

**Smartphone-Experimente zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen  
mit der App *phyphox*****Simon Goertz, Heidrun Heinke, Josef Riese, Christoph Stampfer, Sebastian Kuhlen**

RWTH Aachen University

simon.goertz@rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de, riese@physik.rwth-aachen.de,  
stampfer@physik.rwth-aachen.de, kuhlen@physik.rwth-aachen.de**Kurzfassung**

Die Bedeutung von Smartphones in der heutigen Gesellschaft nimmt stetig zu. Fast alle Jugendlichen besitzen ein eigenes Smartphone und nutzen dies täglich. Vielen ist nicht bewusst, welche verschiedenen Sensoren in den modernen Smartphones integriert sind, die insbesondere zur Erfassung verschiedenster (physikalischer) Daten verwendet werden können. Fast alle Sensoren können über die an der RWTH Aachen entwickelte App *phyphox* (***phyphox.org***) ausgelesen werden. Zudem bietet diese App die Möglichkeit, Experimente zu editieren, die individuell auf Lerngruppen angepasst werden können. Im Beitrag werden zwei Experimente vorgestellt, die im Bereich der Mechanik für die Sekundarstufe II des Gymnasiums entwickelt wurden und dabei den Einsatz des Smartphones mit der App *phyphox* nutzen. Konkret sind ein Lehrerdemonstrationsexperiment auf der Luftkissenbahn und ein Schülerexperiment für den freien Fall konzipiert worden, in denen das Smartphone zur Erfassung von Weg-Zeit-Daten dient. In diesem Beitrag werden die App *phyphox* und die beiden konzipierten Experimente aus physikalischer und didaktischer Sicht dargestellt.

**1. Motivation**

In der heutigen Gesellschaft nimmt die Bedeutung von Smartphones stetig zu. Fast jeder Jugendliche (95% der 12- bis 19-Jährigen nach der JIM-Studie 2016 (vgl. [1], S. 8)) besitzt sein eigenes Smartphone und nutzt dieses täglich. Die Smartphone-Nutzer verwenden dabei vor allem die Kommunikations- und Unterhaltungsfunktionen ihres Gerätes, welche durch die Hersteller immer wieder erweitert und verbessert werden. Zu den vielen Nutzern der Smartphones zählen vor allem die Schülerinnen und Schüler (SuS). Diese legen nur sehr selten das Smartphone aus der Hand, sodass es häufig auch in der Schule verwendet wird, wenn auch nicht immer im Sinne des Unterrichts. Schafft man es nun, das Smartphone zu unterrichtsdienlichem Nutzen einzusetzen, können eine neue Motivation für die Schülerinnen und Schüler geschaffen und der Lehrkraft neue Möglichkeiten des Experimentierens eröffnet werden.

In den modernen Smartphones sind verschiedene Sensoren integriert, die insbesondere im physikalischen Kontext verwendet werden können. So können Experimente mit diesen Geräten durchgeführt werden, wobei die Smartphones zur Messwerterfassung dienen. Die Größe und das Gewicht vieler Smartphones lässt einen vielseitigen Einsatz in verschiedenen Versuchsaufbauten zu. Zum Auslesen der unterschiedlichen Sensoren stehen zahlreiche, oft kostenlose Apps zur Verfügung, wobei jede Anwendung meist nur auf einen einzigen Sensor zugreifen kann. Die an der RWTH Aachen entwickelte App *phyphox* (**physical phone experiments**), die die Funktionalität vieler verschiedener Apps plattformübergreifend in sich vereint und damit den Nutzern erhebliche Vorteile bietet, soll in diesem Artikel erläutert und in

zwei Schulexperimenten angewandt werden. Konkret werden zwei Smartphone-Experimente im Bereich der Mechanik vorgestellt, die sich mit gleichmäßig beschleunigten Bewegungen beschäftigen und damit in Nordrhein-Westfalen laut Lehrplan der Sekundarstufe II zuzuordnen sind (vgl. [2]).

**2. Die App *phyphox***

In den App-Stores existiert eine Reihe von Smartphone-Apps für experimentelle Anwendungen, die jedoch nur einzelne Sensoren auslesen können. Eine Auflistung einiger für den Physikunterricht geeigneter Apps findet sich in einem Artikel von M. Hirth (vgl. [3], S. 47-50). Da jedoch jedes Smartphone über verschiedene Sensoren verfügt, stellen diese Apps eine große unübersichtliche Vielfalt für den Anwender dar. Die App *phyphox* kann auf fast alle Sensordaten zugreifen und diese graphisch einheitlich auf dem Handydisplay oder auf einem Laptop darstellen. Verschiedene physikalische Smartphone-Experimente können damit mit derselben App durchgeführt werden. Dies führt für Lehrkräfte und SuS zu einem deutlich reduzierten Aufwand bei der Installation und Einarbeitung in die nötige App und damit zu einer erhöhten Attraktivität des Einsatzes von Smartphone-Experimenten im Unterricht.

*Phyphox* ist am 2. Physikalischen Institut A der RWTH Aachen University entwickelt worden und seit dem September 2016 in den App-Stores von Google und Apple frei erhältlich. Die App ist von Sebastian Kuhlen programmiert worden.

**2.1. Funktionen und Möglichkeiten**

Diverse Funktionen von *phyphox* lassen diese App aus der Masse an vorhandenen Programmen zur Sen-

sorauslesung hervorstechen. Zu den typischen Sensoren eines Smartphones gehören u.a. ein Beschleunigungssensor, ein Gyroskop, ein Magnetfeldsensor und ein Mikrofon. In den neusten Geräten ist zudem noch ein Temperatur-, Druck- und Luftfeuchtigkeitssensor verbaut (vgl. [4], S. 4).

Die App ermöglicht dem Anwender einerseits auf die Rohdaten des Sensors zuzugreifen und andererseits in bereits implementierten Experimenten berechnete Ergebnisse darzustellen. So kann z.B. mit dem Experiment *Aufzug* die Geschwindigkeit sowie die gefahrene Höhe des Aufzuges mittels des Drucksensors bestimmt werden.

Neben dem Zugriff auf die vielen Sensordaten des Smartphones bietet die App die Möglichkeit eines Fernzugriffs. Damit kann die App vom Computer aus ferngesteuert werden, ohne ein im Versuch eingesetztes Smartphone weiter zu betätigen. So können Live-Messdaten auf dem PC verfolgt und ggf. über einen angeschlossenen Beamer präsentiert werden, was einen erheblichen Vorteil für Demonstrationsexperimente darstellt. Zudem können die Messdaten sehr einfach gesichert und beispielsweise per Mail oder Bluetooth an einen PC gesendet werden (Formate: Komma-getrennte Werte (CSV), Tabulator-getrennte Werte und als Excel-Format (xls)).

Ein weiterer großer Vorteil der App *phyphox* besteht darin, einfache eigene Experimente erstellen zu können. Für Lehrer-Anwender ist dies eine gute Möglichkeit, kleine Parameter eines Versuches zu verändern, wie z.B. die Sensorrate des Experiments oder die aufgenommene Datenmenge. Weitere Informationen rund um die App und ihre Features finden sich auf der entsprechenden Internetseite *phyphox.org*. Diese beinhaltet neben kurzen Erklärungen zu den Funktionen auch ein wiki zur App, das den Benutzern ermöglicht, Erfahrungen und Kenntnisse über *phyphox* auszutauschen. Neben der eingebauten Funktion, Experimente selbst zu erstellen bzw. Parameter zu variieren, ist es auch möglich, über einen in der App implementierten Editor<sup>1</sup> ganze Experimente selbst zu programmieren. Für Lehrer-Experten bietet dies vielfältige Optionen,

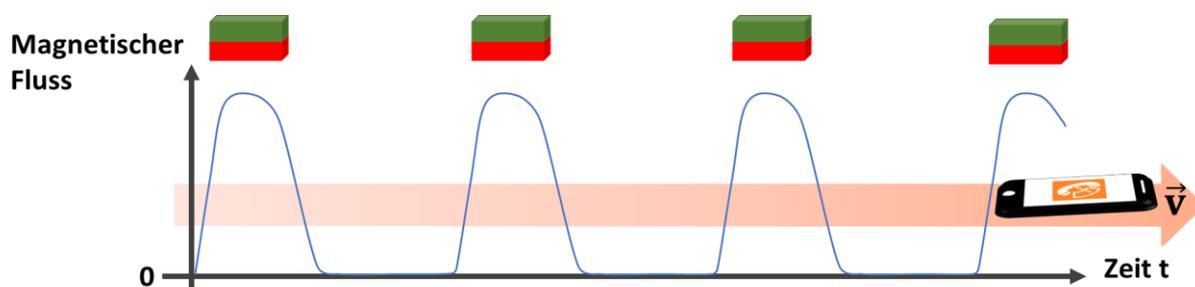
Versuche zu verändern oder sogar ganz neue komplexere Experimente zu erstellen. Dies eröffnet insbesondere auch die Chance, die Ausgabe der Messdaten des Experiments an den Vorkenntnisstand und das Lernziel für die konkrete Lerngruppe anzupassen. Eine Erklärung sowie Beispiele für selbst erstellte Experimente mit dem *phyphox*-Editor finden sich bei Götze et al. (vgl. [5]).

## 2.2. Mit Magneten zu Weg-Zeit-Daten

Viele (Smartphone-)Experimente im Bereich der Mechanik erfordern das Aufnehmen von Weg-Zeit-Daten. Deshalb wurde zu Beginn der Entwicklungsphase der hier vorgestellten Smartphone-Experimente nach einem tragfähigen Konzept für die Aufnahme solcher Messdaten in typischen Experimentiersituationen im Physikunterricht gesucht. Hierzu wurde die Nutzung verschiedener, prinzipiell geeigneter Sensoren des Smartphones in Betracht gezogen. Dabei erschien der Lichtsensor im Sinne des Lichtschrankenprinzips als potentiell geeignet, erwies sich aber bereits bei moderaten Geschwindigkeiten der bewegten Objekte als zu träge. Die alternative Verwendung des Beschleunigungssensors erbrachte aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit keine zuverlässigen Ergebnisse.

Durch diese Erkenntnisse ist der Magnetfeldsensor ins Blickfeld geraten. Dabei dienen Magnete entlang der Bewegungsstrecke als Signalgeber für den Magnetfeldsensor des Smartphones. Wenn das Smartphone die Magnete passiert, ergeben sich im zeitlichen Verlauf des magnetischen Flusses Extrema, die später zur Auswertung verwendet werden. Anhand der Peaks kann der zeitliche Abstand beim Passieren der Magnete bestimmt werden. Durch den bekannten örtlichen Abstand der Magnete können aus beiden Größen Weg-Zeit-Daten ermittelt werden. Eine schematische Darstellung dieser Mess-Methodik ist in Abbildung 1 dargestellt. Die ersten Testläufe haben gute Ergebnisse geliefert. Daher wurde der Aufbau mit Magneten entlang einer Fahrbahn weiterverfolgt und optimiert.

Der in Smartphones verbaute Magnetfeldsensor ist in der Lage eine dreidimensionale Angabe des mag-



**Abbildung 1:** Schematisch dargestelltes Prinzip der verwendeten Methode zur Aufnahme von Weg-Zeit-Daten für eine gleichförmige Bewegung. Magnete entlang der Bewegungsstrecke dienen als Signalgeber für den Magnetfeldsensor, der die in blau dargestellte Kurve aufzeichnet. Anhand der Peaks des gemessenen Magnetfeldes kann man den zeitlichen Abstand zwischen den einzelnen Magneten bestimmen. Durch den bekannten örtlichen Abstand der Magnete ist es damit möglich, Weg-Zeit-Daten zu generieren und die Bewegung damit zu analysieren.

<sup>1</sup> Zugang zum Editor: <http://phyphox.org/editor/>

netischen Flusses zu liefern. Die für das Smartphone vorliegende Achsenausrichtung der Sensoren ist in Abbildung 2 gezeigt.

Die App enthält in der Standardversion das sogenannte Werkzeug *Magnet-Linear* in *phyphox*, welches die registrierten Signale äquidistanter Magnete entlang der Fahrbahn automatisch in Weg-Zeit-Daten umrechnet. Hierzu ist lediglich der Abstand der Magnete in der App einzugeben.



**Abbildung 2:** Koordinatensystem eines Smartphones. In diesem Koordinatensystem werden die Daten der Sensoren für die drei Raumrichtungen ausgegeben.

### 3. Demonstrationsexperiment

Im folgenden Abschnitt wird ein Smartphone-Experiment unter Nutzung einer Luftkissenfahrbahn vorgestellt. Es dient der Einführung in die gleichmäßig beschleunigte Bewegung sowie deren Gesetzmäßigkeiten.

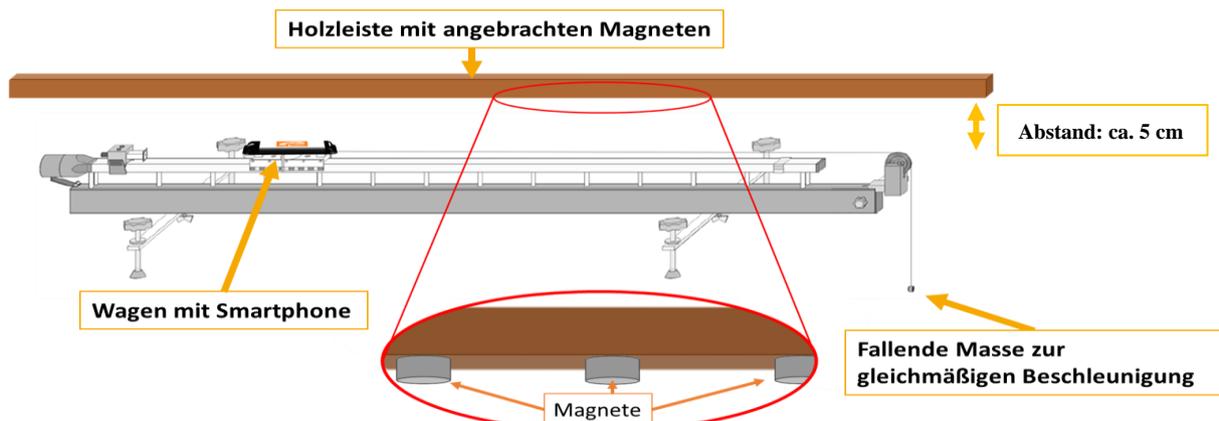
#### 3.1. Aufbau und Durchführung

Grundlage des Aufbaus ist die Luftkissenfahrbahn 337 501 von Leybold Didactic mit dem dazugehörigen Gebläse. Da an Schulen meist nur eine Luftkis-

senfahrbahn vorhanden ist, wird das Experiment typischerweise als Demonstrationsexperiment Verwendung finden.

In Abbildung 3 ist der für ein Smartphone-Experiment erweiterte schematische Aufbau gezeigt. Hauptbestandteil des Aufbaus ist neben der Luftkissenfahrbahn eine Holzleiste, an der Magnete angebracht worden sind (in den Testversuchen sind S-06-02-N Scheibenmagnete von supermagnete.de verwendet worden). Dabei sind Eisenschrauben in einem Abstand von 10 cm im Holz befestigt worden, woran die Magnete aufgrund ihrer magnetischen Wechselwirkungen haften bleiben. Um später möglichst jeden Magneten zu registrieren, sollten die Magnete mit gleicher Polung an den Schrauben befestigt werden. Die Holzleiste wird mit Stativmaterial so oberhalb der Fahrbahn platziert, dass sich der erste Magnet knapp vor der Startposition des Gleiters befindet und das Handy einen Abstand von ca. 5 cm zur Holzleiste aufweist. Dieser Abstand sollte bei Variation der Magnete ggf. verändert und durch einen Probelauf optimiert werden. Der Gleiter der Fahrbahn ist über eine Umlenkrolle mit einer Masse verbunden worden. Diese später lotrecht fallende Masse sorgt für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Hierbei ist auf die richtige Fadenlänge zu achten, damit der Gleiter so lange durch die fallende Masse beschleunigt wird, bis diese auf den Boden aufkommt. Das Aufsetzen der Masse ergibt gleichzeitig die Position, an der der Gleiter gestoppt werden muss, damit ausschließlich eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung beobachtet wird. Weiter ist bei der Dimensionierung der Masse zu beachten, dass der Wagen mit einer nicht zu großen Geschwindigkeit an den Magneten vorbeigleitet, um die sichere Detektion der Maxima durch den Magnetfeldsensor zu gewährleisten. Bei der Wahl der fallenden Masse kann deshalb ein Blick auf die von *phyphox* wahrgenommenen Peaks im detektierten magnetischen Fluss hilfreich sein.

Das Smartphone wird mit einem Gummiband auf dem Gleiter zur Luftkissenfahrbahn befestigt. Eine



**Abbildung 3:** Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments auf der Luftkissenfahrbahn. Zur Inbetriebnahme der Luftkissenfahrbahn wird ein Gebläse benötigt. Auf dem Wagen zur Luftkissenfahrbahn, welcher über eine fallende Masse gleichmäßig beschleunigt wird, ist das Handy befestigt. Die fallende Masse ist über eine Umlenkrolle mit dem Wagen verbunden. Zudem ist für das Smartphone-Experiment eine Holzleiste vonnöten, an welcher äquidistante Magnete befestigt sind. Sie dienen als Signalgeber für den im Smartphone vorhandenen Magnetfeldsensor, sodass Weg-Zeit-Daten ermittelt werden können. Bild der Luftkissenfahrbahn aus [6], S. 4.

vergrößerte Ansicht des hier verwendeten Gleiters ist in Abbildung 4 gezeigt, welche die genaue Befestigung des Smartphones verdeutlichen soll. An den bereits vorhandenen Buchsen mit Fadenhaltern konnte das Gummiband angebracht werden. Zudem wurde eine Erhöhung durch zwei zylinderförmige 100 g-Massen geschaffen, sodass das Smartphone keine Kratzer durch die Fadenhalter erhält.

Für die Durchführung des Versuches muss nach dem erfolgreichen Aufbau kein großer Zeitaufwand eingeplant werden. Die Handlungsschritte in *phyphox* sind in einer erstellten Anleitung (über die Webseite zu *phyphox* zu erreichen) ausführlich beschrieben. In der App *phyphox* wird das Werkzeug *Magnet-Lineal* auf dem Smartphone gestartet und ein Fernzugriff zu einem PC eingerichtet. Es ist damit möglich, die Live-Messdaten über einen Beamer zu projizieren, um diese auch für eine größere Zahl von Beobachtern gut sichtbar darzustellen. Danach kann das Smartphone mit dem Gummiband nach Abbildung 4 auf dem Gleiter befestigt werden. Nachdem das Gebläse eingeschaltet worden ist, wird über den Computer das Experiment gestartet und der Gleiter losgelassen. Zum Abschluss einer Messung werden die Daten gespeichert.

Der Versuch kann sowohl vom Lehrer alleine als auch von einer kleinen Gruppe von SuS durchgeführt werden.

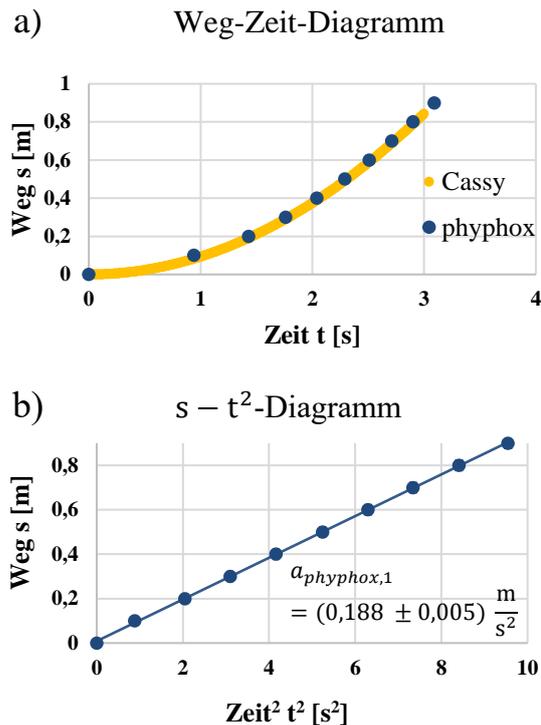


**Abbildung 4:** Aufbau des Wagens für das Smartphone-Experiment auf der Luftkissenfahrbahn aus zwei Perspektiven, (a) Bild von vorne, (b) Bild von schräg oben. Durch eine glatte Erhöhung wird das Smartphone vor Kratzern durch den Wagen geschützt. Die Befestigung des Smartphones erfolgt durch ein Gummiband, welches an den Fadenhaltern des Wagens befestigt wird.

### 3.2. Messergebnisse

In den Testversuchen zum Smartphone-Experiment auf der Luftkissenfahrbahn sollte die Reliabilität und Validität der gemessenen Daten überprüft werden. Hierzu ist der Versuch mit verschiedenen Massen mehrfach durchgeführt worden. Zur Verifizierung sind gleichzeitig Messdaten mit einem *Cassy*-Modul in Kombination mit dem Kombi-Speichenrad der Firma Leybold Didactic GmbH aufgenommen worden (vgl. Abbildung 5a).

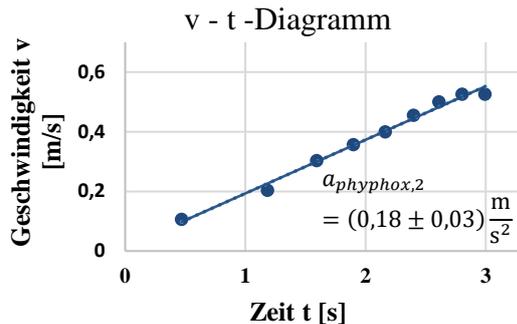
Ein graphisch dargestellter Beispiel-Datensatz, der durch das Werkzeug *Magnet-Lineal* mit *phyphox* aufgenommen worden ist, ist in Abbildung 5a gezeigt. Zu erkennen sind die von *phyphox* erstellten Weg-Zeit-Daten, die in einem nächsten Schritt weiter analysiert werden.



**Abbildung 5:** a) Weg-Zeit-Diagramm zu den Daten von *phyphox* (Werkzeug *Magnet-Lineal*) (blau) und *Cassy* (gelb). Aufgetragen ist der Weg in Abhängigkeit von der Zeit. b) Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der Daten von *phyphox* zur Beispielmessung. Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet. Die Beschleunigung ist als doppelter Steigungswert berechnet und angegeben worden.

Der vermutete quadratische Zusammenhang zwischen Weg und Zeit wird überprüft, indem nun der Weg gegen die quadrierte Zeit aufgetragen wird. Dieser physikalische Ansatz findet sich in der Abbildung 5b wieder. Man erkennt den linearen Zusammenhang in der Graphik, der den vermuteten quadratischen Zusammenhang  $s \propto t^2$  bestätigt. Zudem kann anhand der Steigung der Regressionsgeraden der Beschleunigungswert bestimmt werden.

Eine Auswertung über die quadrierte Zeit kann für SuS eine größere Hürde darstellen, da diese Größe nicht aus dem Alltag bekannt ist. Daher kann bei der Auswertung der Daten aus dem Weg-Zeit-Diagramm in Abbildung 5a auch ein alternativer, für SuS einfacher zugänglicher Ansatz verfolgt werden. Hierzu wird aus den Daten in Abbildung 5a ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellt, welches in Abbildung 6 zu sehen ist. Die Geschwindigkeitsdaten ergeben sich dabei als Differenzenquotient aus den Weg-Zeit-Daten. Auch in Abbildung 6 lässt sich ein linearer Zusammenhang erkennen, dessen Steigung die Beschleunigung darstellt. Ein Vergleich der Daten in den Abbildungen 5b und 6 zeigt, dass dieser didaktisch naheliegendere Ansatz allerdings mit größeren Unsicherheiten bei der Ermittlung des Werts der Beschleunigung verbunden ist.



**Abbildung 6:** Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von *phyphox* zur Beispielmessung. Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet. Dieser Beschleunigungswert ist angegeben.

Die experimentellen Daten belegen, dass das entwickelte Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn sowohl reproduzierbar wie auch valide ist (siehe auch [7]).

#### 4. Schülerexperiment

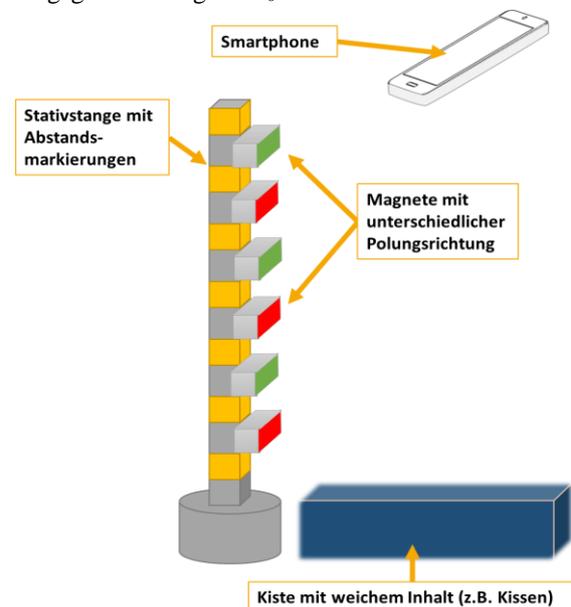
Aufbauend auf der in Abbildung 1 vorgestellten Methode mit Magneten Weg-Zeit-Daten aufzunehmen ist ein zweiter Versuch mit *phyphox* konzipiert worden. In diesem soll der freie Fall als Anwendung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung zur Bestimmung der Erdbeschleunigung dienen.

##### 4.1. Aufbau und Durchführung

Dieser Versuch soll von den SuS selbstständig durchgeführt und ggf. auch aufgebaut werden können. Daher ist auf einfach zugängliche Materialien im Aufbau geachtet worden.

In Abbildung 7 ist der Aufbau schematisch gezeigt. An einer 1,30 m hohen Stativstange werden im Abstand von 20 cm Markierungen für die Magnete angebracht. Diese Markierungen bestanden in den Testversuchen aus Kreppbandstreifen, die auch wieder leicht entfernt werden können, falls die Stange für weitere Zwecke verwendet werden soll. An den Markierungen werden Quadermagnete (in den Probeversuchen sind Q-20-10-05-N Quadermagnete von supermagnete.de verwendet worden) fixiert. Die Magnete haften gut an der Stativstange, die aus ferromagnetischem Material besteht. Im Gegensatz zum Luftkissenfahrbahn-Versuch aus Abschnitt 3 müssen hier stärkere Magnete verwendet werden, damit ein ausreichend großes Signal für das fallende Smartphone vorhanden ist. Durch die größere Haftkraft der Quadermagnete kann die in Schulen meist vorhandene Stativstange verwendet werden, da sich die Magnet-signale deutlich von der Stärke des magnetischen Flusses der magnetisierten Stange abheben. Dies war bei den kleinen schwächeren Scheibenmagneten nicht der Fall, weshalb für den Luftkissenfahrbahn-Versuch auf eine Holzleiste zurückgegriffen worden ist. Beim Anbringen der Magnete empfiehlt sich eine abwechselnde Polungsrichtung der Magnete, die das spätere Auswerten der Messdaten deutlich erleichtert.

Diese Auswertung kann aufgrund der hohen Geschwindigkeiten nicht von *phyphox* selbst mit Hilfe des Werkzeugs *Magnet-Linear* durchgeführt werden. Zudem ist eine geeignete Vorrichtung zum Auffangen des Smartphones erforderlich. Hierbei muss auf eine ausreichende seitliche Erhöhung sowie eine gute Polsterung geachtet werden, da das Smartphone aus einer Höhe von ca. 1 m frei fallen wird. In den Probendurchläufen hat sich ein Karton mit den Maßen Länge/Breite/Höhe: 37 cm/ 30 cm/ 18 cm bewährt, in dem sich ein dickes Kissen (ca. 8 cm) befindet. Alternativ kann der Karton auch mit einer weichen Jacke, einem Pullover etc. gepolstert werden. Die Stativstange wird so nah wie möglich an den Karton gestellt, damit das Smartphone sicher im Karton landet. Die Durchführung des Versuchs erfordert nach dem Aufbau nur einen geringen Zeitaufwand. Die genaue Beschreibung der Handlungsschritte in *phyphox* findet sich ebenfalls in einer Anleitung auf *phyphox.org*. In der App wird ein eigenes Experiment definiert, in dem die höchste Datenrate des Magnetfeldsensors ausgewählt wird (im derzeit neuesten Update ist dies über das Rohdaten-Experiment bereits automatisch eingestellt). Anschließend kann optional ein Fernzugriff zu einem Computer oder einem anderen Endgerät eingerichtet werden. Das Smartphone wird mit dem Bildschirm nach oben, mit der langen Kante orthogonal zur Stange hin auf Höhe des obersten Magneten ausgerichtet und dort festgehalten. Dadurch kann in der Auswertung die Annahme getroffen werden, dass keine Anfangsstrecke  $s_0$  sowie keine Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  betrachtet werden müssen.



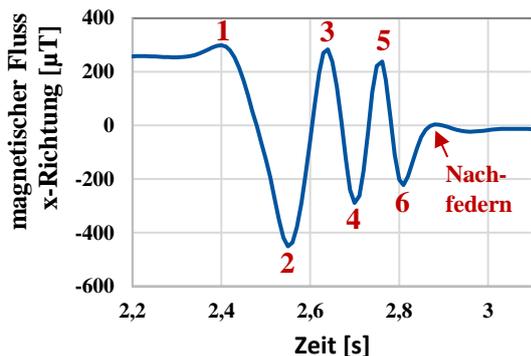
**Abbildung 7:** Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. An der Stativstange werden Markierungen für die Position der Quadermagnete angebracht. Die Magnete werden mit abwechselnder Polungsrichtung an der magnetischen Stativstange befestigt. Zudem ist eine Kiste mit weichem Innenleben (Kissen, Jacke oder Pullover) unterhalb der Fallstrecke des Smartphones platziert worden.

Nachdem die Messung (im eigens definierten Experiment) gestartet worden ist, wird das Smartphone losgelassen, wobei es beim Fallen seine horizontale Ausrichtung möglichst beibehalten soll. Im Anschluss an die Durchführung werden die Messdaten an den PC übertragen und dort als Excel-Datei gespeichert. Alternativ können die Messdaten als E-Mail versendet werden, sodass ein Öffnen und Bearbeiten auf dem Smartphone ebenfalls noch möglich ist.

#### 4.2. Messergebnisse

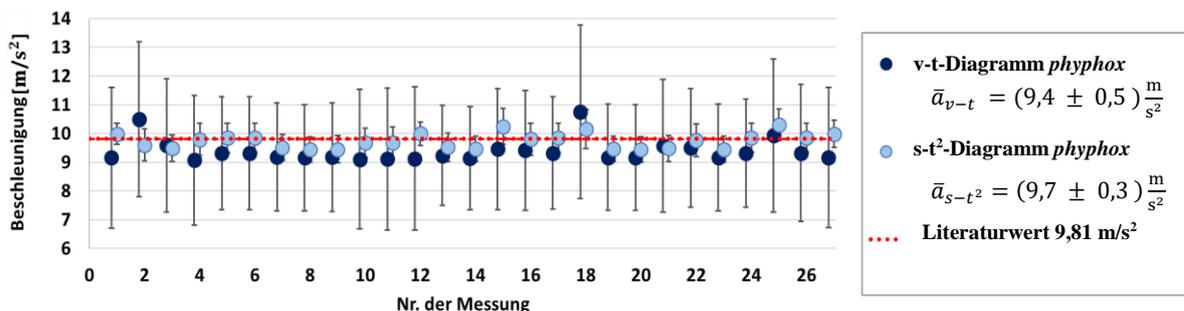
Analog zum Luftkissenfahrbahn-Versuch soll auch dieses Experiment auf Reliabilität und Validität überprüft werden. Wie zuvor schon erwähnt, kann das Werkzeug *Magnet-Lineal* aufgrund der hohen Geschwindigkeiten des fallenden Smartphones und der begrenzten Fallstrecken nicht verwendet werden, sodass die Auswertung manuell erfolgen muss.

Ein Beispieldatensatz ist in Abbildung 8 aufgetragen, wobei der vom Magnetfeldsensor des Smartphones gemessene magnetische Fluss als Funktion der Versuchszeit dargestellt ist. Zur Auswertung müssen nun die Extrema händisch ermittelt werden, sodass man die gewünschten Weg-Zeit-Daten erhält, wobei der Weg hier der Fallstrecke entspricht.



**Abbildung 8:** Auftragung der Magnetfeld-Daten in Abhängigkeit von der Zeit für die Beispielmessung. Es sind die einzelnen Peaks der Magnete (6 Stück) sowie durch das Nachfedern nach dem Aufprall ein zusätzliches Maximum zu sehen.

Sobald diese Weg-Zeit-Daten ermittelt worden sind, kann man analog zum Luftkissenfahrbahn-Versuch



**Abbildung 9:** Ergebnisse von 27 Messungen zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. Aufgetragen sind die bestimmten Beschleunigungswerte mit ihren Unsicherheitsintervallen. Sortiert nach Auswertungsmethoden: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm (dunkelblau), Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm (hellblau) und der theoretische Wert (rot). Ebenso sind die Mittelwerte mit den Standardabweichungen zu den beiden Auswerteverfahren angegeben.

aus Abschnitt 3 zwei verschiedene Auswerteverfahren nutzen. Der Versuch ist insgesamt 27-mal durchgeführt worden, wobei zur Verifizierung der Literaturwert der Erdbeschleunigung von  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  herangezogen worden ist. Eine zusammenfassende Darstellung der gesamten Messergebnisse, die nach den beiden verschiedenen Auswertemethoden (Auftragungen der Fallstrecke über Zeit<sup>2</sup> bzw. der Fallgeschwindigkeit über der Zeit) ermittelt wurden, ist in der Abbildung 9 zu sehen. Folgende Mittelwerte haben sich ergeben:

$$\bar{a}_{s-t^2} = (9,7 \pm 0,3) \frac{m}{s^2} \text{ und } \bar{a}_{v-t} = (9,4 \pm 0,5) \frac{m}{s^2}$$

Sie bestätigen den Eindruck aus Abbildung 9, dass bei mehrfacher Messwiederholung die Erdbeschleunigung mit beiden Auswerteverfahren mit zufriedenstellender Genauigkeit ermittelt werden kann.

#### 5. Materialien und Erfahrungen

Allgemein ist zu *phyphox* eine kurze Anleitung mit versuchsspezifischen Ergänzungen zusammengestellt worden.

Die in den vorherigen Kapiteln dargestellten Versuche werden durch verschiedene Unterlagen ergänzt, sodass der Einsatz im Schulalltag attraktiver und leichter gestaltet werden kann. Diese Unterlagen stehen zum kostenlosen Download über die Webseite *phyphox.org* zur Verfügung.

Zum Luftkissenfahrbahn-Versuch sind Arbeitsblätter und eine Lehrerhandreichung erstellt worden. Die Arbeitsblätter dienen dazu, die Messdaten aus dem Demonstrationsversuch zu sichern, um damit später weitere Auswertungs- und Lernschritte vollziehen zu können. Die Lehrerhandreichung soll der Lehrkraft in der Vorbereitung Unterstützung bieten, um einen reibungslosen Aufbau des Experiments und eine gelingende Durchführung zu gewährleisten. Zudem sind in dieser Handreichung Informationen zu den Arbeitsblättern aufgeführt, sodass eine individuelle Abstimmung auf die jeweilige Lerngruppe stattfinden kann. Das Experiment zum freien Fall wird ebenso durch Arbeitsblätter, eine vorprogrammierte Excel-Tabelle und eine Lehrerhandreichung ergänzt. Die Arbeits-

blätter sollen die SuS durch den Versuch sowie die anschließende Auswertung führen, um kontextbezogen die Erdbeschleunigung  $g$  zu bestimmen. Um die SuS bei der manuellen Auswertung der Magnetfeld-Zeit-Daten zu unterstützen, ist eine Excel-Tabelle erstellt worden, die bei diesen Schritten anleitend zur Seite steht. Abgerundet wird das Paket „Freier Fall“ durch eine Lehrerhandreichung, die wichtige praktische und methodische Hinweise zum Aufbau des Experiments, zur Durchführung sowie Informationen zu den Aufgaben auf den Arbeitsblättern enthält.

Der Versuch zum freien Fall ist im Rahmen eines physikalischen Praktikums mit Lehramtsstudierenden des 2. Semesters erprobt worden. Dabei haben die Studierenden die App *phyphox* sowie den Versuch mit den zugehörigen Materialien bewertet. Es hat sich dabei ergeben, dass keine sprachlichen oder inhaltlichen Schwierigkeiten in den Materialien empfunden worden sind. Die Studierenden haben in knapp 20 min die Daten der für die Fallstrecken benötigten Zeiten ermitteln können, sodass eine zeitliche Passung in eine Unterrichtsstunde gegeben scheint. Zur App *phyphox* hat es stets positive Rückmeldung gegeben. Besonders sind die einfache Bedienung, die genauen Messdaten sowie die vielen Funktionen von *phyphox* hervorgehoben worden.

#### 6. Mögliche Einbettung in den Unterricht

Die beiden vorgestellten Smartphone-Experimente sind in sich unterschiedlich konzipiert, bauen jedoch in gewisser Weise aufeinander auf und können daher gemeinsam eingesetzt werden.

Der Luftkissenfahrbahn-Versuch ist aufgrund der meist an Schulen nur einmal existierenden Luftkissenfahrbahn als Lehrerdemonstrationsexperiment angedacht. Dieser erste Versuch dient dazu, die Formeln für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung zu erarbeiten. Dabei soll die App *phyphox* den Lehrer unterstützen und einen neuen motivierenden Zugang für SuS zu einer Herleitung physikalischer Zusammenhänge schaffen. Die inhaltlichen Voraussetzungen, die die SuS mitbringen müssen, bestehen in der Kenntnis der Begriffe (Fahr-)Zeit, Strecke und Geschwindigkeit sowie ihres Zusammenhangs. Die Datenerfassung erfolgt über den Magnetfeldsensor des Smartphones. Magnete, die entlang der Fahrstrecke auf der Luftkissenfahrbahn als Signalgeber angebracht werden, sind die Grundlage für die Weg-Zeit-Daten, die mit der App *phyphox* errechnet werden. Den SuS soll die Methode des Magnet-Lineals anhand des Demonstrationsexperiments verdeutlicht werden, damit sie diese später in eigenen Versuchen anwenden können.

Im zweiten konzipierten Versuch zum freien Fall können die SuS die Methode des Magnet-Lineals anwenden. Dieser Smartphone-Versuch, der als Schülerexperiment entworfen ist, zielt auf die Bestimmung der Erdbeschleunigung ab. Dabei werden die Kenntnisse über die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung vorausgesetzt. Ebenso ist

es für den Versuch von großem Vorteil, wenn die SuS die oben benannte Methode „Magnet-Lineal“ kennen, da das zugrundeliegende Prinzip zur Datenerfassung und Auswertung benötigt wird. Die Auswertung erfolgt aus einem zu erstellenden Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm mit einer Ausgleichsgeraden. Dabei muss man voraussetzen, dass die SuS die Intervallgeschwindigkeit zwischen zwei Weg-Zeit-Punkten berechnen können.

#### 7. Zusammenfassung und Ausblick

Smartphones stellen einen bedeutsamen Gegenstand im Alltag der Jugendlichen dar. Durch eine sinnvolle Einbeziehung dieser Geräte in den Unterricht eröffnen sich viele neue Möglichkeiten für die Gestaltung eines attraktiven naturwissenschaftlichen Unterrichts. In diesem Beitrag sind zwei Smartphone-Experimente für den Einsatz im Physikunterricht in der Sekundarstufe II im Bereich der Mechanik vorgestellt worden. Dabei sind Versuche sowie dazugehörige Materialien zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen konzipiert worden. In den Experimenten sollen Schülerinnen und Schülern wie auch Lehrkräften die Möglichkeiten eines Smartphones als Messinstrument für vielfältige physikalische Daten verdeutlicht sowie insbesondere die entwickelte App *phyphox* erläutert werden.

Der Versuch auf der Luftkissenfahrbahn dient zur Analyse der Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Die Einstellung des Fernzugriffes sowie die damit verbundene Hotspot-Einstellung erfordert auf jedem Smartphone andere Handlungsschritte, sodass dies im Vorfeld getestet werden sollte, um mögliche Probleme auszuräumen.

Eine Weiterentwicklung des Versuchs könnte an einer weitergehenden didaktischen Erprobung sämtlicher erstellter Materialien ansetzen. Dazu könnten Lehrkräfte den Aufbau sowie die Lehrerhandreichung und SuS das erstellte Arbeitsblatt erproben. Zudem könnte eine didaktische Untersuchung die Reaktion der SuS auf dieses Demonstrations-Smartphone-Experiment als Alternative zu einem „klassischen“ Lehrerdemonstrationsexperiment analysieren und Schlussfolgerungen für den Einsatz hervorbringen.

Der Versuch zum freien Fall kann aufbauend auf dem Luftkissenfahrbahn-Versuch eingesetzt werden. Die SuS sollen mit dem Schüler-Experiment selbstständig die Möglichkeiten des Einsatzes ihres Smartphones als Messinstrument erfahren und damit die physikalische Größe Erdbeschleunigung bestimmen.

Im Praxistest hat sich gezeigt, dass die Versuchsbeschreibung genau eingehalten werden sollte, um gute Messergebnisse zu erhalten. Ebenso stellt die Auswertung am PC über das Programm Excel eine neue Herausforderung dar, um die große Datenmenge aus dem Versuch zu analysieren und das gewünschte Ziel, die Bestimmung der Erdbeschleunigung, zu erreichen.

Eine Weiterentwicklung dieses Versuchs kann zu nächst ebenfalls an einer weiteren didaktischen Erprobung ansetzen. Hierbei sollte die Zielgruppe, die Einführungsphase eines Gymnasiums/ einer Gesamtschule, während der Versuchsdurchführung beobachtet werden, woraus neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

Insgesamt können die Smartphone-Experimente viele neue Möglichkeiten des Experimentierens sowohl für die SuS wie vor allem auch für die Lehrkraft aufzeigen. Messungen in alltäglichen Situationen mit dem Smartphone, eine Verlagerung von Versuchen aus dem Physikraum in den Alltag, experimentelle Hausaufgaben oder auch eine Reihe von vorher schwer zu realisierenden Schülerexperimenten etc. gehören zu den vielen potentiellen Vorteilen des Smartphones im Kontext Physikunterricht. Natürlich müssen bestimmte Regelungen vorher getroffen und gewisse Aspekte beachtet werden, um einem Missbrauch vorzubeugen und ein sicheres Experimentieren zu gewährleisten. Durch eine offene Einstellung und einen Austausch von Erfahrungen können diese und weitere Experimente mit Smartphones, insbesondere mit der innovativen App *phyphox* (Webseite [phyphox.org](http://www.phyphox.org)), realisiert werden. Gemäß den Ausführungen von Thomas Wilhelm wird es möglicherweise bald zu der Aufforderung seitens der Lehrkräfte kommen: „Handy bitte einschalten!“ (vgl. [8]).

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. *JIM-Studie 2016*.  
[https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM\\_Studie\\_2016.pdf](https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2016/JIM_Studie_2016.pdf) (Download 07.05.2017)
- [2] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium/Gesamtschule, in Nordrhein-Westfalen: Physik*.  
[http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrpläne/upload/klp\\_SII/ph/KLP\\_GOSt\\_Physik.pdf](http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrpläne/upload/klp_SII/ph/KLP_GOSt_Physik.pdf) (Download 20.04.2016)
- [3] Hirth, M., Hochberg, K., Klein, P., Molz, A., Kuhn, J. & Müller, A. (2015). Apps für den Physikunterricht. Geeignete Apps für Experimente mit Smartphones und Tablets. In: Kuhn, J. (Hrsg.) (2015). *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 145 (S. 47 - 50). Seelze: Friedrich Verlag.
- [4] Kuhn, J., Müller, A., Hirth, M., Hochberg, K., Klein, P. & Molz, A. (2015). Experimentieren mit Smartphone und Tablet-PC. Einsatzmöglichkeiten für den Physikunterricht im Überblick. In: Kuhn, J. (Hrsg.) (2015), *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 124 (S. 4-9). Seelze: Friedrich Verlag.
- [5] Götze, B., Heinke, H., Riese, J., Stampfer, C., Kuhlen, S. (2017). *Smartphone-Experimente zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App phyphox*. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung
- [6] Lehr- und Didaktiksysteme (o.J.). *Gebrauchsanweisung Lufikissenfahrbahn (337 501)*.  
<http://www.ld-didactic.de/documents/DE/GA/GA/3/337/337501d.pdf> (Download 26.08.2016)
- [7] Goertz, S. (2016). *Entwicklung von Smartphone-Experimenten zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen mit der App phyphox für den Einsatz in der Sekundarstufe II*. Bachelorarbeit, RWTH Aachen University, unveröffentlicht.
- [8] Wilhelm, Th. (2011). Handy bitte einschalten!. In: Wilhelm, Th. (Hrsg.) (2011), *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, Heft 7/60 (S. 4). Freising: Aulis Verlag.