



# Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

## Lehrerhandreichung

- **Jahrgangsstufe:** Einführungsphase
- **Methode:** Schülerexperiment
- **Thema:** Freier Fall
- **Versuchszeit:** 45 min

In diesem Versuch soll die Erdbeschleunigung  $g$  mithilfe des Smartphones und der App *phyphox* bestimmt werden. Zur Datenerfassung dienen Magnete entlang der Fallstrecke als Signalgeber für das Smartphone, dessen Magnetfeldsensor durch die App ausgelesen wird, sodass Weg-Zeit-Daten ermittelt werden können. Diese Lerneinheit besteht aus zwei Abschnitten. Im experimentellen Segment sollen die benötigten Magnetfeld-Zeit-Daten aufgenommen werden, welche anschließend in einem zweiten Abschnitt im Hinblick auf die Bestimmung von  $g$  ausgewertet werden sollen.

Für das konzipierte Arbeitsblatt ist der Kontext einer Achterbahn gewählt worden, für die der Betreiber eine maximale Beschleunigung von  $4,5g$  angibt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass in vielen Physik-Schulbüchern eine Bezeichnung von Datenpunkten und Diagrammen verwendet wird, die nicht mit der Benennung konform ist, die in den Lehrbüchern der Physik benutzt wird. Auf dem AB wird stets die gängige physikalische Notation verwendet: Die  $y$ -Achsenbeschriftung (Ordinatenachse) wird vor der  $x$ -Achsenbeschriftung (Abszissenachse) gesetzt, z.B. Weg-Zeit-Daten, Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm.

### Thema

- Versuchszeit: 45 min.
- (Inhaltsfeld<sup>1</sup> Mechanik): gleichmäßig beschleunigte Bewegungen (Lerneinheit: Freier Fall)
- Verwendeter Sensor: Magnetfeldsensor

### Voraussetzungen

1. Material für jede Versuchsgruppe:

- Stativhalterung und Stativstange mit Abstandsmarkierungen
- Quadermagnete<sup>2</sup> (ca. 6 Stück bei 1 m Fallhöhe)
- Maßband/ Zollstock

<sup>1</sup> Bezogen auf den Kernlehrplan Physik NRW 2014

<sup>2</sup> Haftkraft von ca. 37,3 N (z.B. Typ Q-20-10-05-N der Internetfirma [supermagnete.de](http://supermagnete.de)) liefert gute Ergebnisse





# Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

## Lehrerhandreichung

- Material zum Auffangen des Smartphones (z.B. Kiste + Kissen, Pullover oder Jacke zur Federung)
- Smartphone mit der App *phyphox*
- Laptop (für eine Auswertung mit Excel)

### 2. Inhalte/ Kenntnisse

- Gesetzmäßigkeiten einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

$$v = a \cdot t + v_0$$

- Bestimmung von Intervallgeschwindigkeiten
- Erste Kenntnisse in Excel (je nach dem, ob mit einem Laptop gearbeitet wird) und ggf. mit der App *phyphox* (Anleitung zur Verfügung stellen)
- Kenntnisse über die Methode mit Magneten und der App auf Weg-Zeit-Daten zu schließen

### Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler

1. führen ein Experiment mit dem Smartphone durch und wenden dieses, insbesondere die App *phyphox*, zur Datenerfassung von Weg-Zeit-Daten des freien Falls an.
2. werten die Messdaten graphisch aus und bestimmen die Erdbeschleunigung.

### Kompetenzerwartungen<sup>3</sup>

- Wiedergabe (UF1)
- Auswahl (UF2)
- Wahrnehmung und Messung (E2)
- Auswertung (E5)
- Dokumentation (K1)

<sup>3</sup> Genaue Erklärung im Kernlehrplan Physik 2014 NRW





# Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

## Lehrerhandreichung

### Methodische Anmerkungen

Die Durchführung des Versuches ist für kleine Versuchsgruppen (genaue Größe in Abhängigkeit von der Klassengröße) gedacht, während die spätere Auswertung auch in Einzelarbeit erfolgen könnte. Sobald die Weg-Zeit-Daten vorhanden sind, können die weiteren Aufgaben der Arbeitsblätter auch als Hausaufgabe gestellt werden.

Es ist dabei sinnvoll die Methode „Magnet-Lineal“, welche auch in einem Demonstrations-Smartphone-Versuch auf der Luftkissenbahn<sup>4</sup> verwendet wird, im Vorhinein zu thematisieren, um den SuS einen Einblick in dieses Verfahren und dessen Funktion zu geben. Es wird damit erreicht, dass der Fokus mehr auf den neuen Fallversuch und nicht auf die Methode gelegt wird. Trotzdem kann durch angepasste Lernziele ein solcher Fokus gewählt werden, worauf jedoch in den folgenden Ausführungen nicht eingegangen wird.

Im Folgenden finden Sie methodische Anregungen und Hinweise zu den einzelnen Aufträgen.

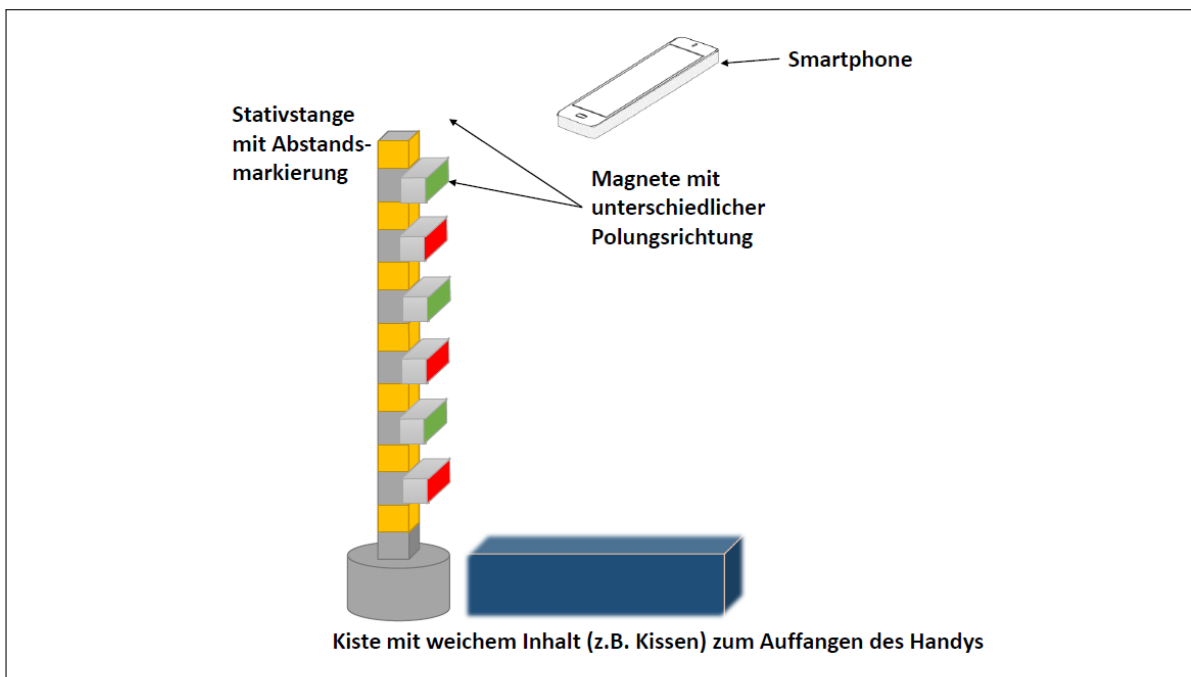


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. An der Stativstange werden Markierungen für die Position der Quadermagnete angebracht. Die Magnete werden mit abwechselnder Polungsrichtung an der magnetischen Stativstange befestigt. Zudem ist eine Kiste mit weichem Innenleben (Kissen, Pullover etc.) unterhalb des später fallenden Smartphones platziert worden.

<sup>4</sup> Siehe Lehrerhandreichung zum Luftkissenbahn-Versuch, die im Rahmen der Bachelorarbeit zum Thema *Entwicklung von Smartphone-Experimenten zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App phyphox für den Einsatz in der Sekundarstufe II* von Simon Goertz (2016) erstellt worden ist.



# Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

## Lehrerhandreichung

- Versuchsaufbau (vgl. Abbildung 1): Einerseits ist es möglich den Versuch im Vorfeld aufzubauen und damit fertig den Schülerinnen und Schülern (SuS) zu präsentieren, um Einfluss auf die Versuchszeit zu nehmen. Andererseits kann für die SuS lediglich die Stativstange mit den angebrachten Markierungen vorbereitet werden, um die selbstständige Wahl der Abstände der Magnete zuzulassen. Der Versuchsaufbau kann auch alternativ zum Stativmaterial mit Gegenständen aus dem Klassenzimmer realisiert werden. Auf diese Weise kann eine Anregung und Inspiration geschaffen werden, den Versuch zuhause zu wiederholen.

Erste Erfahrungen haben gezeigt, dass der Versuchsaufbau statt mit einer Kiste zum Auffangen des Smartphones auch ebenso lediglich mit einer auf dem Boden platzierten Jacke durchgeführt werden kann. Somit müssten nicht unbedingt eine große Zahl an Kartons besorgt und zur Verfügung gestellt werden. Alternativ kann man auch von den einzelnen Versuchsgruppen verlangen, einen Karton mit bestimmten Maßen zu besorgen (in den Probedurchläufen hat sich ein Karton mit den Maßen Länge/Breite/Höhe: 36,5 cm/29,5 cm/17,5 cm bewährt) und damit den Versuch durchzuführen.

- Versuchsdurchführung: Es muss darauf geachtet werden, dass die Magnete in abwechselnder Polungsrichtung angebracht werden und das Smartphone gemäß der Versuchsbeschreibung fallen gelassen wird, um die spätere Auswertung zu vereinfachen und die vordefinierte Excel-Tabelle anwenden zu können, falls ein PC benutzt wird.

Zudem ist eine ausreichend große und weiche Unterlage zum Auffangen des Smartphones einzusetzen um Folgeschäden zu vermeiden. Hierbei kann eine Überprüfung des „Auffangsystems“ durch die Lehrkraft nützlich sein, um die Sicherheit für das Smartphone zu gewährleisten.

Zudem ist es wichtig, dass Messwerte nach der Durchführung gesichert und betrachtet werden, damit eine zweite Messung und/oder ggf. eine Wiederholung des Versuchs ohne Verlust der Messdaten durchgeführt werden kann.

- Aufgaben zur Auswertung:

In der zugehörigen Excel-Tabelle „Bestimmung der Erdbeschleunigung“ werden die SuS angeleitet, die Weg-Zeit-Daten aus den aufgenommenen Magnetfeld-Zeit-Daten zu erhalten.

Alternativ zur Auswertung mit einem PC kann auch mit einer geeigneten App (z.B. *Excel*) eine Auswertung direkt auf dem Handy, jedoch mit größerem Aufwand, vorgenommen werden. Dazu sind die Peaks über den Smartphone-Bildschirm zu bestimmen, sodass die Weg-Zeit-Daten erstellt werden können. Der Programmierer der *phyphox*-App sieht zukünftig ebenso die Möglichkeit des Zoomens innerhalb von Graphen vor, die *phyphox* aus den Messdaten erstellt hat, was wiederum eine Erleichterung der Auswertung auf dem Smartphone mit sich bringen würde.



# Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

## Lehrerhandreichung

- **zu Aufgabe 1:** Der Graph könnte analog auf dem Papier erstellt werden, wodurch insgesamt ein zusätzlicher PC nicht mehr vonnöten ist. Da jedoch für die konzipierte Auswertung Excel benötigt wird, bietet sich die Weiterarbeit in diesem Programm an. Hierbei sind Kenntnisse in Excel erforderlich, um den Graphen dort zu erstellen.  
Es empfiehlt sich auch, Excel über solche Aufgaben zu erklären und näher zu bringen (falls es noch nicht geschehen ist), da es in vielerlei Hinsicht eingesetzt werden kann. Hierfür muss jedoch genügend Zeit eingeräumt werden, um den SuS eine vernünftige Erläuterung der wichtigen Befehle und Funktionen in Excel zu geben.
- **zu Aufgabe 2:** Für diese Aufgabe muss den SuS klar sein, wie sie die Intervallgeschwindigkeit zwischen zwei Weg-Zeit-Punkten bestimmen können. Wenn die Behandlung im Unterricht etwas länger zurückliegen sollte, können auch Hilfskärtchen mit Hinweisen erstellt und bereitgelegt werden.
- **zu Aufgabe 3:** Hierbei werden weitere Fertigkeiten in Excel verlangt. Die SuS müssten mit Excel eine Regressionsgerade erstellen können und anhand der Steigung die Beschleunigung bestimmen. Es wird ebenso an dieser Stelle deutlich, ob die SuS erkannt haben, dass die allgemeinen Bewegungsgleichungen durch die gewählte Versuchsdurchführung vereinfacht werden können, indem die Annahmen gemacht werden dürfen, dass keine Anfangsstrecke  $s_0$  (also der Startpunkt bei 0 m gesetzt werden kann) und keine Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  vorliegen.
- **zu Aufgabe 4:** Diese Aufgabenstellung verfolgt die qualitative Analyse von Messunsicherheiten. Die SuS sollen sich Gedanken über mögliche Quellen für Ungenauigkeiten im Versuchsaufbau machen. Durch gezielte Änderung der erwarteten Kompetenzen kann ein Fokus auf diese Betrachtung gelegt werden.
- **zu Aufgabe 5:** Durch diese Auftrag soll der Bezug zum Kontext Achterbahn erneut hergestellt werden. Die SuS bestimmen nun den konkreten Wert der maximalen Beschleunigung auf der Fahrattraktion. Da eine Angabe von  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  oft keine alltäglichen Bezugspunkte darstellt, kann durch die geforderte Recherche ein Gefühl für Beschleunigungswerte und deren Auswirkung entwickelt werden.
- **zur weiterführenden Aufgabe:** Als zusätzliche Differenzierungsmöglichkeit steht diese Aufgabe zur Verfügung. Sie stellt eine zweite Methode für die Auswertung der Weg-Zeit-Daten dar, wobei dabei die quadrierte Zeit benötigt wird, welche für viele SuS als ungebräuchlich und damit schwer anwendbar erscheint. Jedoch kann mit Hilfe der Gesetzmäßigkeiten über den Zusammenhang der Wegstrecke  $s$  und dem  $\text{Zeit}^2$  ebenso die Beschleunigung bestimmt werden. Ein gewichtiger Unterschied



# Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

## Lehrerhandreichung

zur Auswertung mit dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm stellen die deutlich kleineren Unsicherheiten (bei einer quantitativen Betrachtung der Messungenauigkeiten) dar, sodass ein genaueres Ergebnis erzielt werden kann. Diese Aufgabe ist für die Lernenden gedacht, welche die übrigen Aufgaben sehr schnell bearbeitet haben. Die Differenzierung innerhalb des Kurses kann am Ende durch eine gemeinsame Besprechung dieser Aufgabe (beispielsweise durch eine Vorstellung durch SuS) mit der gesamten Klasse geteilt und diskutiert werden.