

Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON'sches Axiom)

Das Grundgesetz der Mechanik beschreibt die Wirkung einer Kraft auf die Bewegung eines Körpers. Es spielt bei der Beschreibung von Bewegungen und Bewegungsänderungen von Punktmassen eine zentrale Rolle. Bei der experimentellen Erarbeitung oder Bestätigung des Gesetzes wird häufig ein Vorgehen gewählt, bei dem man in mehreren Teilversuchen die Kraft und die Masse konstant hält und die Beschleunigung indirekt ermittelt. Das ist nicht nötig, denn mithilfe der TI-Nspire™ Lab Station, bestehend aus der Vernier DataQuest™ Applikation (ab Version 6.2.0.333) und dem Vernier™ Go Direct Force and Acceleration Sensor in Verbindung mit TI-Bluetooth-Adapter, ist eine direkte drahtlose Messung von beschleunigender Kraft und erzielter Beschleunigung während eines dynamischen Vorgangs möglich.

Dabei kommen ein Kraftsensor und ein Beschleunigungssensor zum Einsatz, die im Go Direct Force and Acceleration Sensor integriert sind. Letzterer ähnelt den Beschleunigungssensoren in Mobiltelefonen. Da in der Kinematik ausreichend Erfahrungen im Messen von Beschleunigungen auf herkömmlichem Wege gesammelt wurden, ist der Einsatz von rechnergestützter Messtechnik zu rechtfertigen, auch wenn das Messgerät selbst eine Blackbox bleibt.

Versuchsaufbau



Versuch mit integriertem Kraft- und Beschleunigungssensor

Material

- verschiedene Massestücke (z. B. 0,5 kg, 1 kg, 2 kg)
- (Taschen-)Computer mit Messwerterfassung (hier TI-Nspire™ CX II-T mit TI-Bluetooth-Adapter)
- Vernier™ Go Direct Force and Acceleration Sensor

Versuchsdurchführung

Ein Massestück wird mehrfach angehoben, dabei kurzzeitig beschleunigt und wieder abgesenkt. Die beschleunigende Kraft und die Beschleunigung werden gleichzeitig gemessen. Das Experiment wird mit verschiedenen Massestücken durchgeführt.

Vorbereitung: 5 min, Durchführung: 25 min (mit Auswertung)

Einstellungen

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messzeit: z. B. 3 s
- Messrate: z. B. 50 Messungen pro Sekunde
- Ch1: Beschleunigungssensor
- Ch2: Kraftsensor (Messbereich: 50 N)

Hinweise

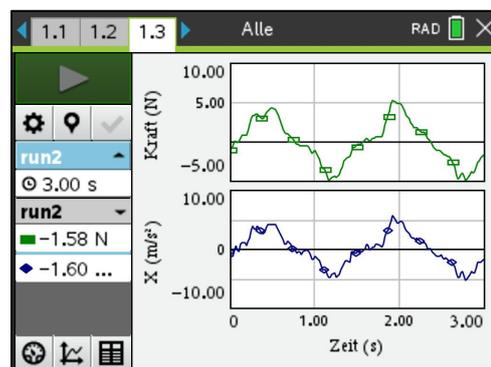
Alternativ könnte auch ein Experimentierwagen mit verschiedenen Beladungen durch Ziehen beschleunigt werden. Die Ergebnisse sind etwas ungenauer als beim beschriebenen Verfahren. Weitere Varianten wären die gleichzeitige Messung von Kraft und Beschleunigung bei der Schwingung eines Feder-Masse-Pendels oder beim Sprung auf einer Kraftplatte.

Tipps und Tricks

Der Beschleunigungs- und der Kraftsensor müssen in der DataQuest-Applikation auf Null gestellt werden, damit nur die beschleunigende Kraft gemessen wird. Dies sollte durchgeführt werden, während das Massestück bereits am Kraftsensor hängt, aber noch nicht bewegt wird.

Auswertung

Die Graphen im $F(t)$ - und $a(t)$ -Diagramm zeigen ähnliche Verläufe. In das $F(a)$ -Diagramm (vgl. Lösungsblatt) ließe sich eine Ursprungsgerade einzeichnen. Nun bestimmt man entweder durch händisches Anpassen oder über eine Regression die Gleichung einer solchen Geraden. Es zeigt sich, dass ihre Steigung der Masse des beschleunigten Körpers entspricht.



Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON'sches Axiom)

Aufgabenstellung

Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen Kraft, Beschleunigung und Masse bei der Bewegung eines Körpers.

- (1) Planen Sie ein Experiment, mit dem der Zusammenhang der physikalischen Größen Kraft, Beschleunigung und Masse bei der Bewegung eines Körpers mit den bereitliegenden Materialien von Ihnen untersucht werden kann. [Hilfe 1](#)
- (2) Führen Sie das von Ihnen entworfene Experiment durch und werten Sie es aus. [Hilfen 2 bis 5](#)
- (3) Formulieren Sie einen Zusammenhang zwischen den Größen Kraft, Beschleunigung und Masse. [Hilfe 6](#)
- (4) Wiederholen Sie die Aufträge (2) und (3) mit den anderen Massestücken.

Versuchsaufbau



Versuch mit integriertem Kraft- und Beschleunigungssensor

Material

- verschiedene Massestücke (z. B. 0,5 kg, 1 kg, 2 kg)
- (Taschen-)Computer mit Messwerterfassung
- Kraftsensor
- Beschleunigungssensor

Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON'sches Axiom)

Hilfe 1

Mit den vorhandenen Sensoren können die Kraft und die Beschleunigung gemessen werden, die Masse des Körpers ist bekannt. Die Sensoren müssen zusammen mit dem Massestück beschleunigt bewegt werden.

**Hilfe 2**

Heben Sie das am Sensor hängende Massestück an und stellen Sie beide Sensoren auf Null (ruhig halten!).

**Hilfe 3**

Nehmen Sie folgende Einstellungen vor:

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messzeit: z. B. 3 s
- Messrate: z. B. 50 Messungen pro Sekunde

**Hilfe 4**

Starten Sie die Messung. Das Massestück sollte während der Messzeit etwa zwei- bis dreimal senkrecht angehoben, dabei kurzzeitig beschleunigt und wieder abgesenkt werden.

**Hilfe 5**

Erstellen Sie ein Kraft-Beschleunigungs-Diagramm, z. B. als Streudiagramm in „Graphs“. Zeichnen Sie in dieses Diagramm eine Ausgleichsgerade ein. Nutzen Sie entweder eine lineare Regression oder bestimmen Sie den Anstieg durch eine händisch platzierte Ausgleichsgerade.

**Hilfe 6**

Werden die Kraft F und die Beschleunigung a gemessen, ergibt der Quotient aus beiden die verwendete Masse. In einem Kraft-Beschleunigungs-Diagramm ergibt sich die Masse dann als Steigung einer Ausgleichsgeraden. Es gilt folglich $m = \frac{F}{a}$ bzw. $F = m \cdot a$. Dieser Zusammenhang wird als 2. NEWTON'sches Axiom bezeichnet.

Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON'sches Axiom)

Aufgabenstellung

Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen Kraft, Beschleunigung und Masse bei der Bewegung eines Körpers.

- (1) Stellen Sie eine Hypothese über den Zusammenhang zwischen beschleunigender Kraft, beschleunigter Masse und erzielter Beschleunigung auf.
- (2) Verbinden Sie den Sensore mit dem Taschencomputer.
- (3) Heben Sie mit dem Kraftsensor das Massestück an und stellen Sie beide Sensoren auf Null (ruhig halten!). Nehmen Sie alle weiteren Einstellungen vor.
[Hilfe 1](#)
- (4) Starten Sie die Messung. Das Massestück wird während der Messzeit mehrfach senkrecht angehoben, dabei kurzzeitig beschleunigt und wieder abgesenkt.
[Hilfe 2](#)
- (5) Übernehmen Sie die Verläufe der Messgraphen als Skizze in Ihr Messprotokoll.
[Hilfe 3](#)
- (6) Erstellen Sie ein Kraft-Beschleunigungs-Diagramm und übernehmen Sie dieses in Ihr Messprotokoll. Zeichnen Sie in dieses Diagramm eine Ausgleichsgerade ein. Ermitteln Sie mithilfe des Taschencomputers die Steigung dieser Geraden.
[Hilfe 4](#)
- (7) Formulieren Sie einen Zusammenhang zwischen den Größen Kraft, Beschleunigung und Masse. [Hilfe 5](#)
- (8) Wiederholen Sie die Aufträge (2) bis (7) mit den anderen Massestücken.

Versuchsaufbau



Versuch mit integriertem Kraft- und Beschleunigungssensor

Material

- verschiedene Massestücke (z. B. 0,5 kg, 1 kg, 2 kg)
- (Taschen-)Computer mit Messwerterfassung
- Kraftsensor
- Beschleunigungssensor

Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON'sches Axiom)

Hilfe 1

Nehmen Sie folgende Einstellungen vor:

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messzeit: z. B. 3 s
- Messrate: z. B. 50 Messungen pro Sekunde

**Hilfe 2**

Starten Sie die Messung. Das Massestück sollte während der Messzeit etwa zwei- bis dreimal senkrecht angehoben, dabei kurzzeitig beschleunigt und wieder abgesenkt werden.

**Hilfe 3**

Dargestellt werden die Kraft und die Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit.

**Hilfe 4**

Dargestellt wird die Kraft über der Beschleunigung. Erzeugen Sie in „Graphs“ oder in „DataQuest“ ein entsprechendes Streudiagramm.

Nutzen Sie entweder eine lineare Regression oder bestimmen Sie den Anstieg durch eine händisch platzierte Ausgleichsgerade.

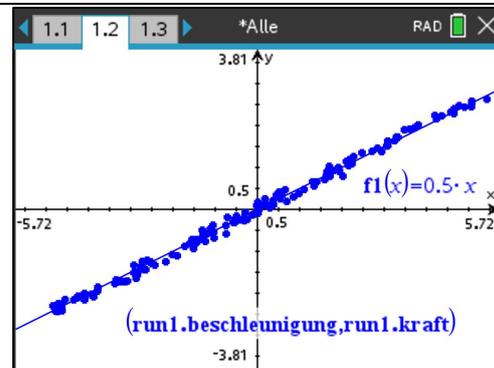
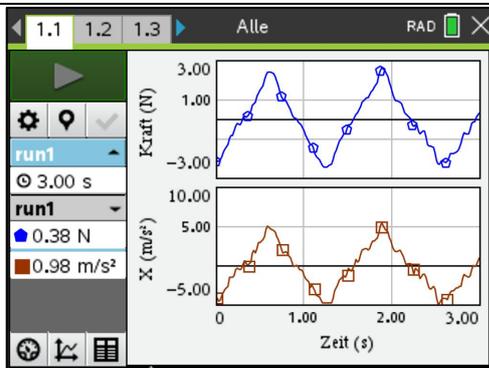
**Hilfe 5**

Werden die Kraft F und die Beschleunigung a gemessen, ergibt der Quotient aus beiden die verwendete Masse. In einem Kraft-Beschleunigungs-Diagramm ergibt sich die Masse dann als Steigung einer Ausgleichsgeraden. Es gilt folglich $m = \frac{F}{a}$ bzw. $F = m \cdot a$. Dieser Zusammenhang wird als 2. NEWTON'sches Axiom bezeichnet.

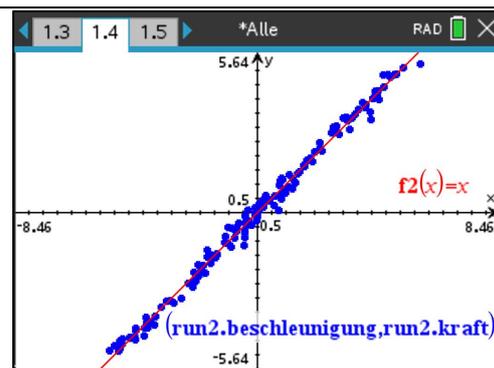
Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON'sches Axiom)

Musterlösungen:

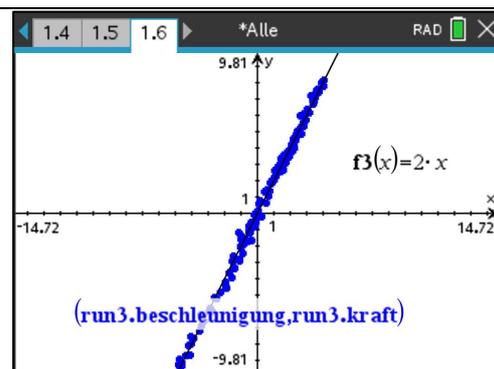
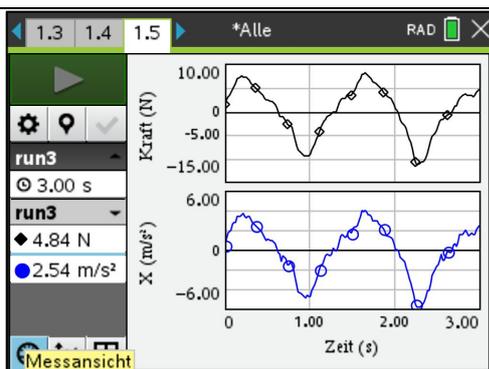
Beschleunigte Masse $m_1 = 0,5 \text{ kg}$



Beschleunigte Masse $m_2 = 1 \text{ kg}$



Beschleunigte Masse $m_3 = 2 \text{ kg}$



Die Graphen im $F(t)$ - und $a(t)$ -Diagramm sind sich sehr ähnlich. Die Proportionalität zwischen F und a wird auch durch die Ursprungsgerade im $F(a)$ -Diagramm, die sich als Ausgleichsgerade finden lässt, bestätigt. Zusätzlich ließe sich in der Tabellenkalkulation die weitgehende Konstanz des Quotienten aus F und a zeigen. Der Anstieg der Geraden entspricht jeweils der Masse des beschleunigten Körpers.
 $F = m \cdot a$