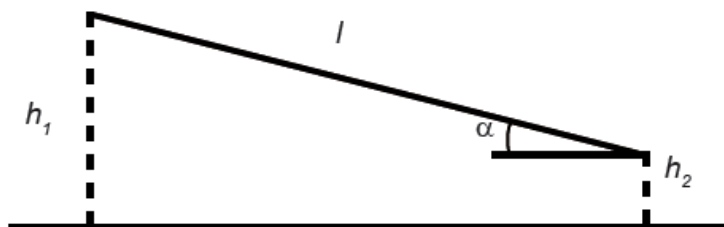
Wobei  $m$  der Masse des Fahrbahnwagens entspricht.

Es gelten  $P = mg$        $\sin \alpha = \frac{h}{l}$        $F_t = P \sin \alpha$

Hieraus erhält man       $a_t = g \frac{h}{l}$       (4)

Gleichung (4) lässt mit folgendem Versuch nachweisen.

Positionieren sie die Fahrbahn wie in nachfolgender Abbildung skizziert. Messen Sie anschließend die Höhen  $h_1$  und  $h_2$ .



Wenn gilt  $h = h_1 - h_2$ , errechnet sich die Beschleunigung

$$a_t = g \frac{h_1 - h_2}{l}$$

Führen Sie den Versuch praktisch durch und messen die (reale) Beschleunigung  $a_r$ .

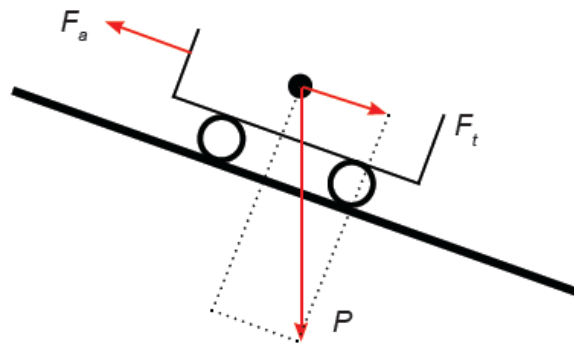
Warum gilt :  $a_r < a_t$  ?

## 17. Reibungskräfte

Wie im letzten Versuch festgestellt, ist die reale Beschleunigung  $a_r$  kleiner als der theoretisch berechnete Wert für die Beschleunigung  $a_t$ . Diese Diskrepanz ergibt sich durch das Vorhandensein der Reibungskraft  $F_a$ .

Da die Reibungskraft  $F_a$  der Kraft, die für die Beschleunigung sorgt  $F_t$  entgegengesetzt wirkt, gilt für die resultierende Kraft  $F$

$$F = F_t - F_a$$



Mit dem nachfolgenden Versuch lässt sich die Reibungskraft bestimmen.

Bestimmen Sie mit einer Digitalwaage die Masse  $m$  des Fahrbahnwaagens auf 1/10 g genau.

Da die Reibungskraft  $F_a$  für die Verringerung der Beschleunigung  $a_t - a_r$  verantwortlich ist, gilt nachfolgende Gleichung:

$$F_a = m(a_t - a_r)$$

Wobei  $m$  in Kilogramm (kg),  $(a_t - a_r)$  in Meter pro Sekunde im Quadrat ( $m/s^2$ ) und  $F_a$  in Newton (N) gemessen werden. Überprüfen Sie die Relation mit folgendem Versuch.

Benutzen Sie dazu den Holzblock, um die Fahrbahn in einem kleinen Winkel zu neigen (Die Neigung ist so klein, dass der Fahrbahnwagen gerade nicht von selbst losfährt).



Überprüfen Sie, dass  $h = h_1 - h_2$ , folgender Gleichung genügt

$$g \frac{h}{l} = m(a_t - a_r)$$

Wobei gilt

$$h = \frac{(a_t - a_r) l}{g}$$

Hier lässt sich zeigen, dass der Wert der tangentialen Komponente der Erdbeschleunigung  $gh/l$  gleich dem Wert der negativen Beschleunigung - bedingt durch die Reibungskraft - ist. Daher ist die Summe aller an den Fahrbahnwagen wirkende Kräfte Null. Der Fahrbahnwagen befindet sich daher am linken Ende der Fahrbahn in Ruhe. Stoßen Sie ihn leicht an, rollt er mit einer gleichförmigen Bewegung – gemäß dem Trägheitsprinzip - nach unten.

**Hinweis:**

Die tatsächliche Ausstattung des Versuchssets kann von der Abbildung in dieser Dokumentation leicht abweichen, da unsere Geräte ständig weiterentwickelt werden.