



Experiment zur Kreisbewegung

Stand: 25.02.23

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------|
| Zeitraumen | Ca. 2 Unterrichtsstunden |
| Benötigtes Material | Computer/Laptop mit Internetzugang und Tabellenkalkulation |

Kompetenzerwartungen

Ph11 1 Kreisbewegung

Die Schülerinnen und Schüler ...

- formulieren ausgehend von Alltagserfahrungen und physikalischen Vorkenntnissen Hypothesen zur Abhängigkeit der Zentripetalkraft von verschiedenen Größen. Sie leiten mithilfe geometrischer Überlegungen zur Kreisbewegung einen Term für die Berechnung der Zentripetalkraft her. Zur Überprüfung dieses Ausdrucks planen sie selbständig geeignete Experimente, führen sie vorzugsweise unter Zuhilfenahme von elektronischen Sensoren durch und werten die erhaltenen Daten selbständig aus. Sie reflektieren den Erkenntnisweg, insbesondere die Relevanz des Experiments für das Überprüfen von Hypothesen, sowie das grundlegende Funktionsprinzip des verwendeten Sensors und die Genauigkeit der Ergebnisse.

Aufgabe

Mit einem Smartphone wurde in einem passenden Versuchsaufbau nach Installation einer geeigneten App die Zentripetalbeschleunigung gemessen.

Folgende Hypothesen wurden dabei untersucht:

- Die Zentripetalbeschleunigung a hängt von der Bahngeschwindigkeit v ab.
- Die Zentripetalbeschleunigung a hängt von der Umlaufdauer T ab.
- Die Zentripetalbeschleunigung a hängt vom Bahnradius r ab.

Arbeitsaufträge:

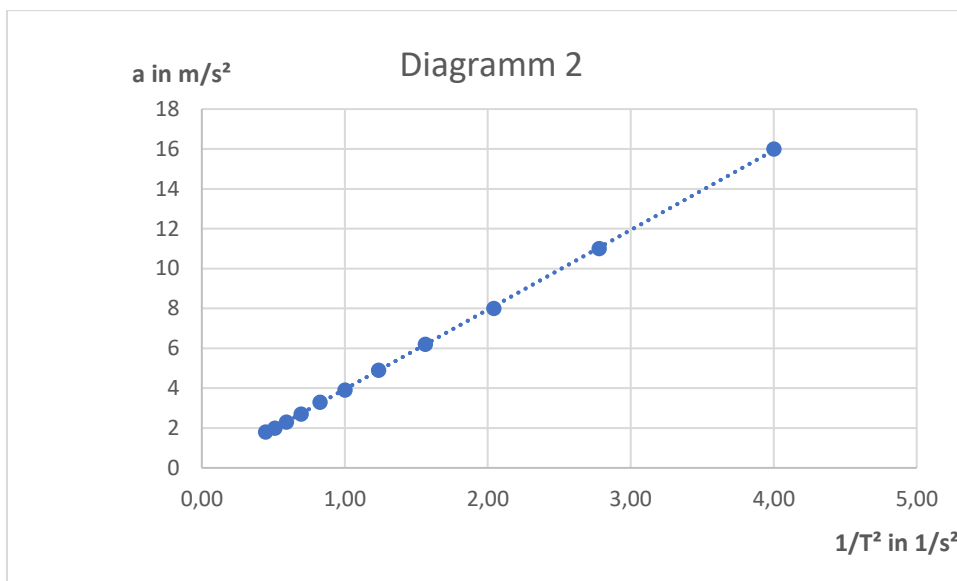
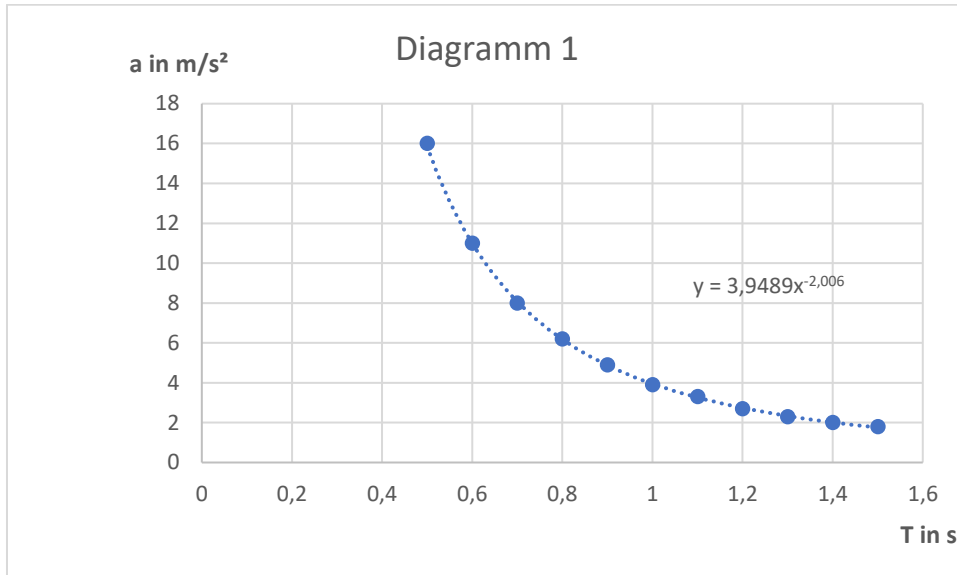
1. Erklären Sie, dass eine Kreisbewegung in der Tat eine beschleunigte Bewegung ist, auch wenn der Betrag der Geschwindigkeit auf der Kreisbahn konstant ist.
2. Beschreiben Sie einen möglichen Versuchsaufbau für das oben genannte Experiment und gehen Sie auf Möglichkeiten ein, Messabweichungen zu reduzieren.
3. Informieren Sie sich über die grundlegende Funktionsweise eines Beschleunigungssensors in einem Smartphone und geben Sie eine kurze schriftliche Zusammenfassung anhand einer Skizze.
4. Erläutern Sie, dass es für die Messung ausreicht, nur zwei der drei Größen v , T und r zu messen.

Im Folgenden wird ein Experiment betrachtet, in dem die Zentripetalbeschleunigung a bei verschiedenen Umlaufzeiten T und Bahnradien r gemessen wurde.

| T/s | a in m/s ² für r = 5,0 cm | a in m/s ² für r = 10 cm | a in m/s ² für r = 20 cm | a in m/s ² für r = 30 cm |
|-----|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0,5 | 7,9 | 16 | 32 | 47 |
| 0,6 | 5,5 | 11 | 22 | 33 |
| 0,7 | 4,0 | 8,0 | 16 | 24 |
| 0,8 | 3,1 | 6,2 | 12 | 18 |
| 0,9 | 2,4 | 4,9 | 9,7 | 15 |
| 1,0 | 1,9 | 3,9 | 7,9 | 12 |
| 1,1 | 1,6 | 3,3 | 6,5 | 9,8 |
| 1,2 | 1,4 | 2,7 | 5,5 | 8,2 |
| 1,3 | 1,2 | 2,3 | 4,7 | 7,0 |
| 1,4 | 1,0 | 2,0 | 4,0 | 6,0 |
| 1,5 | 0,9 | 1,8 | 3,5 | 5,3 |

5. Leiten Sie ausgehend von den Zusammenhängen $v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$ und $a = \frac{v^2}{r}$ einen Zusammenhang zwischen den beiden Größen T und r her und bestätigen Sie diesen Zusammenhang mithilfe der Messwerte. Nutzen Sie dazu ein Tabellenkalkulationsprogramm.

In einer graphischen Auswertung zur Spalte $r = 10 \text{ cm}$ erhält man die folgenden Diagramme zu unterschiedlichen Achsauftragungen. Die gepunkteten Kurven sind „Trendlinien“, die das Tabellenkalkulationsprogramm „vorschlägt“. Im ersten Fall ist auch der aus der Trendlinie entwickelte funktionale Zusammenhang in einer „Fitfunktion“ angegeben.



6. Beschreiben Sie die Überlegungen, die von Diagramm 1 zur Auftragung in Diagramm 2 führen, und benennen Sie einen Vorteil der Darstellung in Diagramm 2.
7. Ermitteln Sie einen Funktionsterm der Fitfunktion zur Trendlinie aus Diagramm 2 mithilfe der Tabellenkalkulation und erläutern Sie, inwieweit dieser Funktionsterm zu Ihren bisherigen Überlegungen passt.
8. Geben Sie eine experimentelle Vorgehensweise zur Untersuchung der Hypothese „die Zentripetalbeschleunigung a hängt von der Masse m ab“ an und begründen Sie die Unabhängigkeit der Zentripetalbeschleunigung von der Masse durch theoretische Überlegungen.

Hinweise zum Unterricht

- Für die Auswertung bietet sich eine arbeitsteilige Gruppenarbeit an.
- Alle Arbeitsaufträge können eigenständig oder in Gruppenarbeit erledigt werden. Aus didaktischen Gründen oder aus Zeitgründen können einzelne Arbeitsaufträge zusammengefasst und in einem Unterrichtsgespräch behandelt werden.

Beispiele für Produkte und Lösungen der Schülerinnen und Schüler

1. Die Zentripetalkraft steht bei einer Kreisbewegung stets senkrecht zur Bewegungsrichtung, es wird keine Arbeit am bewegten Körper verrichtet, seine kinetische Energie bleibt also gleich.

Wegen der konstanten Masse ändert sich auch der Betrag seiner Geschwindigkeit (sein Tempo) nicht.

Die Zentripetalkraft trägt also nur zu einer Änderung der Bewegungsrichtung bei. Die Bewegung ist damit eine beschleunigte Bewegung, obwohl der Betrag der Geschwindigkeit gleich bleibt.

2. Da das Smartphone als Sensor verwendet wird, muss dieses selbst eine Kreisbahn beschreiben. Eine einfache Möglichkeit hierfür besteht in der Nutzung einer Salatschleuder (siehe Fotos), in der das Smartphone gegen Umkippen fixiert wird, um Messabweichungen zu reduzieren; die Schleuder sollte während der Messung möglichst waagrecht stehen. (Alternativ eignet sich auch eine rotierende Fahrradfelge oder ein Drehlager. Hier ist jedoch auf eine sichere Befestigung des Smartphones zu achten!)



3. Ein Beschleunigungssensor wandelt auftretende Beschleunigungen in ein elektrisches Signal um. Die Stärke dieses Signals ist ein Maß für die Beschleunigung. Um Beschleunigungen in alle Raumrichtungen zu messen, sind hierfür drei Sensoren nötig. Wie genau die Umwandlung in ein elektrisches Signal geschieht, ist von der Art des Sensors abhängig. In Smartphones werden meistens sogenannte „kapazitive“ Beschleunigungssensoren verwendet. Diese bestehen aus zwei festen Plättchen und einem beweglichen Plättchen dazwischen wie in der Abbildung gezeigt. Wird das Smartphone beschleunigt, werden die festen Plättchen mit beschleunigt, während das bewegliche Plättchen aufgrund des Trägheitssatzes in Ruhe bleibt. Deshalb ändern sich die Abstände zwischen beweglichem Plättchen und festen Plättchen. Daraus kann auf die Beschleunigung geschlossen werden.



Illustrierende Aufgaben zum LehrplanPLUS

Gymnasium, Physik, Repetitorium zur individuellen Lernzeitverkürzung

- festes Plättchen
- bewegliches Plättchen
- festes Plättchen

4. Zwischen den Größen v , r und T gilt folgender Zusammenhang: $v = \frac{2\pi r}{T}$
 Misst man zwei dieser Größen, so kann die dritte daraus bestimmt werden.

5. Aus $v = \frac{2\pi r}{T}$ und $a = \frac{v^2}{r}$ ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen T und r :

$$r = \frac{\sqrt{a} \cdot T}{2\pi} \quad \text{also} \quad \frac{r}{\sqrt{r}} = \sqrt{r} = \frac{\sqrt{a} \cdot T}{2\pi} \quad \text{oder} \quad r \sim a \cdot T^2$$

Aus den Messwerten kann also \sqrt{r} und $\frac{\sqrt{a} \cdot T}{2\pi}$ berechnet und anschließend verglichen werden, z. B.

| r = 5,0 cm | | r = 10,0 cm | |
|------------|------------------|-------------|------------------|
| Wurzel(r) | Wurzel(a)*T/2*Pi | Wurzel(r) | Wurzel(a)*T/2*Pi |
| 0,2236 | 0,2237 | 0,3162 | 0,3183 |
| 0,2236 | 0,2240 | 0,3162 | 0,3167 |
| 0,2236 | 0,2228 | 0,3162 | 0,3151 |
| 0,2236 | 0,2242 | 0,3162 | 0,3170 |
| 0,2236 | 0,2219 | 0,3162 | 0,3171 |
| 0,2236 | 0,2194 | 0,3162 | 0,3143 |
| 0,2236 | 0,2214 | 0,3162 | 0,3180 |
| 0,2236 | 0,2260 | 0,3162 | 0,3138 |
| 0,2236 | 0,2266 | 0,3162 | 0,3138 |
| 0,2236 | 0,2228 | 0,3162 | 0,3151 |
| 0,2236 | 0,2265 | 0,3162 | 0,3203 |

6. Aus Diagramm 1 kann man im Zusammenhang mit der Fitfunktion den Zusammenhang $a \sim T^{-2}$ bzw. $a = \frac{k}{T^2} = k \cdot \frac{1}{T^2}$ mit $k \approx 4$ vermuten.

Trägt man a gegen T^{-2} auf, so sollte sich eine Gerade mit der Steigung $m \approx 4$ ergeben. Die Steigung und der geradlinige Verlauf lassen sich in Diagramm 2 leicht ablesen.

7. Diagramm 2 zeichnen, einen Datenpunkt mit der rechten Maustaste anklicken und „Trendlinie hinzufügen“ auswählen.

Die Fitfunktion liefert $y = 3,9939 x - 0,0487$ und damit die erwartete Steigung $m \approx 4$.

8. Man müsste die Masse des bewegten Körpers verändern (z. B. durch Vervielfachen der Masse) und jeweils die Beschleunigung bei festem Radius und fester Umlaufdauer messen.

Durch das Newtonsche Grundgesetz $F = m \cdot a$ mit $F \sim m$ für a konstant und $F \sim a$ für m konstant wird klar, dass nicht die Beschleunigung, sondern die Kraft von der Masse abhängt. Man kann für jede Masse die gewünschte Beschleunigung erreichen, deshalb kann die Beschleunigung nicht abhängig von der Masse sein.