

Die Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse und Kraft werden am Beispiel eindimensionaler Bewegungen experimentell mit Hilfe eines Bewegungsmesswandlers auf einer Luftkissen-Fahrbahn untersucht. Im Rahmen der Auswertung wird eine Abschätzung systematischer Abweichungen vorgenommen (z.B. Restreibung, Fahrbahnunebenheiten).

1. Theoretische Grundlagen

Der Vektor der Momentangeschwindigkeit eines Massepunktes ist

$$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt} = \dot{\vec{x}}, \quad (1)$$

wobei man mit $\vec{x}(t)$ den Ortsvektor zur Zeit t bezeichnet. Die Beschleunigung \vec{a} ist die zeitliche Änderung der Momentangeschwindigkeit

$$\vec{a} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{x}}. \quad (2)$$

Bei einer gleichförmigen Bewegung ist der Geschwindigkeit $\vec{v} = \text{konst.}$, bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung ist die Beschleunigung $\vec{a} = \text{konst.} \neq 0$.

Das Experiment zeigt, dass die Beschleunigung \vec{a} proportional zur beschleunigenden, von außen am Massenpunkt angreifenden Kraft \vec{F}_a und umgekehrt proportional zur Masse m des beschleunigten Körpers ist:

$$\vec{a} = k \cdot \frac{\vec{F}_a}{m}. \quad k : \text{Proportionalitätskonstante} \quad (3)$$

Damit ist

$$\vec{F}_a = m \cdot \vec{a} \cdot \frac{1}{k}. \quad (4)$$

Sind die Einheiten der Zeit und des Weges bereits durch Messvorschriften bestimmt, kann man die Krafteinheit durch Definition der Konstanten k festlegen. Mit $k=1$ erhält man:

$$[F] = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ N} \quad (5)$$

und damit die „Grundgleichung der Mechanik“ (**2. Newtonsches Axiom**):

$$\vec{F}_a = m \cdot \vec{a}. \quad (6)$$

Fällt z.B. der Massepunkt frei im Schwerfeld der Erde, dann ist die äußere, antreibende Kraft seine Gewichtskraft:

$$\vec{F}_a = \vec{F}_g = m \cdot \vec{g}. \quad (7)$$

Wird die Gleichung (7) in Gleichung (6) eingesetzt, so ist die Beschleunigung des Massepunktes mit der Erdbeschleunigung gleich. Somit gilt:

$$\vec{a} = \vec{g}$$

Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung wie beim freien Fall ist:

$$\frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} = \vec{a} = \text{konst.} \quad (8)$$

Durch Integration ergibt sich für die Zeitabhängigkeit von Geschwindigkeit und Ort

$$\vec{v}(t) = \vec{a} \cdot t + \vec{v}_0 \quad (9)$$

und
$$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 + \vec{v}_0 \cdot t + \vec{s}_0. \quad (10)$$

Die Integrationskonstanten \vec{s}_0 und \vec{v}_0 sind der Ort bzw. die Geschwindigkeit zur Zeit $t=0$.

Versuchsaufbau

Bei dem Versuch wird ein Gleiter einer bestimmten Masse m_{Gleiter} verwendet (mit Zusatzmassen m_{Zusatz} bestückbar), der sich nahezu reibungsfrei auf einer Luftkissenfahrbahn bewegt.

Das Gebläse, welches mit der Luftkissenfahrbahn verbunden ist, sorgt für einen konstanten Luftstrom, der die Reibungsfreiheit des Gleiters garantiert. Auf der linken Seite der Luftkissenfahrbahn befindet sich ein Elektromagnet (Auslösemechanismus). Die Intensität des Magnetfeldes wird so eingestellt, dass der Gleiter gerade noch so gehalten wird. Die Antriebsmasse m_{Antrieb} (variabel) ist auf der rechten Seite an einem sehr dünnen Faden befestigt. Dieser ist mit dem Gleiter über zwei spitzengelagerte Rollen verbunden, wobei in der einen Rolle der Bewegungsmesswandler eingebaut ist. Die Registrierung des Weges in Abhängigkeit von der Zeit erfolgt durch diesen Bewegungsmesswandler, der eine dem Weg proportionale Spannung erzeugt. Diese wird dann über das PC-Messsystem ausgewertet und dargestellt.

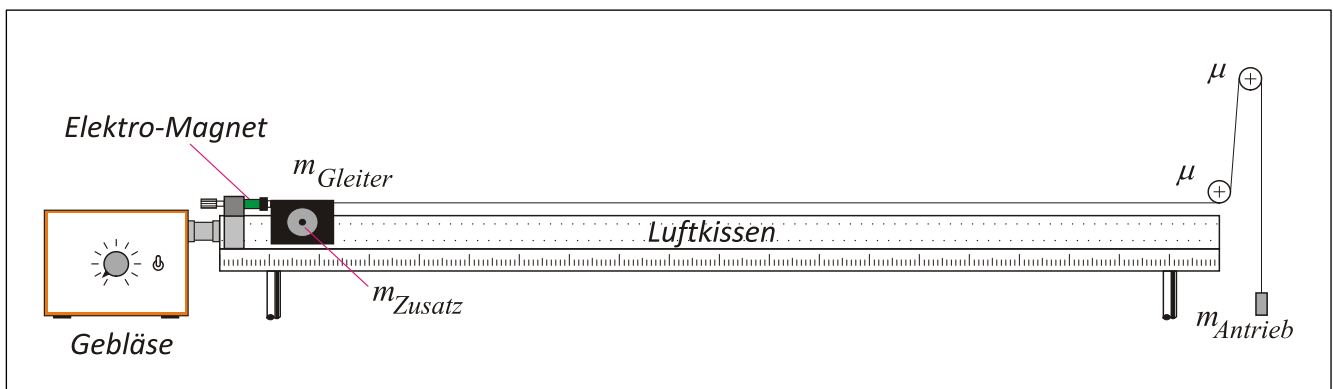


Bild 1: Skizze der Luftkissenbahn

2. Versuch

2.1 Vorbetrachtung

Aufgabe 1: Ein Körper wird mit einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung auf einer geneigten Ebene nach oben bewegt. Skizzieren Sie die Kräfte, die auf diesen Körper einwirken können.

Aufgabe 2: Berechnen Sie den Wert für die Fallbeschleunigung in Senftenberg.

Für die Fallbeschleunigung g auf Meeresniveau ($g_0=9,78033 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) bei der geografischen Breite Φ existiert eine Anpassung an die Messwerte der Form

$$g(\Phi) = g_0 \cdot (1 + 0,0053 \cdot \sin^2 \Phi).$$

In Abhängigkeit von der Höhe h über dem Meeresspiegel erhält man

$$g(\Phi, h) = g(\Phi) \cdot \left(1 - \frac{2h}{R_E}\right).$$

Daten für Senftenberg:

geografischen Breite Φ : $51^\circ 31' 20''$
 Höhe h über Meerspiegel : 103 m
 Erdradius R_E in Äquatornähe : $6,378 \cdot 10^3 \text{ km}$

2.2 Versuchsdurchführung

2.2.1 Verwendete Geräte

Luftkissenfahrbahn mit Gebläse, Gleiter mit Haltemagnet, Netzgerät, Bewegungsmesswandler, PC mit Messsystem „Cassy“ und Drucker, Feinwaage, 4 Antriebsmassen, 2 x 2 Zusatzmassen

Aufgabe 1: Überprüfung der Schaltung und Justierung der Fahrbahn

- Überprüfen Sie zunächst die Schaltanordnung, dann justieren Sie die Fahrbahn horizontal und machen sich mit dem Bewegungsmesswandler sowie mit der Messsoftware vertraut.

Die Einstellung der Horizontalen der Fahrbahn (siehe **Bild 1**) erfolgt mit den Justierschrauben am Fahrbahngestell. Diese Justierung ist dann abgeschlossen, wenn der Gleiter bei eingeschaltetem Gebläse (**Stufe 2**) sich nicht mehr allein von der Mitte weg in Bewegung setzt. (Die erreichbare Messgenauigkeit hängt stark von dieser Justierung ab.)

Die optimale Luftfördermenge hängt stark von der Masse des verwendeten Gleiters ab. Sie kann am Gebläse variiert werden. Beachten Sie, je größer die Gleitmasse ist, umso größer muss der Volumenstrom des Gebläses gewählt werden.

Um den Gleiter beim Start nicht mit der Hand zu beeinflussen, wird ein Elektromagnet verwendet, der über das PC-Messsystem bei Start des Gleiters abgeschaltet wird. Die Feldstärke des Magneten kann durch einen verstellbaren Eisenkern verändert werden. Bei jeder Messung muss diese so eingestellt werden, dass der Gleiter **gerade noch gehalten** wird.

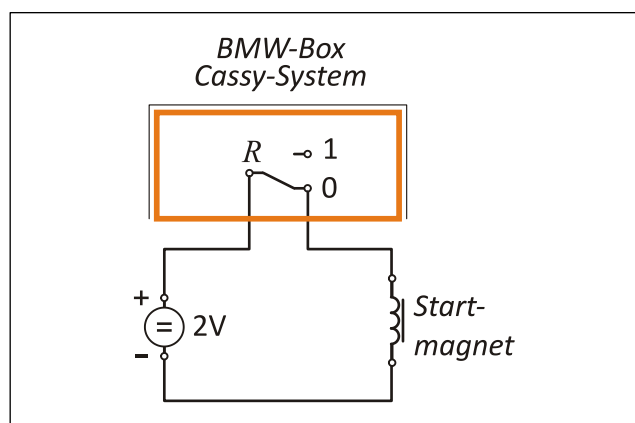


Bild 2: Anschlussplan

Hinweis:

Die Bedienungsanleitung des PC-Messsystems befindet sich am Praktikumsplatz.

Aufgabe 2: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Zur Messung ist jede der drei Gesamtmassen:

- Gleiter ohne Zusatzgewicht
- Gleiter mit zwei Zusatzscheiben ($m_{1/1}, m_{1/2}$)
- Gleiter mit vier Zusatzscheiben ($m_{1/1}, m_{1/2}, m_{2/1}, m_{2/2}$)

durch das Gewicht von **vier** Antriebsmassen $m_{Antrieb} = (10, 5, 3, 2)g$ zu beschleunigen (**Bild 1**).

- Zur Auswertung erhalten Sie als Messergebnis die Funktionen $s = f(t^2)$ (**drei Diagramme mit jeweils vier Graphen als Parameter $m_{Antrieb}$**).
- Notieren Sie nach jeder Messung den ausgegebenen Anstieg des Graphen.
- Bestimmen Sie alle Massen ($m_{Antrieb}, m_{Gleiter}, m_{Zusatz}$) nach Versuchsdurchführung mit einer Feinwaage.
- **Beachten Sie**, dass bei allen Experimenten der Bewegungsmesswandler und die Umlenkrolle mit beschleunigt werden müssen. Dieser Einfluss des Trägheitsmomentes entspricht dem einer zusätzlich zu beschleunigenden Masse von je $\mu \approx 6g$ (Rollenersatzmasse).

Aufgabe 3: Schiefe Ebene

- Verwenden Sie die Luftkissen-Fahrbahn als schiefe Ebene. Zur Messung wird der Gleiter über den Bewegungsmesswandler nach oben gezogen.
- Für die Bestimmung des Neigungswinkels α der Luftkissenbahn messen Sie den Abstand l zwischen den Luftkissenbahnständern und die Höhe h der Unterlegklötze.
- Führen Sie die Messung bei **drei Höhen** mit jeweils **zwei beschleunigenden Massen** $m_{Antrieb} = (10, 15)g$ durch. Verwenden Sie den Gleiter mit **zwei Zusatzscheiben** ($m_{1/1}, m_{1/2}$).

2.3 Versuchsauswertung

Aufgabe 1: Für eine erfolgreiche Versuchsdurchführung ist eine gewissenhafte Justierung der Anlage absolut notwendig.

Aufgabe 2: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

- Die Messergebnisse werden als Funktion $s = f(t^2)$ in einem Diagramm ausgegeben und werden unter anderem zur Bestimmung der Beschleunigung genutzt.
Zum Beispiel erhalten Sie für den Fall „**ohne Zusatzmassen**“ ein Diagramm mit vier Graphen, bei der jeder Graph für eine andere antreibende Masse $m_{Antrieb}$ steht.
- Erstellen Sie eine Tabelle, in der die Anzahl der Messungen sowie die Größen Gesamtmasse ($m_{ges} = m_{Gleiter} + m_{Zusatz} + m_{Antrieb} + 2\mu$), die Antriebsmasse $m_{Antrieb}$ und die Antriebskraft ($F_a = m_{Antrieb} \cdot g$) als Spalten aufgelistet werden.
- Berechnen Sie tabellarisch die Beschleunigung a aus der Gesamtmasse m_{ges} und der Antriebskraft F_a , sowie aus den im Versuch notierten Anstiegen.

Hinweis:

Beachte Sie, dass es sich bei der Bewegung des Gleiters der Luftkissenbahn um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt. Was sagt dieser Zusammenhang über die Anstiege der ausgegebenen Graphen aus?

- Stellen Sie die Funktion $F_a = f(a)$ in einem Diagramm graphisch dar und bestimmen Sie aus den vier Messwerten der unterschiedlichen Antriebsmassen (10g, 5g, 3g, 2g) den Anstieg der Regressionsgraden.
- Tragen Sie alle drei Funktionen (Gleiter ohne Zusatzmasse, Gleiter mit zwei bzw. vier Zusatzscheiben) in dieses Diagramm ein.
- Zeichnen Sie für jeden Graphen die Fehlerbalken (F_a, a) ein (siehe dazu **Abschnitt 4.6** im Begleitheft „Einführung in das physikalische Praktikum“) und bestimmen Sie daraus die relativen Messunsicherheiten der Anstiege.
- Vergleichen Sie die berechneten Beschleunigungen ($F_a = m_{Antrieb} \cdot g$) mit den ermittelten Beschleunigungen (ausgegebene Anstiege über das Messsystem).
- Diskutieren Sie Ihr Ergebnis.

Aufgabe 3: Schiefe Ebene

- Sie haben für beiden Fälle ein Diagramm $s = f(t^2)$ mit jeweils **drei Graphen und h** als Parameter ausgegeben.
Zum Beispiel erhalten Sie für den Fall „ $m_{Antrieb}=10g$ “ ein Diagramm mit drei Graphen, bei der jeder Graph für eine andere Höhe h steht.
- Bestimmen Sie aus den Anstiegen (ausgegebene Graphen) die jeweilige Beschleunigung a und bestimmen Sie mit dieser die Fallbeschleunigung g . Beachten Sie bei den Berechnungen ebenfalls die Hinweise zur **Aufgabe 2**
(z. B. Erstellen einer Tabelle mit Spalten für Messung, Höhe, $\sin \alpha$, beschleunigte und beschleunigende Masse, Beschleunigung a und Fallbeschleunigung g)!
- Bestimmen Sie aus den erhaltenen Werten den Mittelwert für die Fallbeschleunigung g .
- Stellen Sie die ermittelten Beschleunigungen zur Höhe in ein Diagramm der Funktion $a = f(h)$ mit den Parametern der antreibenden Masse (10g und 15g) graphisch dar.
- Diskutieren Sie die Abweichungen der Fallbeschleunigung g der berechneten vom Tabellenwert (siehe **Abschnitt 2.1**) unter qualitativer Einschätzung der Messabweichungen.

Hinweis:

Näheres zur linearen Regression finden Sie im Begleitheft „Einführung in das Physikalische Praktikum“.