

---

**Entwicklung von Smartphone-Experimenten zu gleichmäßig  
beschleunigten Bewegungen mit der App *phyphox* für den  
Einsatz in der Sekundarstufe II**

---

Angelehnt an eine Bachelorarbeit

**Simon Goertz**

Aachen

Prof. Dr. rer. nat. Heidrun Heinke  
I. Physikalisches Institut (IA)  
RWTH Aachen

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Physik gleichmäßig beschleunigter Bewegungen	3
3	Didaktische Vorüberlegungen	5
3.1	Experimente im Physikunterricht	5
3.2	Smartphone-Experimente im Physikunterricht	7
3.3	Schülervorstellungen	8
3.4	Lernziele der geplanten Unterrichtseinheit	10
3.5	Einordnung in den Kernlehrplan	12
3.6	Einbettung in den Unterricht	12
4	Die verwendete App <i>phyphox</i>	14
4.1	Funktionen und Möglichkeiten	14
4.2	Der Magnetfeldsensor und dessen Bedeutung in den Versuchen	16
5	Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Luftkissenbahn	19
5.1	Entwicklung des Experiments	19
5.1.1	Aufbau und Durchführung	19
5.1.2	Arbeitsblatt für Schülerinnen und Schüler	21
5.2	Erprobung im Labor	22
5.2.1	Messergebnisse	22
5.2.2	Diskussion der Messergebnisse	30
5.3	Zusammenfassung und Konsequenzen für den Einsatz	32
6	Freier Fall - Bestimmung der Erdbeschleunigung	34
6.1	Entwicklung des Experiments	34
6.1.1	Aufbau und Durchführung	34
6.1.2	Arbeitsblatt für Schülerinnen und Schüler	36
6.2	Erprobung im Labor	38
6.2.1	Messergebnisse	38
6.2.2	Diskussion der Messergebnisse	43
6.3	Didaktische Erprobung	45
6.3.1	Rahmenbedingungen	45

6.3.2	Beobachtungen . . . . .	45
6.4	Zusammenfassung und Konsequenzen für den Einsatz . . . . .	47
7	Reflexion und Ausblick	49
	Literaturverzeichnis	51
	Abbildungsverzeichnis	54
	Tabellenverzeichnis	55
A	Anhang	56
A.1	Teil1 . . . . .	57
A.1.1	Illustration des Einsatzes von Smartphones . . . . .	57
A.1.2	Koordinatensystem eines Smartphones . . . . .	57
A.1.3	Realer Aufbau des Experiments auf der Luftkissenbahn . . . . .	58
A.1.4	In den Versuchen verwendete Magnete . . . . .	58
A.1.5	Realer Aufbau des Experiments <i>Freier Fall</i> . . . . .	59
A.1.6	Erlaubnis zur Nutzung des Bildmaterials auf den AB . . . . .	59
A.1.7	Zusammenfassende Graphiken zum Experiment <i>Freier Fall</i> I . . . . .	61
A.1.8	Zusammenfassende Graphiken zum Experiment <i>Freier Fall</i> II . . . . .	62
A.2	Teil2 . . . . .	63
A.2.1	Anleitung zum Umgang mit der App <i>phyphox</i> . . . . .	63
A.2.2	Aufgabenblatt zum Experiment auf der Luftkissenbahn . . . . .	69
A.2.3	Lehrerhandreichung zum Experiment auf der Luftkissenbahn . . . . .	73
A.2.4	Aufgabenblatt zum Experiment <i>Freier Fall</i> . . . . .	79
A.2.5	Lehrerhandreichung zum Experiment <i>Freier Fall</i> . . . . .	84

# 1 Einleitung

Die Bedeutung von Smartphones in der heutigen Gesellschaft nimmt stetig zu. Fast jeder Jugendliche (über 90 % der 12- bis 19-Jährigen nach der JIM-Studie (vgl. [MPFS 2015], S. 46)) besitzt sein eigenes Smartphone und nutzt dieses täglich. Die Smartphone-Nutzer benutzen 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 auch die Jugendlichen, die Schülerinnen und Schüler. Diese legen nur sehr selten das Smartphone aus der Hand, sodass es häufig auch im Schulunterricht 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 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 Anwendungen zur Verfügung, wobei jede Anwendung meist nur auf einen einzigen Sensor zugreifen kann. Das 2. Physikalische Institut A der RWTH Aachen hat eine Anwendung entwickelt, die die Funktionalität vieler verschiedener Programme in sich vereint und damit einen erheblichen nutzergerechten Vorteil bietet. Die sogenannte App *phyphox* (**physical phone experiments**) weist zudem weitere neuartige Funktionen auf, die in dieser Arbeit erläutert werden. Konkret werden zwei Smartphone-Experimente im Bereich der Mechanik entwickelt, in der diese App Verwendung findet. Ein erster Einsatz der erstellten Versuche und damit auch der App *phyphox* hat bereits stattgefunden. Die beiden Experimente beschäftigen sich mit gleichmäßig beschleunigten Bewegungen und sind damit lehrplangerecht in der Sekundarstufe II einzuordnen.

Die Beschleunigung ist ein physikalischer Begriff, der vielen Lernenden nicht vollständig klar ist, obwohl er sie täglich umgibt und auch häufig umgangssprachlich verwendet wird: „Das neue Auto beschleunigt so stark wie noch nie zuvor“; „Die Achterbahn hat eine Beschleunigung von  $4g$ “. Das erste Smartphone-Experiment beschäftigt sich mit dem freien Fall und der Bestimmung der Erdbeschleunigung. Darüber hinaus sollen mit dem zweiten Smartphone-Versuch die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung untersucht werden.

Die Arbeit ist daher so strukturiert, dass zu Beginn die physikalische Theorie zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen präsentiert wird. Anschließend wird der didaktische Hintergrund zu Experimenten allgemein sowie insbesondere zu Smartphone-Experimenten erklärt. Dabei werden die Schülervorstellungen zu den physikalischen Grundlagen der Versuche sowie die Bezüge zu den Kernlehrplänen aufgeführt. Ebenso werden erste mögliche Lernziele sowie eine Einbettung der konzipierten Versuche in den Unterricht beschrieben. Daran schließt sich die konkrete Vorstellung der beiden entwickelten Experimente an. Für jedes Experiment werden die ersten Testergebnissen aus physikalischer erklärt und diskutiert. Zudem sollen die erstellten Materialien zu den Versuchen erläutert werden. Jedes Kapitel zu den Versuchen wird mit einer didaktischen Betrachtung abgeschlossen, in der besonders auf Konsequenzen für den Schuleinsatz eingegangen wird.

## 2 Physik gleichmäßig beschleunigter Bewegungen

In diesem Abschnitt sollen die Grundlagen zu den Versuchen aus fachlicher Sicht beleuchtet werden.

Die im Verlauf dieser Arbeit vorgestellten Smartphone-Experimente behandeln die Physik von Bewegungen mit einer konstanten Beschleunigung  $a$ . Die nachfolgenden Ausführungen sind den Quellen [Demtröder 2015] und [Tipler et al. 2015] nachempfunden.

Eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung  $\vec{a} = \text{const}$  (Betrag *und* Richtung von  $a$  bleiben konstant) heißt **gleichförmig/ geradlinig gleichmäßig beschleunigte Bewegung** (vgl. Demtröder/ Tipler und [Grehn et al. 2007], S. 19). Die Gleichung dieser Bewegung lautet damit:

$$\vec{\ddot{r}}(t) = \vec{a} = \text{const} \quad (2.1)$$

Gleichung (2.1) stellt eine Differentialgleichung dar. Diese Gleichung kann in drei Komponentengleichungen dargestellt werden. In kartesischen Koordinaten ergibt sich:

$$\ddot{x}(t) = a_x \quad (2.2)$$

$$\ddot{y}(t) = a_y \quad (2.3)$$

$$\ddot{z}(t) = a_z \quad (2.4)$$

Elementar lässt sich die Gleichung (2.1) lösen. Durch einfache Integration erhält man zunächst für jede Geschwindigkeitskomponente:

$$v_i(t) = \dot{r}_i(t) = \int a_i dt = a_i \cdot t + b_i \text{ für } i \in \{x, y, z\} \quad (2.5)$$

Daraus ergibt sich der Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}(t) = \dot{\vec{r}}(t)$ . Die Integrationskonstante  $\vec{b}$  (Vektor mit konstanten Komponenten) wird durch die Anfangsbedingungen festgelegt. Für  $t = 0$  gilt:  $\dot{\vec{r}}(0) = \vec{v}(0) = \vec{b}$ . Damit gibt  $\vec{b}$  die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t = 0$  an und wird auch als Anfangsgeschwindigkeit  $\vec{v}_0$  bezeichnet.

Eine erneute Integration der Gleichungen (2.5) für jede Komponente ( $i \in \{x, y, z\}$ ) ergibt die Bahnkurve  $\vec{r}(t)$ :

$$r_i(t) = \int (a_i \cdot t + v_{0,i}) dt = \frac{1}{2} \cdot a_i \cdot t^2 + v_{0,i} \cdot t + c_i \text{ mit } c_i = r_i(0) := r_{0,i} \quad (2.6)$$

In der Komponentendarstellung der Bahnkurve gelten folgende Gleichungen:

$$x(t) = \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot t^2 + v_{0,x} \cdot t + x_0 \quad (2.7)$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot t^2 + v_{0,y} \cdot t + y_0 \quad (2.8)$$

$$z(t) = \frac{1}{2} \cdot a_z \cdot t^2 + v_{0,z} \cdot t + z_0 \quad (2.9)$$

Durch Anfangsbedingungen werden die Konstanten bestimmt, sodass eine eindeutige Lösung von Gleichung (2.1) resultiert. Hierbei kann man eine spezielle gleichförmig beschleunigte Bewegung, nämlich die des freien Falls, genauer betrachten. Mit geeignet gewählten Koordinatenachsenrichtungen gilt hierbei:

$$a_z = -g = -9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (2.10)$$

$$a_x = a_y = 0 \quad (2.11)$$

Dabei bezeichnet  $g$  die Fall- oder Erdbeschleunigung<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Genaue Ausführungen zur Bestimmung dieser Konstanten finden sich in [Demtröder 2015], Abschnitt 2.9.7.

# 3 Didaktische Vorüberlegungen

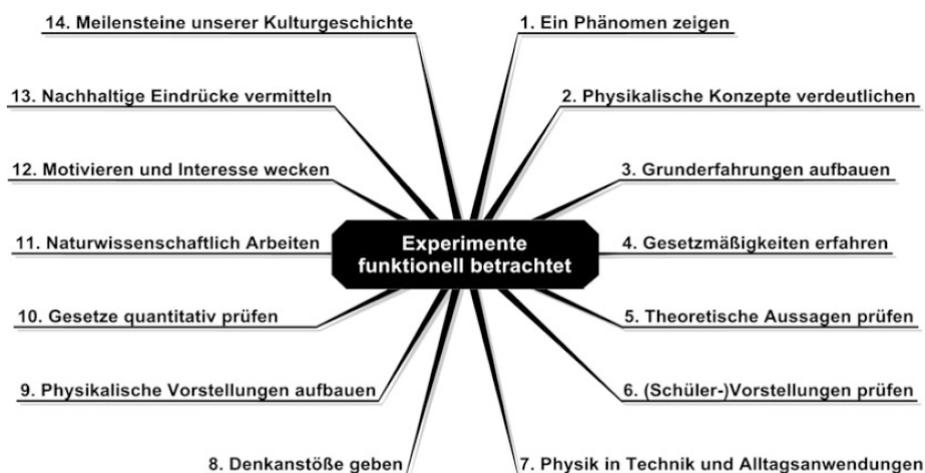
An dieser Stelle sollen zunächst allgemeine Aspekte zu Experimenten im Physikunterricht aufgeführt werden. Insbesondere soll in Abschnitt 3.2 das Medium Smartphone erläutert und vorgestellt werden. Daneben werden mögliche Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zum Begriff der „Beschleunigung“ sowie den beschleunigten Bewegungen angeführt. Diese allgemeinen didaktischen Überlegungen bilden die Grundlage der entwickelten Experimente, welche bestimmte Lernziele verfolgen. In Abschnitt 3.4 werden die durch die Experimente beabsichtigten Lernziele erklärt und im anschließenden Abschnitt mit dem Kernlehrplan in Verbindung gesetzt. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Einbettung der Versuche in den Unterricht, sowie ein mögliches Zusammenspiel beider entwickelter Smartphone-Experimente im Schulalltag.

## 3.1 Experimente im Physikunterricht

„Experimente sind ein wesentliches Merkmal der Physik“ ([Wiesner et al. 2011], S. 106), wobei sie allgemein ein Merkmal der Naturwissenschaften sind. Die allgemeinen Aspekte zum Experimentieren werden hier nur kurz erwähnt. In den angegebenen Literaturquellen finden sich genaue Ausführungen dazu.

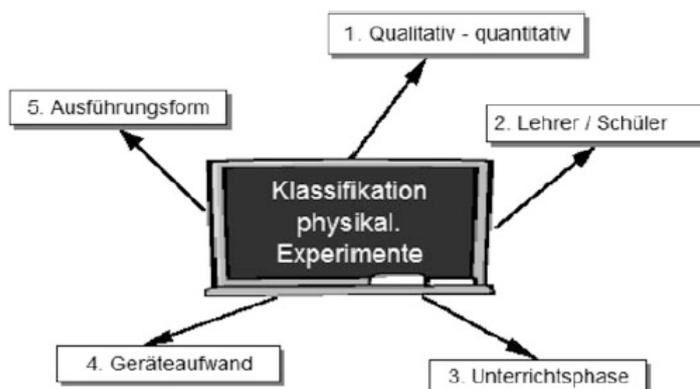
Das Lernen in der Schule zielt auf eine „kognitive Struktur“ ([Kircher et al. 2015], S. 229) ab. Dazu sind in der Physik Experimente besonders wertvoll, wenn es um eine Anwendung theoretischen Wissens in konkreten Handlungen und Systemen geht. „Gerade auf Schulniveau können (und müssen) Experimente das physikalische Wissen konkretisieren“ ([Kircher et al. 2015], S. 229). Die Schülerinnen und Schüler (SuS) lernen beim Experimentieren die fachspezifische Arbeitsweise kennen. Insbesondere vertiefen sie das „Beobachten, Planen, Analysieren, Bewerten, Präsentieren“ ([Kircher et al. 2015], S. 229). Neben den kompetenzbezogenen Funktionen kann ein Experiment auch aus mediendidaktischer Sicht eine Informationsträger- und Mitteilungsfunktion übernehmen, da viele Phänomene eindrucksvoll in einem Versuch gezeigt werden können und damit nachhaltig im Gedächtnis der SuS bleiben (vgl. [Kircher et al. 2015], S. 229). Den Lehrkräften sollten die vielen Möglichkeiten zum Einsatz eines Experiments bekannt sein, um eine Wechselbeziehung zu den Unterrichtszielen vornehmen zu können. Ein Experiment kann dabei vielfältige (physikdidaktische) Aspekte und Ziele erfüllen, die in Abbildung 3.1 gezeigt sind. Versuche können z.B. dazu dienen eine Formel zu verifizieren, das wissenschaftliche Arbeiten zu trainieren oder aber auch die SuS für den Unterricht zu motivieren (vgl. [Kircher et al. 2015], S. 229). Damit

muss sich die Lehrkraft im Vorhinein immer das Lernziel klar vor Augen führen und das Experiment gezielt einsetzen.



**Abbildung 3.1:** Experimente funktionell aus physikdidaktischer Sicht betrachtet. Quelle: [Kircher et al. 2015], S. 229

Es ist zudem sehr hilfreich, wenn mögliche Formen des Experimentierens unterschieden werden, um die Vielfalt an methodischen Möglichkeiten aufzuzeigen und die damit verknüpften Anforderungen differenziert zu betrachten (vgl. [Kircher et al. 2015], S.233). Ernst Kircher et al. unterscheiden in ihrem Werk fünf Ordnungsparameter für eine Klassifikation physikalischer Experimente, die in Abbildung 3.2 schematisch dargestellt sind.



**Abbildung 3.2:** Klassifikation physikalischer Experimente. Quelle: [Kircher et al. 2015], S. 233

Neben der Einordnung eines Experiments durch die fünf dargestellten Parameter und dessen funktionelle Einbindung in den Unterricht ist auch ein lerneffizienter Einsatz wichtig. Erstaunlicherweise haben fachdidaktische Forschungen keinen generellen Zusammenhang

zwischen dem Lernerfolg und dem Einsatz von Experimenten (vgl. [Wiesner et al. 2011], S.111) ergeben. Damit ist es umso wichtiger, an das Vorwissen der SuS anzuknüpfen, das Ziel klar zu formulieren und den Lernstoff ausreichend zu organisieren und zu strukturieren (vgl. [Wiesner et al. 2011], S. 113 & [Kircher et al. 2015], S. 235f.).

## 3.2 Smartphone-Experimente im Physikunterricht

In diesem Abschnitt wird nun die allgemeine Sicht auf Experimente im Physikunterricht dahingehend spezialisiert, dass die Smartphone-Experimente gesondert betrachtet werden. Smartphones sind internetfähige Mobiltelefone mit einem größeren Display, die viele unterschiedliche Funktionen aufweisen. Neben der Funktionalität als „Media-Player, MP3-Player, Personal Information Manager (PIM), Digitalkamera Smartphone-Browser, E-Mail-System, GPS-System“ ([ITWissen]) u.v.m. zeichnen sich die Smartphones auch durch weitere Zusatzprogramme, sogenannte Apps (Kurzform für Applikation<sup>1</sup>), aus. Moderne Smartphones sind oft mit einem berührungsempfindlichen Bildschirm (sog. Touchscreen) versehen.

Smartphones sind nicht mehr aus dem Alltag wegzudenken. Nach der JIM-Studie (2015) besitzen bereits 95% der Haushalte ein Smartphone (vgl. [MPFS 2015], S. 6). Für den Schuleinsatz ist vor allem die Quote bei den Jugendlichen (12 bis 19 Jahre) von Bedeutung, welche nach dieser Studie bei ca. 92% liegt (vgl. [MPFS 2015], S. 46). Lediglich die jüngsten Befragten, die 12- und 13-Jährigen, haben „nur“ zu 86% ein Smartphone. Diese Geräte bieten viele funktionelle Möglichkeiten, die nun an jedem Ort und zu jeder Zeit genutzt werden können (vgl. [Kuhn et al. 2011], S. 5). Neben den Recherchemöglichkeiten im Internet, dem Datenaustausch und der Kommunikation, den Wörterbüchern, Rechenprogrammen etc. bietet das Smartphone durch seine vielfältigen Sensoren auch vielfältige potentielle Anwendungen als Messgerät (vgl. [Kircher et al. 2015], S.424). Dies eröffnet nun z.B. die Möglichkeit auch Experimente, die bislang nur als Demonstrationsexperiment eingebracht werden konnten, als Schülerexperimente zu etablieren. Zudem können durch die Mobilität der Smartphones auch Versuche außerhalb des Physikraums durchgeführt werden (vgl. [Kircher et al. 2015], S. 425 & [Kuhn et al. 2015], S. 4f.).

So kann man sich beispielsweise vorstellen, Experimente in den Außenbereich zu verlegen und dabei auch mit einem anderen thematischen Umfeld zu verknüpfen. Aus der Beobachtung eines vom Baum fallenden Apfels, wie sie Isaac Newton beschrieb, kann sich nun ein Experiment mit einem fallenden Apple-Smartphone entwickeln (zur Illustration s. Anhang A.1.1). Auch eine Verlagerung von vorher reinen Schulexperimenten in den Alltag oder als

---

<sup>1</sup> Siehe hierfür auch <http://www.duden.de/rechtschreibung/App>

Hausaufgabe ist vorstellbar. Hierbei ist wichtig, dass die Jugendlichen mit der Bedienung des Geräts vertraut sind.

Der Zuwachs der erkannten Anwendungsmöglichkeiten von Smartphones im Unterricht wird auch durch viele Artikel in Fachzeitschriften zu diesem Thema deutlich, durch die Lehrkräfte zum Einsatz der Smartphones als „Minilabore“ ([Kuhn et al. 2015], S. 4) motiviert werden. Aufgrund der noch jungen Idee des Einsatzes des Smartphones als Experimentiermittel im Unterricht existieren derzeit noch sehr wenige Forschungsergebnisse hierzu. Zwei Pilotstudien, vgl. [Kuhn et al. 2015], S. 5f., führen zu keinen repräsentativen Aussagen über Smartphone-Experimente, haben jedoch den Trend gezeigt, dass „Leistung und Selbstwirksamkeitserwartung stärker gefördert bzw. stabilisiert werden“ ([Kuhn et al. 2015], S. 6).

Natürlich müssen auch gewisse Gefahren und Probleme im Umgang mit dem Smartphone innerhalb des Unterrichts beachtet werden. So kann es auch zu einem Missbrauch der Handys kommen, indem diese nicht als Messgerät, sondern für eine der vielen weiteren Möglichkeiten ihrer Nutzung jenseits der Unterrichtszwecke eingesetzt werden.

Außerdem muss die Frage geklärt werden, ob private Geräte eingesetzt werden dürfen oder ob lediglich Schuleigentum im Unterrichtsgeschehen verwendet werden darf. Hierbei muss auch die Versicherungsfrage im Schadensfall vor dem Beginn des Experiments beantwortet werden. Für den Fall, dass private Smartphones für die Versuche benutzt werden, müssen ggf. Geräte für die Lernenden durch die Schule vorgehalten werden. Alternativ muss im Vorhinein geklärt werden, ob für eine Gruppenarbeit genügend Smartphones zur Verfügung stehen. Zudem muss, wie im Abschnitt 3.1 erwähnt, auch bei Smartphone-Experimenten eine ausreichende Vorbereitung seitens der Lehrperson geleistet werden. Dies erfordert eine eigene ausreichende Auseinandersetzung mit dem Experiment wie auch eine strukturierte Besprechung und Vorbereitung mit den SuS (vgl. [Kuhn et al. 2015], S. 8).

Zusammenfassend ist durch die Vielfältigkeit der Apps, die eine extreme Bandbreite funktionseller Einsatzmöglichkeiten der Smartphones bieten, das Experimentieren mit diesem „Alleskönner“ ([Kuhn et al. 2015], S.6) ohne große Sorgen weiter zu erproben und zu erforschen. Nicht zuletzt ist der Einsatz des Smartphones in verschiedene lernpsychologische Theorien einzubetten wie z.B. dem situierten Lernen (vgl. [Kuhn et al. 2015], S.5).

### 3.3 Schülervorstellungen

„Der wichtigste Faktor beim Lernen ist, was der Lernende schon weiß – man berücksichtige dies und lehre entsprechend“ (Ausubel, 1968, zit. n. [Kircher et al. 2015], S. 662).

Um herauszufinden, welche Kenntnisse und Vorstellungen die SuS im Bereich der Mechanik, insbesondere über die Beschleunigung mitbringen, soll sich in diesem Abschnitt mit den

Schülervorstellungen zu diesem Thema auseinandergesetzt werden.

SuS haben oft aus Alltagserfahrungen tief verankerte Vorstellungen zu einzelnen physikalischen Begriffen. Es kommt zu sogenannten „innenbedingten Lernschwierigkeiten“ ([Wiesner et al. 2011], S. 37), wenn diese mentalen Bilder nicht mit den wissenschaftlichen Ideen übereinstimmen (vgl. [Duit 2010], S. 1). Tief verankerte Vorstellungen sind schwer zu verändern. Leichter hingegen können Bilder modifiziert werden, die spontan gebildet werden, wenn Lernende mit einem unbekanntem Inhalt konfrontiert werden. Hierbei ist zu beachten, dass diese Bilder ebenso aus Vorerfahrungen gebildet werden. Sie werden also von den SuS durch Rückgriff auf vorhandenes Wissen konstruiert (vgl. [Duit 2004a], S. 3). Neben dieser Rolle als Lernhemmnis können die Schülervorstellungen ebenso (in Anlehnung an Ausubels Zitat) notwendiger Anhaltspunkt des Lernens sein (vgl. [Duit 2010], S. 1).

Besonders mit Blick auf Experimente sind Schülervorstellungen von großer Bedeutung. Duit hält dabei fest, dass SuS nur das beobachten, was ihre Vorstellungen erlauben (vgl. [Duit 2004a], S. 6). Ebenso werden Handlungen und das Vorgehen bei Experimenten durch Vorerfahrungen beeinflusst, sodass sich die Lehrkraft nicht auf eine eindeutige „klare“ Herangehensweise verlassen kann (vgl. [Duit 2004b], S. 20). Zudem sind Versuche, die auf einen vermeintlichen Widerspruch abzielen, häufig nicht Anstoß zum Umdenken der SuS. Solche Experimente bewirken selten, dass die SuS ihre vorhandene Vorstellung überdenken, sondern sie führen eher zu Erklärungsversuchen seitens der SuS, weshalb der Versuchsaufbau nicht das gedachte Ergebnis lieferte (vgl. [Duit 2004a], S. 6f. & [Duit 2004b], S. 20f.).

Die Mechanik stellt den am umfassendsten analysierten Bereich der Physik hinsichtlich Schülervorstellungen dar (vgl. [Wiesner et al. 2011], S. 38). Viele SuS haben bereits ein kinematisches Präkonzept, das Rita Wodzinski in ihren Ausführungen genauer erläutert (vgl. [Wodzinski 2004], S. 107ff.). Die Autorin beschreibt, dass für SuS aus dem Alltagsverständnis ein fundamentaler Unterschied zwischen Bewegung und Ruhe besteht. Darüber hinaus beschreiben die SuS Bewegungsabläufe immer als Ganzes und erläutern nicht, dass jedem Zeitpunkt eine Bewegung zugeordnet werden kann (vgl. [Wodzinski 2004], S. 108f.). Bewegungen werden mit den Begriffen „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ beschrieben, welche häufig falsch bzw. unvollständig von den SuS erklärt werden. Wiesner et al. sprechen dabei von einer „sachbedingten Lernschwierigkeit“ bezüglich der Beschleunigung ([Wiesner et al. 2011], S. 35). Die Geschwindigkeit wird meist ohne einen Richtungsaspekt betrachtet und daher wird einer gleichförmigen Rotationsbewegung keine Geschwindigkeitsänderung zugeschrieben. Als beschleunigte Bewegungen werden meist nur diejenigen Bewegungen verstanden, bei denen die Geschwindigkeit zunimmt. Folglich sind „Bremsen“ oder eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit, aber ständig ändernder Bewegungsrichtung, für viele SuS keine beschleunigten Bewegungen. Werden SuS nach dem Begriff der Beschleunigung gefragt, so wird dieser häufig als Geschwindigkeit erklärt, da den SuS be-

stimmte Charakteristika nicht klar sind. Die Vorstellung der Richtung einer Bewegung geht meist auch nur von „dem Ziel“ der gesamten Bewegung aus und nicht von der momentanen Richtung, woran man erkennt, dass der Vektorcharakter der Größen nicht gesehen wird (vgl. [Wiesner et al. 2011], S. 38 & [Wodzinski 2004], S. 108f.).

## 3.4 Lernziele der geplanten Unterrichtseinheit

„Wenn man nicht genau weiß, wohin man will, landet man leicht da, wo man gar nicht hin wollte“ (R.F. Mager, zit. n. [DIPF 2010], S. 19).

Lernziele sind sehr wichtig, um festzuhalten, welche Kenntnisse und Fertigkeiten der Lernende am Ende seines Lernprozesses erreichen soll (vgl. [DIPF 2010], S. 12). Um diese Lernziele präzise formulieren zu können, sollte nach Kircher et al. ein sogenannter Lernzielraum definiert bzw. bestimmt werden (vgl. [Kircher et al. 2015], S. 88). Dieser Raum wird durch drei Parameter determiniert: Zielebene, Zielstufe und Zielklasse. Die nachfolgenden Ausführungen folgen den Ausführungen von Kircher et al. ([Kircher et al. 2015]) und werden der besseren Übersichtlichkeit halber lediglich mit Seitenangaben für diese Quelle versehen. Weitere verwendete Quellen werden explizit benannt.

Die Zielebene ist nach Westphalen in *Leitziel*, *Richtziel*, *Grobziel* und *Feinziel* hierarchisch eingeteilt, wobei eine strikte Trennung dieser nicht möglich ist (vgl. S. 84ff.). Mit Blick auf die entwickelten Smartphone-Experimente (siehe Kapitel 5 und 6) wird hier auf die Zielebenen Richt-, Grob- und Feinziel eingegangen. Das Experimentieren sowie die Interpretation von Messergebnissen können als Richtziele aufgefasst werden, welche die obersten fachspezifischen Ziele darstellen (vgl. S. 85f). Grobziele hingegen spezifizieren sich in einem Teilgebiet der Physik und benennen z.B. ein relevantes Gesetz oder charakteristische Darstellungsweisen von experimentellen Daten (vgl. S. 86). In den entwickelten Experimenten werden die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung behandelt und angewendet. Außerdem wird über eine spezielle Darstellung der Messdaten eine Auswertung vorgenommen, sodass auch dieses Ziel in den Versuchen beinhaltet ist. Die Feinziele stellen eine sehr präzise Formulierung dar und beziehen sich auf einzelne Unterrichtsabschnitte (vgl. [DIPF 2010], S. 15). Damit können die Experimente sehr unterschiedliche Feinziele haben, die durch individuelle Arten des Einsatzes durch die Lehrkraft bestimmt sind. Mögliche Feinziele sind die Bestimmung der Erdbeschleunigung und das eigene Experimentieren mit der App *phyphox* zur Datenerfassung in der Mechanik.

Die vier Zielstufen nach Roth beinhalten die Reproduktion, die Reorganisation, den Transfer und das problemlösende Denken (vgl. S. 87f.). Betrachtet man die beiden konzipierten Versuche mit ihren Materialien, so kann man die ersten drei Stufen nach Roth dort wiederfinden.

Der Versuch zum freien Fall (vgl. Kapitel 6) verlangt u.a. die Reproduktion der Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung, um eine spätere Auswertung der Messdaten vornehmen zu können. Analog wird am Luftkissenbahn-Versuch (vgl. Kapitel 5) auf Kenntnisse zum Begriff der (Momentan-)Geschwindigkeit zurückgegriffen. Die Stufe der Reorganisation wird dadurch abgedeckt, dass der Fall-Versuch eine gleiche Datenerfassungsmethode verwendet wie der Versuch auf der Luftkissenbahn. Die Luftkissenbahn als solche kann ebenso als Reorganisation verstanden werden, da sie in vielen verschiedenen Zusammenhängen für nahezu reibungsfreie Bewegungsvorgänge eingesetzt werden kann, sodass den SuS die Methode bzw. der grobe Sachverhalt bekannt ist. Die Transferstufe wird durch die Übertragung der gelernten Gesetzmäßigkeiten auf spezielle Fälle wie z.B. auf den freien Fall abgedeckt (vgl. S. 88).

Neben den kognitiven Zielen, den sogenannten Konzeptzielen, die sich in den Versuchen durch Wissen über Größen, Gesetze und in qualitativen Beurteilungen von Messunsicherheiten auszeichnen, werden auch Prozessziele erreicht (vgl. S. 89). Die Prozessziele meinen mehr physikalische und technische Fähigkeiten (vgl. S. 90). Diese zeichnen sich im Fall-Versuch durch die Durchführung und Auswertung des Versuchs, im Luftkissenbahn-Versuch durch die Interpretation von Messdaten aus. In beiden Versuchen soll die Fertigkeit im Umgang mit dem Smartphone, insbesondere mit der App *phyphox*, zur Datenerfassung angeeignet werden.

Konkret werden für die beiden entwickelten Versuche folgende Lernziele formuliert:

Luftkissenbahn-Versuch (Kapitel 5):

Die Schülerinnen und Schüler:

1. untersuchen den Zusammenhang der Größen Weg und Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit in einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung.
2. erfassen mit dem Smartphone Messdaten.
3. ermitteln mit dem Magnetfeldsensor des Smartphones und der App *phyphox* Weg-Zeit-Daten.

Fall-Versuch (Kapitel 6):

Die Schülerinnen und Schüler:

1. führen ein Experiment mit dem Smartphone durch und verwenden das Smartphone, insbesondere die App *phyphox*, zur Datenerfassung von Weg-Zeit-Daten des freien Falls.

2. werten die gewonnenen Messdaten graphisch aus und bestimmen daraus die Erdbeschleunigung.

## 3.5 Einordnung in den Kernlehrplan

Internationale und nationale Schulleistungsstudien sowie die Bildungsforschung haben zu kompetenzorientierten Kernlehrplänen geführt, „die in Nordrhein-Westfalen die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz aufgreifen und konkretisieren“ ([MSUW NRW 2014], S. 3). Eine Kompetenzorientierung bezieht sich mehr auf allgemein anwendbare Fähigkeiten und Fertigkeiten, die die SuS über einen längeren Zeitraum erlernen. In diesem Prozess des Kompetenzaufbaus beschreiben Lernziele einzelne Zwischenschritte.

Die beiden Versuche thematisieren die gleichmäßig beschleunigte Bewegung, welche in das Inhaltsfeld 1 *Mechanik* des Kernlehrplans NRW Physik 2014 für die Sekundarstufe II eingeordnet ist (vgl. [MSUW NRW 2014], S. 24). Durch diese Versuche können verschiedene Kompetenzerwartungen aus dem Kernlehrplan erfüllt werden. So werden im Bereich *Fachwissen* hauptsächlich die Kompetenzen Wiedergabe (UF1) und Auswahl (UF2) abgedeckt, indem die SuS „die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse [...] und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen“ erläutern ([MSUW NRW 2014], S. 24). Im Bereich *Erkenntnisgewinnung* wird durch den in der Arbeit vorgestellten Fall-Versuch der Erwartung an eine selbstständige Durchführung einer quantitativen Untersuchung mit anschließender Auswertung nachgekommen (vgl. [MSUW NRW 2014], S. 25). Durch die Unterscheidung von gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter Bewegung in den Experimenten analysieren die SuS in verschiedenen Kontexten Bewegungen und kommen damit vor allem der Kompetenz der Wahrnehmung (E2) nach. Durch den Fall-Versuch wird zusätzlich zur Kompetenz der Wahrnehmung (E2) die Kompetenz der Auswertung (E5) vordergründig erfüllt. In der Auswertung können die SuS „mechanische Größen mit mathematischen Verfahren und mithilfe digitaler Werkzeuge“ bestimmen und in Diagrammen dokumentieren (K1) ([MSUW NRW 2014], S. 25f.).

## 3.6 Einbettung in den Unterricht

Die in den Kapiteln 5 und 6 vorgestellten Smartphone-Experimente sind in sich unterschiedlich konzipiert, bauen jedoch in gewisser Weise aufeinander auf und können daher gemeinsam eingesetzt werden.

Der Luftkissenbahn-Versuch ist aufgrund der meist an Schulen nur einmal existierenden

Luftkissenbahn als Lehrerdemonstrationsexperiment angedacht. Dieser Versuch dient dazu, die Formeln für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung zu untersuchen und aufzustellen. 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 deren Zusammenhang. Wie später im Kapitel 5 erklärt wird, erfolgt die Datenerfassung über den Magnetfeldsensor des Smartphones. Magnete, die entlang der Fahrstrecke auf der Luftkissenbahn als Signalgeber angebracht werden, sind die Grundlage für die Weg-Zeit-Daten, die mit der App *phyphox* errechnet werden. Den SuS soll diese Methode „Magnet-Linear“ anhand des Demonstrationsexperiment deutlich gemacht werden, damit sie es später in eigenen Versuchen anwenden können.

In dieser Arbeit ist ein Experiment, der Fall-Versuch (s. Kapitel 6), erstellt worden, in dem die SuS die Methode „Magnet-Linear“ anwenden können (weitere mögliche Versuche finden sich in [Klein 2016]). 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-Linear“ kennen, da diese 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. Der Lehrkraft ist durch eine gezielte Modifikation der Lernziele eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten dieses Versuches gegeben. Der Fokus kann in verschiedene Richtungen verschoben werden wie z.B. eigenständige Planung des Experiments, genaue Analyse von Messunsicherheiten oder detaillierte Auswertung.

Zu beiden entwickelten Versuchen ist jeweils eine Lehrerhandreichung erstellt worden, die bei der Planung und dem Einsatz der Versuche unterstützen soll. Diese Handreichungen enthalten Informationen zu den Rahmenbedingungen (Thematik, Zeitaufwand, Voraussetzungen), abgedeckten Kompetenzbereichen und erste Lernziele der einzelnen Versuche. Des Weiteren enthalten diese Lehrerhandreichungen praktische und methodische Anmerkungen zur Durchführung und zu einzelnen Arbeitsaufträgen. Damit kann die Lehrkraft diese Smartphone-Versuche individuell auf Lerngruppen für einen möglichst erfolgreichen Einsatz anpassen.

# 4 Die verwendete App *phyphox*

In App-Stores existieren eine Reihe von Smartphone-Programmen für experimentelle Anwendungen, die jedoch nur einzelne Sensoren auslesen können. Eine Auflistung einiger für den Physikunterricht geeigneter Apps findet sich in [Hirth et al. 2015] auf den Seiten 47 bis



*Abbildung 4.1: Symbol und Schriftzug der App phyphox.  
Quelle: Sebastian Kuhlen*

50. Da jedoch jedes Smartphone über verschiedene Sensoren verfügt, stellen diese Apps eine große Unübersichtlichkeit für den Anwender dar. Die App *phyphox* kann auf fast alle Sensordaten zugreifen und diese graphisch auf dem Handydisplay oder auf einem Laptop darstellen.

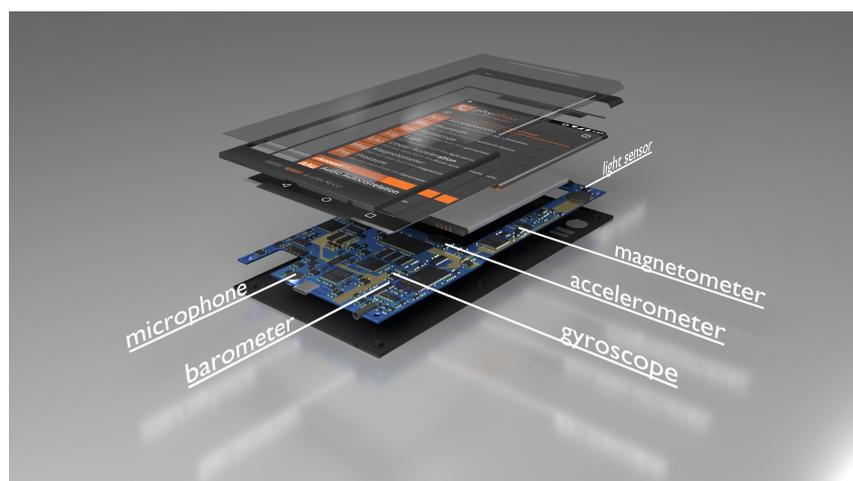
Die App *phyphox* ist am 2. Physikalischen Institut A der RWTH Aachen University entwickelt worden. Das Konzept der App stammt von Prof. Dr. Christoph Stampfer und Dr. Sebastian Kuhlen. Die programmtechnische Entwicklung wird von Dr. Sebastian Kuhlen durchgeführt, welcher die App zusätzlich durch viele innovative Features ergänzt.

In diesem Kapitel soll neben den Funktionen und Möglichkeiten der App *phyphox* speziell der Magnetfeldsensor beleuchtet werden, da er zur Datenerfassung in den hier beschriebenen Versuchen benötigt wird.

## 4.1 Funktionen und Möglichkeiten

Die App *phyphox* ist seit dem 12.09.2016 in den App-Stores von Google und Apple frei erhältlich. Neben den vielen Sensoren, die *phyphox* auslesen kann, hebt sich die App durch weitere Funktionen aus der Masse der bereits vorhandenen Apps zur Auslesung von Sensordaten hervor.

Zu den vielen Sensoren eines Smartphones, die in Abbildung 4.2 illustriert sind, gehören u.a. ein Beschleunigungssensor, Gyroskop, Magnetfeldsensor und Mikrofon. In den neusten Geräten ist zudem noch ein Temperatur-, Druck- und Luftfeuchtigkeitssensor verbaut (vgl. [Kuhn et al. 2015], S. 4).



*Abbildung 4.2: Meist eingebaute Sensoren in einem Smartphone. Grafik erstellt von Sebastian Kühlen*

Die App ermöglicht dem Anwender einerseits auf die Rohdaten des Sensors zuzugreifen und andererseits in bereits implementierten Experimenten berechnete Ergebnisse darzustellen (hierzu mehr in Abschnitt 4.2). 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 „verbautes“ 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 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. Im Anhang A.2.1 ist eine selbstgeschriebene Anleitung (mit Ergänzungen von B. D. Götze) zur Verwendung der App aufgeführt. Dort sind genauere Informationen zur Handhabung der App mit ihre vielen Funktionen zu finden. Weitere Informationen rund um die App und ihren Features finden sich auf der Internetseite <http://phyphox.org/de/home-de/>. 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 zu der App erstellten Editor<sup>1</sup>, ganze Experimente selbst zu programmieren. Für Lehrer-Experten bietet dies vielfältige Optionen, Versuche zu

---

<sup>1</sup> <http://phyphox.org/editor/>

verändern oder gar ganz neue komplexere Experimente zu erstellen. Der Programmierer der App sieht die Erstellung einer Anleitung zu diesem Editor vor, wodurch der Weg zur eigenen Programmierung leichter und ansprechender für weitere Lehrpersonen werden soll. Eine Erklärung sowie Beispiele für selbst erstellte Experimente mit dem *phyphox*-Editor finden sich in der Bachelorarbeit von B. D. Götze zu harmonischen Schwingungen (vgl. [Götze 2016]).

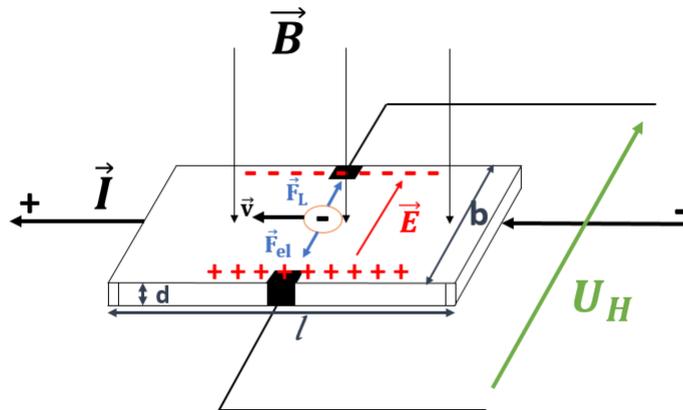
## 4.2 Der Magnetfeldsensor und dessen Bedeutung in den Versuchen

Viele (Smartphone-)Experimente im Bereich der Mechanik erfordern das Aufnehmen von Weg-Zeit-Daten. Zu Beginn der Entwicklungsphase stellte dies ein größeres Problem dar, da die Sensoren des Smartphones so in einen Aufbau eingebracht werden mussten, dass die geforderten Messdaten erfasst werden konnten. Dazu ist einmal eine Lichterkette entlang der Fahrbahn angebracht worden, um mit dem Lichtsensor Signale der einzelnen Lampen zu registrieren. Dabei zeigte sich, dass der Lichtsensor zu träge ist und daher nicht geeignet war. Ebenso liefert der Beschleunigungssensor keine zufriedenstellenden Daten, da er so empfindlich ist, dass die Luftkissenbahn permanente Störsignale hervorruft.

Durch diese Erkenntnisse ist der Magnetfeldsensor ins Blickfeld geraten. Die ersten Testläufe haben gute Ergebnisse geliefert, daher wurde der Aufbau mit Magneten entlang der Fahrbahn weiter verfolgt und optimiert. Im Folgenden soll eine mögliche Funktionsweise des Magnetfeldsensors genau betrachtet werden: Der Magnetfeldsensor als Hall-Sonde<sup>2</sup>. In Abbildung 4.3 ist ein schematischer Aufbau einer Hall-Sonde gezeigt. Durch die Lorentzkraft  $\vec{F}_L$  werden die Ladungsträger (in der Abbildung als ein Elektron dargestellt) senkrecht zum Magnetfeld und zur Stromrichtung im Leiter abgelenkt (vgl. [Demtröder 2013], S. 99). Durch die Ablenkung erfolgt eine Ladungstrennung, die wiederum ein elektrisches Feld nach sich zieht und damit auch eine elektrische Kraft  $\vec{F}_{el}$ . Die Ladungstrennung schreitet so lange voran, bis die aufbauende elektrische Kraft betragsmäßig gleich der Lorentzkraft ist und sich ein Gleichgewicht einstellt.

---

<sup>2</sup> Benannt nach dem US-amerikanischen Physiker Edwin Herbert Hall (1855 - 1938)



**Abbildung 4.3:** Schematischer Aufbau und Funktion einer Hall-Sonde. Die Hall-Sonde mit den Maßen  $b, d, l$  wird von einem Strom  $\vec{I}$  durchflossen und senkrecht dazu von einem Magnetfeld  $\vec{B}$  durchdrungen. Durch die Lorentzkraft  $\vec{F}_L$  werden die Elektronen zur oberen Seitenfläche abgelenkt. Das durch die Ladungstrennung entstehende elektrische Feld bedingt eine elektrische Kraft  $\vec{F}_{el}$  (entgegengesetzt zu  $\vec{F}_L$ ), die sich immer weiter aufbaut bis ein Gleichgewicht zur Lorentzkraft entstanden ist. Es liegt eine Spannung zwischen den gegenüberliegenden Seitenflächen im Abstand  $b$  an, die sogenannte Hall-Spannung, welche proportional zum äußeren Magnetfeld ist.

Im Gleichgewichtszustand kann man mit wenigen physikalischen Überlegungen (siehe hierzu [Demtröder 2013], S. 99) die Hall-Spannung  $U_H$  herleiten. Diese Spannung liegt zwischen den gegenüberliegenden Seitenflächen im Abstand  $b$  an und ergibt sich zu

$$U_H = -\frac{\vec{j} \times \vec{B} \cdot b}{n \cdot q}, \quad (4.1)$$

wobei  $\vec{j}$  die Stromdichte,  $\vec{B}$  das äußere Magnetfeld,  $n$  die „Anzahldichte der Ladungsträger“ ([Tipler et al. 2015], S. 864) und  $q$  die Ladung darstellt. Im Metall und den meisten Halbleitern sind Elektronen die Ladungsträger. Man erkennt nun in Gleichung (4.1) die Proportionalität zwischen magnetischer Flussdichte  $|\vec{B}|$  und der Hallspannung  $U_H$ . Weitere Umformungen (siehe [Demtröder 2013], S. 99 & [Tipler et al. 2015], S. 863f.) führen zu dem Ausdruck

$$U_H = R_H \cdot \frac{\vec{B} \cdot \vec{I}}{d}, \quad (4.2)$$

mit der sogenannten Hall-Konstanten  $R_H = \frac{1}{n \cdot q}$ . Gleichung (4.2) ist die Grundlage, um mit dem Smartphone (durch Angabe der Konstanten) die gemessene Spannung in eine magnetische Flussdichte umzurechnen. Werden nun drei solcher Hall-Sonden senkrecht zueinander in ein Smartphone eingebaut, so kann eine dreidimensionale Angabe der magnetischen Flussdichte erfolgen. Die für das Smartphone vorliegende Achsenausrichtung der Sensoren

ist im Anhang A.1.2 gezeigt.

Es gibt zudem weitere Bauweisen von Magnetfeldsensoren z.B. gemäß dem Prinzip des Riesenmagnetowiderstands. Dieser Effekt basiert auf einem Schichtsystem, bei dem eine nichtmagnetische Schicht von zwei magnetischen Schichten umgeben ist. Fließt Strom durch diese Schichten, so ändert sich der elektrische Widerstand in Abhängigkeit von der relativen Ausrichtung der Magnetisierung der beiden magnetischen Schichten (vgl. [Keller 2007], S. 12). Genauere Informationen zu diesem magneto-resistiven Effekt finden sich z.B. in [Keller 2007]. In dem entwickelten Luftkissenbahn-Versuch wird das von Sebastian Kuhlen programmierte Werkzeug *Magnet-Lineal* in *phyphox* verwendet, welches die registrierten Signale der Magnete entlang der Fahrbahn in Weg-Zeit-Daten umrechnet. Hierzu ist lediglich der Abstand der Magnete der App einzugeben. Eine Erläuterung der genauen Funktionsweise des Werkzeugs findet sich in [Klein 2016], S. 19-20.

# 5 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Luftkissenbahn

Das erste entwickelte Experiment wird mit der Luftkissenbahn durchgeführt und dient der Einführung in die gleichmäßig beschleunigte Bewegung sowie deren Gesetzmäßigkeiten. Zunächst wird die Entwicklung des Experiments betrachtet. Dabei werden Aufbau und Durchführung sowie die erstellten Arbeitsaufträge für die Schülerinnen und Schüler präsentiert. Im Abschnitt 5.2 werden die Messergebnisse der getätigten Testläufe des Versuchs erläutert und diskutiert. Diese Ergebnisse sollen einen Einsatz in der Schule zu den Gesetzmäßigkeiten rechtfertigen. Das gesamte Kapitel soll letztlich mit der erarbeiteten Lehrerhandreichung im Hinblick auf den Schuleinsatz zusammengefasst und abgeschlossen werden.

## 5.1 Entwicklung des Experiments

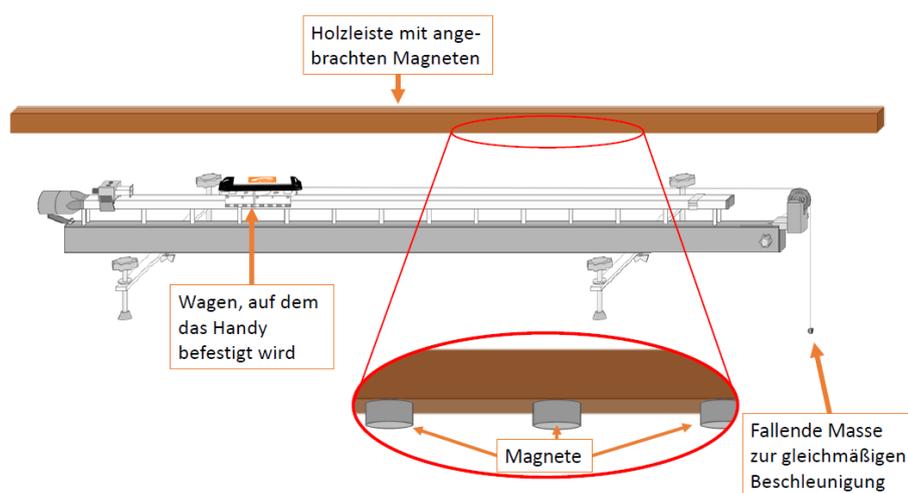
### 5.1.1 Aufbau und Durchführung

Grundlage des Aufbaus ist die Luftkissenfahrbahn 337 501 von Leybold Didactic mit dem dazugehörigen Gebläse. Da an Schulen meist nur eine Luftkissenbahn vorhanden ist, ist das Experiment als Demonstrationsexperiment angedacht. In Abbildung 5.1 ist der für ein Smartphone-Experiment erweiterte schematische Aufbau gezeigt. Zur besseren Vorstellung des realen Aufbaus ist im Anhang A.1.3 zusätzlich eine Darstellung des gewählten Aufbaus aufgeführt.

Hauptbestandteil des Aufbaus ist neben der Luftkissenfahrbahn eine Holzleiste, an der Magnete (s. Anhang A.1.4) angebracht worden sind (in den Testversuchen sind S-06-02-N Scheibenmagnete der Internetfirma [supermagnete.de](http://supermagnete.de) verwendet worden). Dabei sind Eisen-schrauben in einem Abstand von 10 cm in das Holz gebracht worden, woran die Magnete aufgrund ihrer magnetischen Wechselwirkung 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 aufzeigt. 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 frei

## 5 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Luftkissenbahn

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 (mehr dazu in Abschnitt 5.2.2). Hierzu kann ein Blick auf die von *phyphox* wahrgenommenen Magnetfeldpeaks Aufschluss geben und ggf. eine Variation der Masse nach sich ziehen.



**Abbildung 5.1:** Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments auf der Luftkissenbahn. Zur Inbetriebnahme der Luftkissenbahn wird ein Gebläse benötigt. Auf dem Wagen zur Luftkissenbahn, 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 Magnete befestigt sind, die als Signalgeber für den im Smartphone vorhandenen Magnetfeldsensor dienen, sodass Weg-Zeit-Daten gemessen werden können. Bild der Luftkissenbahn aus [LD Didactic o.J.], S. 4

Das Smartphone wird mit einem Gummiband auf dem Gleiter zur Luftkissenbahn befestigt. Eine vergrößerte Ansicht des hier verwendeten Gleiters ist in Abbildung 5.2 gezeigt, welche die genaue Halterung 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 im Anhang A.2.1 ausführlich beschrieben. Damit wird in der App *phyphox*

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, damit jeder Beobachter diese gut lesen kann. Danach kann das Smartphone mit dem Gummiband nach Abbildung 5.2 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 der SuS durchgeführt werden.



**Abbildung 5.2:** Aufbau des Wagens für das Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn 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.

### 5.1.2 Arbeitsblatt für Schülerinnen und Schüler

Zu dem oben beschriebenen Versuch sind Arbeitsblätter erstellt worden, welche sich in Anhang A.2.2 befinden. Diese sollen dazu dienen, die Messdaten aus dem Demonstrationsexperiment zu sichern, damit sie für spätere Auswertungs- und Lernschritte zur Verfügung stehen.

Zur einheitlichen Darstellung und zur Verbesserung des Wiedererkennungswertes von *phyphox*-Experimenten und dazugehörigen Arbeitsmaterialien ist ein Layout erstellt worden. Dabei dient die Kopfzeile für SuS zur Einordnung in die Thematik und das *phyphox*-Symbol zur Assoziation (vgl. [Martial & Ladenthin 2002], S. 181 & [Meyer 2005], S. 309). Zudem soll durch das Eintragen des Namens sowie des Datums eine eindeutige Identifizierung geschaffen werden (vgl. [Meyer 2005], S. 309). Die erste Seite der Arbeitsblätter dient überwiegend als Informationsblatt (vgl. [Studienseminar Koblenz o.J.], S. 2), welches eine kurze Einführung bzw. Zusammenfassung der Versuchsdurchführung geben soll, damit „die inhaltliche Orientierung“ ([Kircher et al. 2015], S. 217) gesichert ist. Es wird kurz erwähnt, wie die Messung vonstattengehen soll und welcher Sensor des Smartphones dafür benötigt wird, um eine gewisse Transparenz zu schaffen. Die eben erwähnte Orientierung bezieht sich

nicht nur auf den Versuch, sondern auch auf die gestellten Arbeitsaufträge. Daher sind die Aufgabenstellungen mit kleinen Bildern, sogenannte Icons, versehen, deren Bedeutung auf der ersten Seite erklärt wird. Diese Symbole sollen die SuS motivieren, die Aufgabe genau zu lesen und zu bearbeiten. Die Informationen zum Versuchsaufbau sind zunächst von den SuS eigenständig zu erarbeiten und in Form einer Skizze darzustellen. Damit schaffen sich die SuS die Voraussetzungen für die Datenbearbeitung auf der nächsten Seite (dem Erarbeitungsblatt (vgl. [Studienseminar Koblenz o.J.], S. 2)). Dabei dienen die Aufgaben 2 und 3 explizit dazu, die Messdaten festzuhalten und graphisch darzustellen (vgl. [Meyer 2005], S. 308). Die beiden Aufgaben weisen prinzipiell den gleichen Aufbau auf, um den SuS eine gewisse Sicherheit zu geben, da sie fortan den Auftrag kennen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse können nun die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung eingeführt und als Formeln festgehalten werden.

## 5.2 Erprobung im Labor

### 5.2.1 Messergebnisse

In den Testversuchen zu dem Luftkissenbahnexperiment sollte die Reliabilität und Validität der gemessenen Daten überprüft werden. Hierzu ist der Versuch mit einer fallenden Masse von  $(10,2 \pm 0,1)$  g insgesamt zehnmal durchgeführt worden. Zudem ist mit einer variierten Masse von  $(15,2 \pm 0,1)$  g die gleichmäßig beschleunigte Bewegung dreimal analysiert worden. Dazu dienten der im Abschnitt 5.1.1 beschriebene Versuchsaufbau auf der Luftkissenbahn und die App *phyphox* als Datenerfassungsprogramm. Zur Verifizierung dieser Messdaten sind gleichzeitig mit einem Cassy-Modul der Firma LD Didactic GmbH Weg-Zeit-Daten gemessen worden. Hierzu wurde ein „Kombi-Speichenrad“<sup>1</sup> in Kombination mit dem Programm Cassy Lab 2 dieser Firma verwendet, das über eine Lichtschranke den zurückgelegten Weg in Zeitabständen von 0,1 s misst.

Dieser Abschnitt soll an einem Beispiel die Vorgehensweise der Auswertung erläutern. Sämtliche Messdaten befinden sich auf der beigefügten Daten-CD im Unterordner *Messdaten zu den Versuchen*. In der App *phyphox* ist das Werkzeug *Magnet-Lineal* (s. Abschnitt 4.2) verwendet worden, welches Weg-Zeit-Daten und Geschwindigkeits-Zeit-Daten ausgibt. Hierbei werden die Geschwindigkeits-Daten jeweils aus dem Quotienten der Wegdifferenz  $s_i - s_{i-1}$  zweier bestimmter Wegstrecken und der für diese Wegdifferenz benötigten Zeit  $t_i - t_{i-1}$  berechnet und der Mitte des Zeitintervalls  $[t_{i-1}, t_i]$  zugeordnet ( $2 \leq i \leq n$ ,  $n$  Anzahl

---

<sup>1</sup> siehe hierzu [ld-didactic.de](http://ld-didactic.de)

## 5 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Luftkissenbahn

der Weg-Zeit-Daten). Für die Auswertung sind zudem die Zeitpunkte immer dahingehend „normiert“ worden, dass der erste gemessene Peak, also der Punkt mit der zurückgelegten Wegstrecke von 0 m, von *phyphox* die Zuordnung der Zeit  $t = 0$  s erhält und alle weiteren Zeitpunkte relativ zu diesem ermittelt werden. Für eine Beispielmessung sind in Tabelle 5.1 die Messdaten aufgeführt.

**Tabelle 5.1:** Messdaten einer (Beispiel-)Messung auf der Luftkissenbahn mit dem Werkzeug Magnet-Lineal in *phyphox*. Aufgeführt sind die gemessenen Zeit- und Streckendaten durch die App *phyphox* mit ihren Unsicherheiten. Die Zeitdaten sind mit den originalen Messzeiten  $t_{\text{original}}$  sowie mit den relativ zum ersten Zeitpunkt (Strecke von 0 m) ermittelten Zeitpunkte  $t$  angegeben. Zu den von *phyphox* ausgegebenen Geschwindigkeiten sind mittels der Gaußschen Fehlerfortpflanzung die Unsicherheiten errechnet worden.

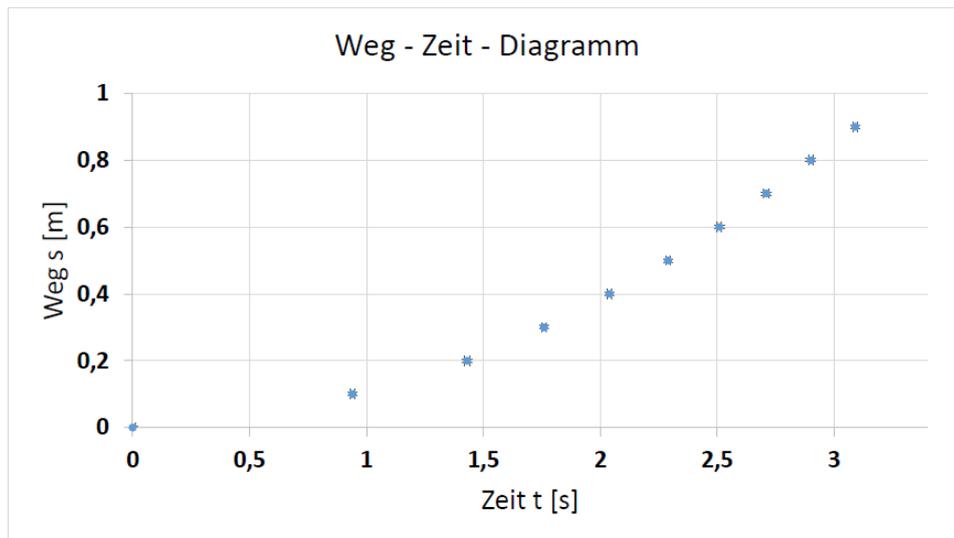
$t_{\text{original}}$ [s]	Zeit $t$ [s]	Weg $s$ [m]	$t_{\text{v, original}}$ [s]	Zeit $t_{\text{v}}$ [s]	Geschwindigkeit $v$ [m/s]
$0,65 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,01$	$0,000 \pm 0,005$			
$1,59 \pm 0,01$	$0,94 \pm 0,01$	$0,100 \pm 0,005$	$1,12 \pm 0,01$	$0,47 \pm 0,01$	$0,106 \pm 0,008$
$2,08 \pm 0,01$	$1,43 \pm 0,01$	$0,200 \pm 0,005$	$1,84 \pm 0,01$	$1,19 \pm 0,01$	$0,204 \pm 0,016$
$2,41 \pm 0,01$	$1,76 \pm 0,01$	$0,300 \pm 0,005$	$2,25 \pm 0,01$	$1,60 \pm 0,01$	$0,303 \pm 0,026$
$2,69 \pm 0,01$	$2,04 \pm 0,01$	$0,400 \pm 0,005$	$2,55 \pm 0,01$	$1,90 \pm 0,01$	$0,36 \pm 0,04$
$2,94 \pm 0,01$	$2,29 \pm 0,01$	$0,500 \pm 0,005$	$2,82 \pm 0,01$	$2,17 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,04$
$3,16 \pm 0,01$	$2,51 \pm 0,01$	$0,600 \pm 0,005$	$3,05 \pm 0,01$	$2,40 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,05$
$3,36 \pm 0,01$	$2,71 \pm 0,01$	$0,700 \pm 0,005$	$3,26 \pm 0,01$	$2,61 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,05$
$3,55 \pm 0,01$	$2,90 \pm 0,01$	$0,800 \pm 0,005$	$3,45 \pm 0,01$	$2,80 \pm 0,01$	$0,53 \pm 0,06$
$3,74 \pm 0,01$	$3,09 \pm 0,01$	$0,900 \pm 0,005$	$3,64 \pm 0,01$	$2,99 \pm 0,01$	$0,53 \pm 0,06$

In der Tabelle sind zusätzlich die Messunsicherheiten angegeben. Für die Zeitangaben ist immer eine Unsicherheit von  $\Delta t = 0,01$  s, also des Abstands zweier vom Magnetfeldsensor registrierter Datenpunkte bezogen auf die Zeitachse, angenommen worden. Die Wegstrecke ist mit einer Ungenauigkeit von  $\Delta s = 5$  mm versehen worden. In diesen Wert ist zum einen die angenommene Ungenauigkeit von 2 mm für die Platzierung der Schrauben (Halterung der Magnete) eingeflossen. Zum anderen ist eine mögliche Diskrepanz der im Datenblatt (vgl. [Supermagnete.de 2011a]) angegebenen Magnetisierungsrichtung durch einen Abweichungswinkel von  $1,5^\circ$  berücksichtigt worden, da die Magnete nicht für experimentelle Zwecke konstruiert worden sind. Dieser Winkel spiegelt sich in einem Abstand von 10 cm in einer horizontalen Aufspaltung des Magnetfeldes von ca. 3 mm wider, woraus sich insgesamt die bereits erwähnten 5 mm Unsicherheit auf die Wegstrecke  $s$  ergeben. Für die Geschwindigkeit  $v$  hat sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung eine Messunsicherheit nach Formel (5.1) ergeben.

$$\Delta v = \sqrt{2 \cdot \left( \frac{1}{t_i - t_{i-1}} \cdot \Delta s \right)^2 + 2 \cdot \left( \frac{s_i - s_{i-1}}{(t_i - t_{i-1})^2} \cdot \Delta t \right)^2} \quad (5.1)$$

Aus diesen Daten konnte zunächst ein Weg-Zeit-Diagramm erstellt werden, welches in

Abbildung 5.3 zu sehen ist<sup>2</sup>. Die Fehlerbalken haben sich gemäß der obigen Beschreibung ergeben. Anhand dieser Abbildung ist bereits zu erkennen, dass kein linearer Zusammenhang zwischen Weg und Zeit besteht. Zudem lässt sich qualitativ feststellen, dass die Zeitabstände, in denen Messdaten aufgenommen worden sind, immer kleiner werden, wobei der Abstand zweier Magnete stets konstant 10 cm betragen hat. Die Abbildung 5.3 lässt die Vermutung eines quadratischen Zusammenhangs zwischen dem zurückgelegten Weg und der Zeit zu.

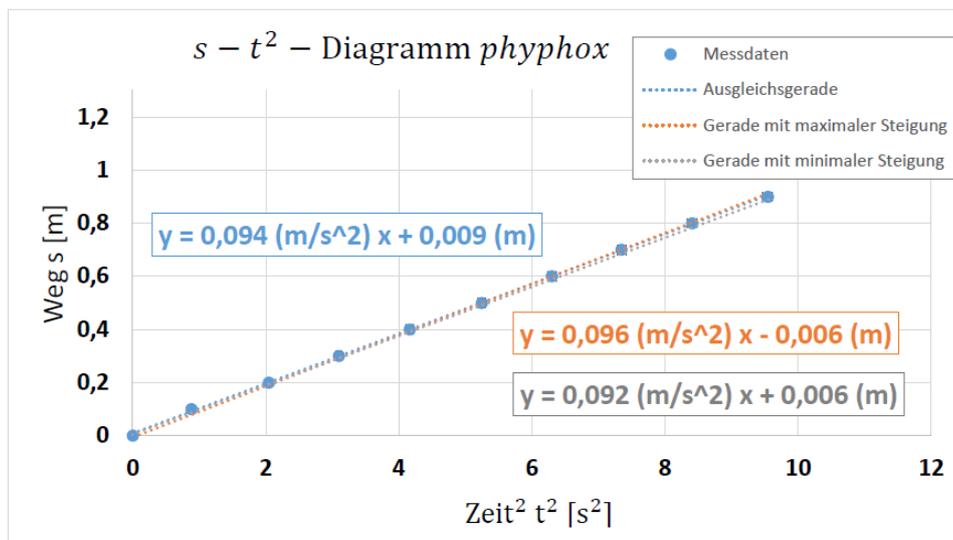


**Abbildung 5.3:** Weg-Zeit-Diagramm zur Beispielmessung (vgl. Tabelle 5.1) zu den Daten von phyphox. Aufgetragen ist der Weg in Abhängigkeit der Zeit.

Diese Vermutung kann mit einer graphischen Auftragung des Weges  $s$  gegen die quadrierte Zeit überprüft werden. Die Unsicherheit auf das Zeitquadrat ergibt sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung zu  $\Delta t^2 = \sqrt{(2 \cdot t \cdot \Delta t)^2}$  mit den oben beschriebenen Unsicherheiten. Trägt man nun diese Punkte mit ihren Fehlerbalken ein, so ergibt sich die Abbildung 5.4. In dieser Graphik ist deutlich ein linearer Zusammenhang zu erkennen, sodass die vermutete quadratische Abhängigkeit des zurückgelegten Weges von der Zeit bestätigt ist. Anhand der graphischen Auftragung in Abbildung 5.4 kann ein Wert für die Beschleunigung bestimmt werden. Der Formel (2.6) ist zu entnehmen, dass die Steigung der Geraden die Hälfte der Beschleunigung darstellt, woraus sich leicht die Beschleunigung berechnen lässt. Der lineare Zusammenhang ist mit einer linearen Regression quantifiziert worden. Bei der Durchführung des Versuchs (s. Abschnitt 5.1.1) ist erläutert worden, dass das Smartphone auf Höhe

<sup>2</sup> 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. In dieser Arbeit sowie den erstellten Materialien 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.

des ersten Magneten zunächst festgehalten wird, sodass man bei der Bewegungsgleichung eine Anfangsstrecke von  $s_0 = 0 \text{ m}$  und eine Anfangsgeschwindigkeit von  $v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  annehmen kann<sup>3</sup>. Zur Bestimmung der Unsicherheit des Beschleunigungswertes ist eine Gerade mit maximaler und eine mit minimaler Steigung bestimmt worden. Hierzu ist jeweils die „beste“ Anpassung dieser Geraden gewählt worden, welche die meisten Fehlerbereiche der Datenpunkte schneidet. Da die Datenmenge als normalverteilt angenommen wird, schneidet die Ausgleichsgerade sowie die Geraden mit maximaler und minimaler Steigung nur ca. 68,3 % der Unsicherheitsintervalle der Messdaten.



**Abbildung 5.4:** Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der Daten von phyphox zur Beispielmessung (vgl. Tabelle 5.1). Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) sowie eine Gerade mit maximaler (grau) und minimaler Steigung (orange) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet.

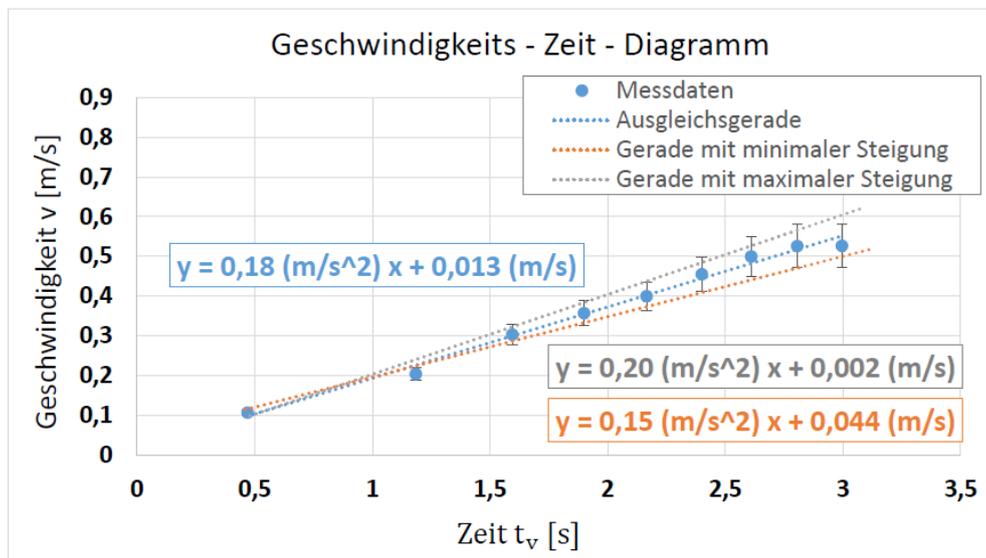
Der betragsmäßig größte Abstand der Steigung der Ausgleichsgeraden von der Geraden mit maximaler bzw. mit minimaler Steigung wird im Endergebnis als die Unsicherheit auf die ermittelte Beschleunigung angenommen.

Eine alternative Methode zur Bestimmung der Beschleunigung beruht auf dem Zusammenhang in Formel (2.5). Dieser Zusammenhang wird an dieser Stelle betrachtet, da er aus didaktischen Überlegungen hauptsächlich von den SuS zur Auswertung genutzt werden soll. Hierzu wird die Geschwindigkeit als Funktion der Zeit  $t_v$  aufgetragen, woraus sich der in Abbildung 5.5 dargestellte lineare Verlauf mit den anfangs beschriebenen Fehlerbalken ergibt. Die Abbildung 5.5 zeigt, dass die Fehlerbalken der abgeleiteten Größe der Geschwindigkeit  $v$  deutlich größer sind als jene in der Abbildung 5.4. Nach den Gesetzmä-

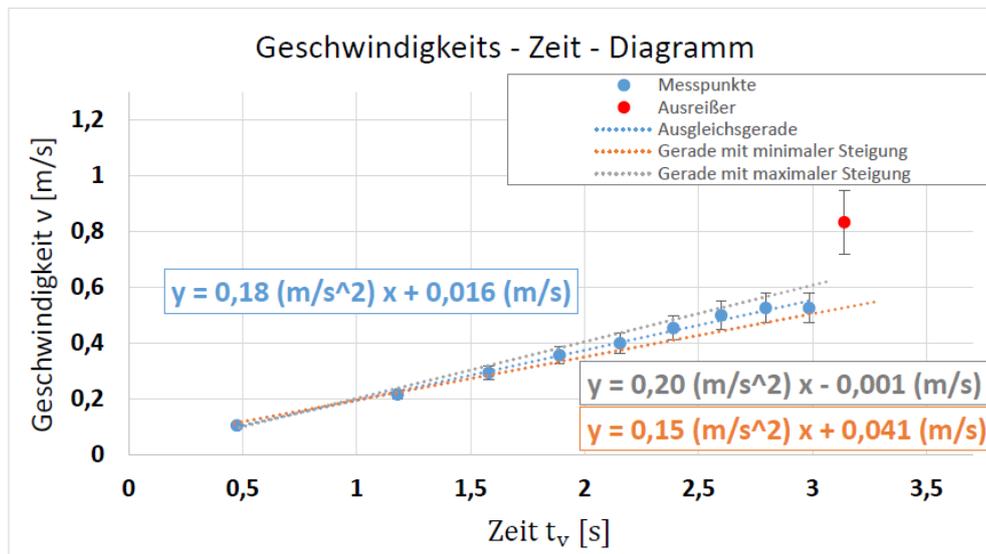
<sup>3</sup> Diese Voraussetzungen können im Rahmen der Messunsicherheiten bestätigt werden, wobei man anhand der Ungenauigkeiten auch erkennen kann, dass diese Annahmen nicht exakt mit den Ergebnissen übereinstimmen.

## 5 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Luftkissenbahn

ßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung (vgl. Formel (2.5)) gibt die Steigung dieser Geraden die Beschleunigung der Bewegung an. Analog zum Vorgehen, welches für das Zeit<sup>2</sup>-Weg-Diagramm verfolgt worden ist, ergibt sich die Unsicherheit auf den Wert für die experimentell bestimmte Beschleunigung.



**Abbildung 5.5:** Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von phyphox zur Beispielmessung (vgl. Tabelle 5.1). Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) sowie eine Gerade mit maximaler (grau) und minimaler Steigung (orange) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet.

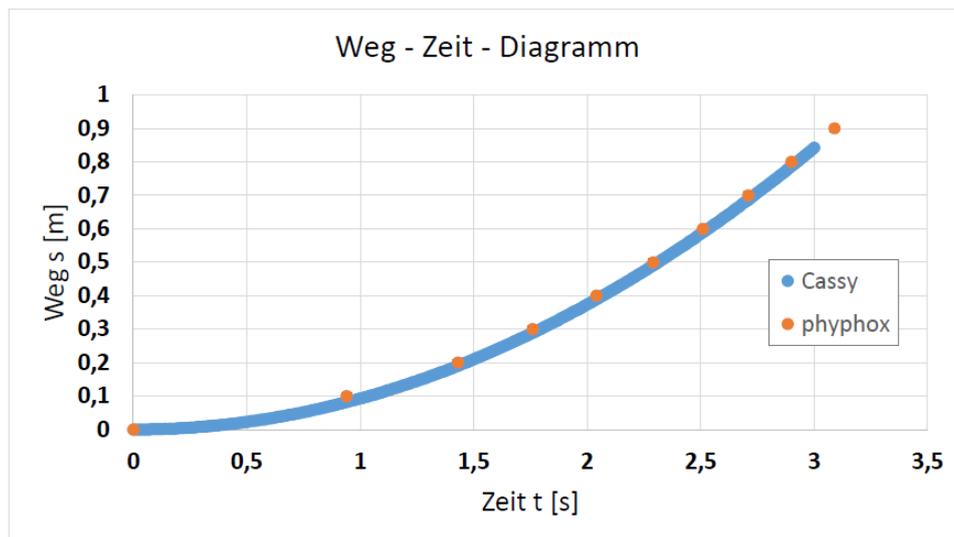


**Abbildung 5.6:** Beispiel für einen Ausreißer im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von phyphox zur Beispielmessung (vgl. Tabelle 5.1). Der Ausreißer (rot) weist einen deutlichen Abstand zum Verlauf der restlichen Daten auf. Zudem ist eine Ausgleichsgerade (blau) sowie eine Gerade mit maximaler (grau) und minimaler Steigung (orange) zur Bestimmung der Beschleunigung eingezeichnet.

Bei den erstellten Geschwindigkeits-Zeit-Diagrammen weisen Datenpunkte selten eine extreme Diskrepanz zum Verlauf der restlichen Messpunkte auf. Ein Beispiel eines solchen Falles ist in Abbildung 5.6 gezeigt. Solche Punkte werden als Ausreißer betrachtet und in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

Hierbei kann schon festgehalten werden, dass die Ungenauigkeit auf den Beschleunigungswert aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm eine größere Unsicherheit aufweist als jener Wert, der aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm ermittelt worden ist.

Zur Validierung der Ergebnisse, die mit *phyphox* erzielt worden sind, werden die gleichzeitig mit *Cassy* aufgenommenen Daten ebenfalls ausgewertet. Zunächst werden die Weg-Zeit-Daten von *phyphox* mit denen von *Cassy* in Abbildung 5.7 verglichen.



**Abbildung 5.7:** Vergleich der Weg-Zeit-Daten von *phyphox* und *Cassy*. Aufgetragen ist der zurückgelegte Weg  $s$  als Funktion der Zeit  $t$  für die beiden Datenerfassungssysteme: *phyphox* (orange) und *Cassy* (blau)

Die Ungenauigkeit auf die mit *Cassy* Lab 2 aufgenommenen Zeiten wird vernachlässigt, da das *Cassy*-System automatisch alle 0,1 s einen Datenpunkt aufnimmt und damit eine Unsicherheit nur durch die interne Zeittaktung von *Cassy* zustande kommt. Die Streckenmessung wird mit der höchst einstellbaren Genauigkeit von 1 mm durchgeführt, welche damit auch die angenommene Unsicherheit auf die Daten darstellt. Diese kleinen Ungenauigkeiten der *Cassy*-Daten sowie die der *phyphox*-Daten sind in der nachfolgenden Abbildung nicht zu erkennen. Anhand der Abbildung 5.7 lässt sich eine prinzipielle Übereinstimmung in den jeweils aufgenommenen Weg-Zeit-Daten feststellen. Das *Cassy*-System weist eine höhere Datendichte auf, die sich in kleineren Messunsicherheiten im Verlauf der Auswertung widerspiegeln wird.

Die Cassy-Daten sind nach dem zuerst dargestellten Verfahren und den oben benannten Unsicherheiten mit Hilfe der Formel (2.6) verwertet worden.

Diese Messung auf der Luftkissenbahn zur Validierung ist mit der Fallmasse von 10,2 g zehnmal durchgeführt worden. Eine zusammenfassende Graphik der gleichzeitig aufgezeichneten Messungen von Cassy und *phyphox* stellt die Abbildung 5.8 dar. In dieser Abbildung ist zur weiteren Validierung die theoretisch erwartete Beschleunigung eingezeichnet. Um diese zu bestimmen, wird ein Kräftegleichgewicht betrachtet. Die Gewichtskraft der Fallmasse sorgt für eine Beschleunigung des Wagens (mit Smartphone) und eben der Fallmasse:

$$m_{ges} \cdot a_{theo} = m_{Fallmasse} \cdot g.$$

Hierbei besteht die Gesamtmasse aus der Masse des gesamten Wagens ( $m_{Wagen} = (335 \pm 1)$  g), inklusive der Massenstücke für die erhöhte Position des Smartphones, der Masse des Smartphones ( $m_{Smartphone} = (180 \pm 1)$  g) und der Fallmasse ( $m_{Fallmasse,1} = (10,2 \pm 0,1)$  g,  $m_{Fallmasse,2} = (15,2 \pm 0,1)$  g). Die Erdbeschleunigung ist mit dem Literaturwert von  $g = (9,81 \pm 0,01) \frac{m}{s^2}$  angenommen worden. Über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung kann auf den theoretischen Wert für die Beschleunigung  $a_{theo}$  eine Unsicherheit berechnet werden, in welche die Ungenauigkeiten der Massen (mit verschiedenen Waagen bestimmt) einfließen.

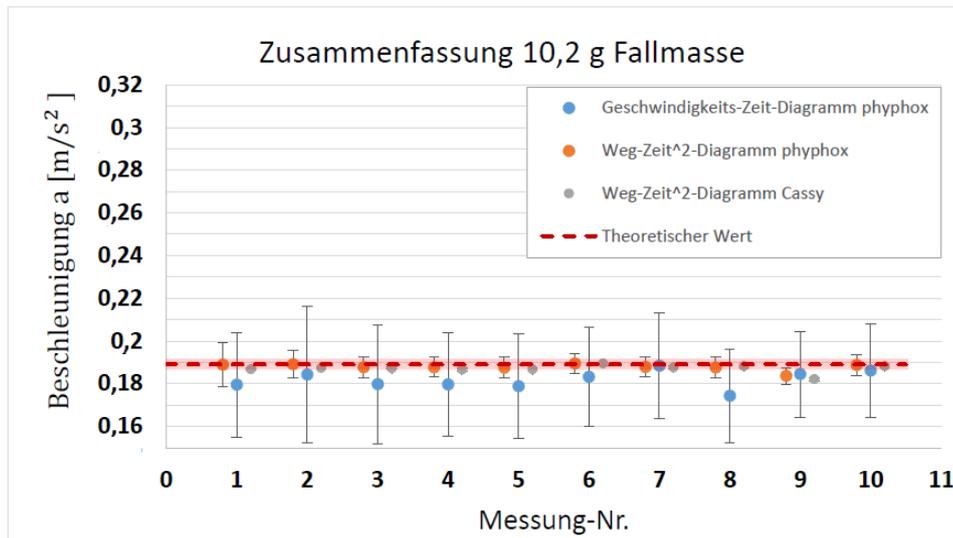
$$\Delta a_{theo} = \sqrt{\left(\frac{m_{Fallmasse}}{m_{ges}} \cdot \Delta g\right)^2 + \left(\frac{1}{m_{ges}} \cdot g \cdot \Delta m_{Fallmasse}\right)^2 + \left(\frac{m_{Fallmasse}}{m_{ges}^2} \cdot g \cdot \Delta m_{ges}\right)^2}$$

Der Fehler auf die Gesamtmasse  $m_{ges}$  ergibt sich durch eine Gaußsche Fehlerfortpflanzung auf die Summe der Massen. Die konkreten Werte zum Vergleich sind in der Tabelle 5.2 im Abschnitt 5.2.2 aufgeführt. Für die Messdaten von *phyphox* sind, wie zuvor beschrieben, zwei verschiedene Verfahren zur Auswertung verwendet worden. Hierbei sind für die Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramme elf Messdaten und für die Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme in seltenen Fällen nur neun von zehn möglichen Messpunkten verwendet worden.

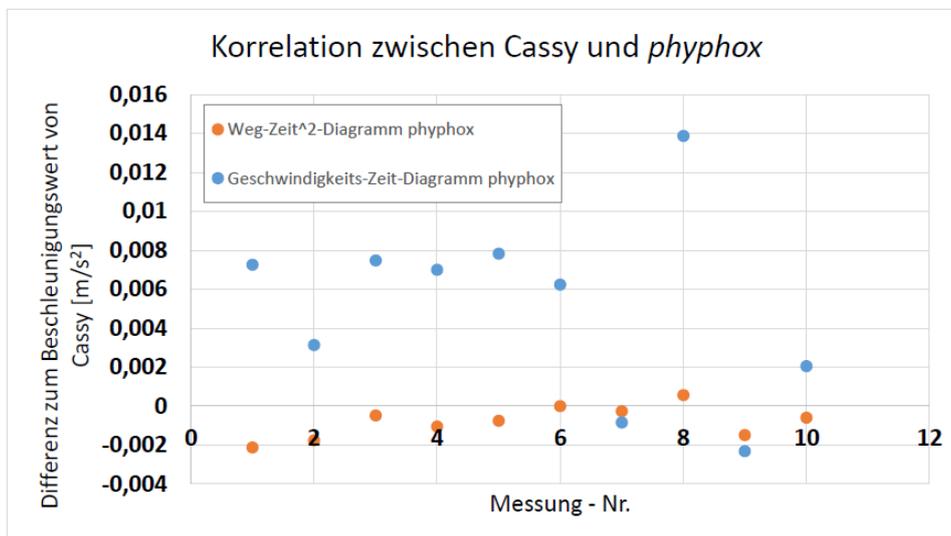
Um eine mögliche Korrelation zwischen den Messdaten von *phyphox* und Cassy zu analysieren, werden in Abbildung 5.9 die Beschleunigungswerte, die mit *phyphox* ermittelt worden sind, relativ zu denen von Cassy betrachtet. In dieser Abbildung wird auf die Angabe von Fehlerbalken verzichtet, da diese nach obiger Betrachtung der Unsicherheiten für die Differenz überdimensioniert wären und daher nicht sinnvoll sind. Aus der Abbildung 5.9 lässt sich eine Korrelation zwischen den *phyphox*- und Cassy-Daten erkennen. Die Beschleunigungswerte von *phyphox*, die aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm ermittelt worden sind, liegen sehr nah an den Cassy-Werten für die Beschleunigung. Auch der etwas niedriger

## 5 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung auf der Luftkissenbahn

gelegene Wert in der neunten Messung von Cassy (vgl. Abbildung 5.8) wird von *phyphox* gleich abgebildet.



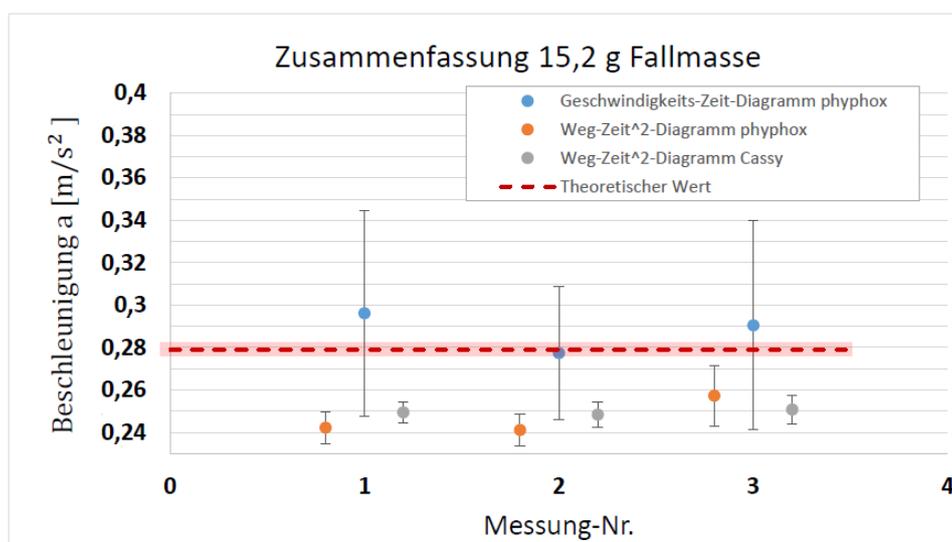
**Abbildung 5.8:** Zusammenfassung der zehn Messungen auf der Luftkissenbahn mit einer Fallmasse von 10,2 g. Aufgetragen sind die ermittelten Beschleunigungswerte, die aus dem Geschwindigkeits-Zeit (blau) und Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der *phyphox*-Daten (orange) bestimmt worden sind. Zudem sind die Daten aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der Cassy-Daten (grau) und der Theoriewert mit Unsicherheit (rot) aufgeführt.



**Abbildung 5.9:** Korrelation zwischen Cassy- und *phyphox*-Daten. Aufgetragen ist die Differenz der Cassy- und *phyphox*-Daten für die einzelnen Messungen bei einer Fallmasse von 10,2 g. Man erkennt, dass die Beschleunigungswerte von *phyphox*, die aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm gewonnen wurden (orange), mit den Cassy-Daten sehr stark korrelieren. Dagegen weisen die Beschleunigungswerte von *phyphox* aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm (blau) eine größere Abweichung zu den mit Cassy ermittelten Daten auf.

Um die Abhängigkeit der Güte der Messergebnisse von der Fallmasse zu untersuchen,

ist zudem mit einer Fallmasse von 15,2 g eine Versuchsreihe mit drei Einzelmessungen durchgeführt worden. Abbildung 5.10 zeigt die Ergebnisse für die größere Fallmasse. Die Durchführung und Auswertung erfolgte dabei analog zu den vorher beschriebenen Messungen. In lediglich einem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ist auf nur neun von zehn Messpunkten zurückgegriffen worden.



**Abbildung 5.10:** Zusammenfassung der drei Messungen auf der Luftkissenbahn mit einer Fallmasse von 15,2 g. Aufgetragen sind die ermittelten Beschleunigungswerte, die aus dem Geschwindigkeits-Zeit (blau) und Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der *phyphox*-Daten (orange) bestimmt worden sind. Zudem sind die Daten aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der *Cassy*-Daten (grau) und der Theoriewert mit Unsicherheit (rot) aufgeführt.

Wie man in den Abbildungen 5.8 und 5.10 jeweils erkennen kann, überschneiden sich die Fehlerbalken der mit *phyphox* ermittelten Daten mit denen der *Cassy*-Daten. Zudem wird der theoretisch erwartete Wert für die kleinere Fallmasse von fast allen experimentell bestimmten Werten im Rahmen der Unsicherheit getroffen. Für die größere Fallmasse sind größere Abweichungen zu verzeichnen. Hierbei wird der Theoriewert lediglich von dem Beschleunigungswert aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm getroffen, wobei die großen Unsicherheitsbereiche beachtet werden müssen. Es kann insgesamt jedoch eine gute Übereinstimmung und Reproduzierbarkeit der Werte für die Beschleunigung durch *phyphox* festgestellt werden.

### 5.2.2 Diskussion der Messergebnisse

Die Messergebnisse von *phyphox* in den Abbildungen 5.8 und 5.10 zeigen, dass die zehn bzw. drei Messungen mit der jeweiligen Methode in ihren Unsicherheitsintervallen über-

einstimmen. Damit kann man mit dem Smartphone-Experiment und diesen zwei Auswertungsmethoden reliable Ergebnisse erreichen, was eine Anwendung für den Unterricht rechtfertigt. Des Weiteren wird durch den Vergleich mit den Cassy-Daten gezeigt, dass die mit *phyphox* erzielten Messergebnisse durch ein zweites Datenerfassungssystem bestätigt werden konnten, sofern man die Cassy-Daten als valide annimmt. Darüber hinaus konnte durch die Abbildung 5.9 festgehalten werden, dass die *phyphox*-Daten sehr genau den Cassy-Daten folgen, wenn man die Messwerte aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm betrachtet. Dies wird besonders anhand der neunten Messung deutlich (vgl. Abbildung 5.8, in der ein vergleichsweise niedriger Wert für die Beschleunigung mit Cassy ermittelt worden ist. Diese Tendenz wird ebenso durch die *phyphox*-Daten abgebildet. Ursache für eine solche Abnahme können sich ändernde äußere Parameter (z.B. Luftbewegung verursacht durch geöffnetes Fenster oder Personen) sein, welche nun beide Systemen gleichermaßen beeinflusst. Somit sind die mit der App erlangten Resultate nicht nur wiederholbar, sondern auch überprüfbar. Die Abbildungen zeigen ebenso, dass die Fehlerbalken der Messwerte aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm größer sind als die Ergebnisse aus dem Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm. Dies lässt sich damit erklären, dass die Zeit-Daten direkt und mit einer geringen Unsicherheit von der App *phyphox* gemessen werden, wohingegen die Geschwindigkeiten aus diesen Daten berechnet werden, sodass sich die Unsicherheiten fortpflanzen

Berechnet man den Mittelwert über alle Messungen, so ergeben sich die in der Tabelle 5.2 dargestellten Werte. Die Unsicherheiten auf die Mittelwerte sind mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung<sup>4</sup> berechnet worden. Zudem ist die Standardabweichung angegeben, um eine statistische Betrachtung der Schwankungen in den einzelnen Messdaten vorzunehmen, welche durch eine Gaußsche Fehlerfortpflanzung nicht adäquat abgebildet werden, da bei einer Vielzahl an Messungen der Gesamtfehler auf den Mittelwert abnimmt.

Die Daten in Tabelle 5.2 zeigen, dass für die kleinere Fallmasse der Theoriewert im Bereich der Unsicherheitsintervalle aller drei Beschleunigungswerte (Mittelwerte) liegt. Für die größere Fallmasse wird der Theoriewert nur im Rahmen der Unsicherheiten des Beschleunigungswertes aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm getroffen. Mögliche Ursachen der Abweichungen können durch die größeren Geschwindigkeiten bedingten vergrößerten Reibungskräfte sein. Zusätzliche systematische Fehler könnten auf Grund der eingesetzten Messtechnik aufgetreten sein. Diese konnten jedoch leider nicht quantifiziert werden.

---

4 Auf den Mittelwert  $\bar{x}$  von  $n$  Datenpunkten mit den jeweiligen Unsicherheiten  $\Delta_i$ ,  $1 \leq i \leq n$  gilt für diese Fehlerfortpflanzung:  $\Delta\bar{x} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$

**Tabelle 5.2:** Zusammenfassende Darstellung der Mittelwerte der Messdaten zum Experiment auf der Luftkissenbahn für die verwendeten Fallmassen von 10,2 g und 15,2 g. Zudem sind nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung ermittelte Unsicherheiten sowie die Standardabweichung jeweils als Absolut- und Relativwert angegeben. Die letzte Zeile umfasst den theoretisch erwarteten Beschleunigungswert, dessen Unsicherheit ebenfalls durch eine Gaußsche Fehlerfortpflanzung bestimmt worden ist.

Fallmasse von 10,2 g				Fallmasse von 15,2 g			
	Beschleunigung $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	Unsicherheit $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	Standardabweichung $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$		Beschleunigung $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	Unsicherheit $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	Standardabweichung $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$
	In Klammern relative Unsicherheit [%]				In Klammern relative Unsicherheit [%]		
phyphox, t-v-Diagramm	0,188	0,008 (5)	0,004 (2,2)	phyphox, t-v-Diagramm	0,286	0,025 (9)	0,008 (2,7)
phyphox, t <sup>2</sup> -s-Diagramm	0,1878	0,0019 (1,0)	0,0016 (0,8)	phyphox, t <sup>2</sup> -s-Diagramm	0,247	0,006 (2,4)	0,008 (3,0)
Cassy, t <sup>2</sup> -s-Diagramm	0,18701	0,00022 (0,12)	0,0019 (1,0)	Cassy, t <sup>2</sup> -s-Diagramm	0,250	0,004 (1,4)	0,001 (0,4)
Theoretischer Wert	0,189	0,002 (1,1)	-	Theoretischer Wert	0,279	0,003 (1,1)	-

Letztlich kann eine reliable und überprüfbare Messung der Beschleunigung mit der App *phyphox* an dieser Stelle festgehalten werden.

### 5.3 Zusammenfassung und Konsequenzen für den Einsatz

Das Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn ist mit seinen Inhalten in die Einführungsphase in den Bereich der Mechanik einzuordnen und greift den Alltagsgegenstand „Smartphone“ für SuS in einem physikalischen Kontext auf.

Der Versuch ist mit einem geringen Zeitaufwand aufzubauen und schnell durchzuführen. Die zeitintensivste Vorbereitungsmaßnahme liegt in der Anfertigung der Magnet-Holzleiste. Vorteilhaft ist, dass diese Holzleiste für weitere Versuche auf der Luftkissenbahn wie auch außerhalb dieser Bahn eingesetzt werden kann. Die Kosten für die Magnethalterung liegen mit ca. 8,10 € (5 € Holzleiste + 3,10 € für 10 Scheibenmagnete) in einem vertretbaren Rahmen. Der Einsatz einer magnetisierbaren Stativstange zur Befestigung der Magnete (s. Fall-Versuch, Kapitel 6) ist nicht möglich, da die Signale der kleinen Scheibenmagnete nicht gut genug von dem „Hintergrundmagnetfeld“ der magnetisierten Stativstange unterschieden werden können. Die starken Quadermagnete (s. Fall-Versuch, Kapitel 6) haben keine zufriedenstellende Ergebnisse auf der Luftkissenbahn geliefert. Neben der Luftkissenbahn wird ein Smartphone benötigt, auf welchem die kostenlose App *phyphox* installiert ist. Für Schulen bietet es sich an, ein Smartphone für die (Physik-)Sammlung anzuschaffen. Einerseits steht damit ein funktionierendes Gerät zur Verfügung und andererseits hat die

Lehrkraft die Möglichkeit, sich mit dem Smartphone, der App und dem Versuch im Vorhinein vertraut zu machen. Folgender Punkt sollte zusätzlich in der Durchführung Beachtung finden: Viele Luftkissenbahnen verfügen über eine Magnethalterung, die den Wagen bis zum Auslösen an der Startposition hält. Es kann zu verfälschten Messwerten kommen, wenn das Magnetfeld dieser Halterung so stark ist, dass es die Signalstärke des ersten Magneten überlagert. Es kommt damit zu Messdaten, die nicht mehr die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung aufzeigen.

Natürlich kann der Versuch auch vollkommen ohne Smartphone mit den bereits vom Hersteller angebotenen Modulen (LD Didactic: Kombi-Speichenrad + Cassy-Modul) einfach und schnell durchgeführt werden. Neben den hohen Anschaffungskosten des Cassy-Moduls und der benötigten Software Cassy Lab 2 spricht ebenso die Möglichkeit, vorhandene alltägliche Gegenstände der SuS in den Physikunterricht einzubeziehen, für das Smartphone-Experiment. Durch die leichte Bedienung der App *phyphox* und ihre vielfältigen Funktionen können die Messdaten von Demonstrationsexperimenten live über den Beamer präsentiert werden. Zudem spricht die Anschlussfähigkeit von Schülerexperimenten mit *phyphox* an das Demonstrationsexperiment für den Einsatz des Smartphones. Im Gegensatz dazu kann eine Schule selten eine Vielzahl an Cassy-Modulen für Schülerexperimente zur Verfügung stellen.

Mit diesem Versuch untersuchen die SuS die Größen Weg und Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit im Kontext der gleichmäßig beschleunigten Bewegung und lernen das Smartphone als Datenerfassungssystem sowie die vorgestellte Methode „Magnet-Lineal“ kennen. Die Testversuche haben gezeigt, dass die mit *phyphox* erzielten Messergebnisse sowohl wiederholbar wie auch überprüfbar sind, sodass eine quantitative Auswertung ebenfalls in einem Lernziel formuliert werden kann.

Diese gesamten Aspekte zum Versuch auf der Luftkissenbahn sind in einer Lehrerhandreichung zusammengefasst worden, welche die Lehrkraft bei der eigenen Versuchsvorbereitung und Durchführung unterstützen soll (siehe Anhang A.2.3).

Die zukünftige Weiterentwicklung dieses Versuches kann an einer didaktischen Erprobung des Aufbaues ansetzen. Hierzu könnten beispielsweise Lehrkräfte oder Lehramtsstudierende mit der Lehrerhandreichung den Versuch eigenständig durchführen und Messdaten aufnehmen. Anschließend kann der Aufbau, die Durchführung sowie das beigefügte Material evaluiert werden, um Erfahrungen in der Handhabung des Versuchs verschiedener Personen zu gewinnen.

Neben dem grundsätzlich motivierenden Effekt von Versuchen kann der Einsatz von Smartphones als Messwerterfassungssystem auch zu einem physikalischen Interesse im Alltag beitragen, wenn die SuS nun mit ihrem eigenen „Messsystem“ Daten aufnehmen und verarbeiten können.

# 6 Freier Fall - Bestimmung der Erdbeschleunigung

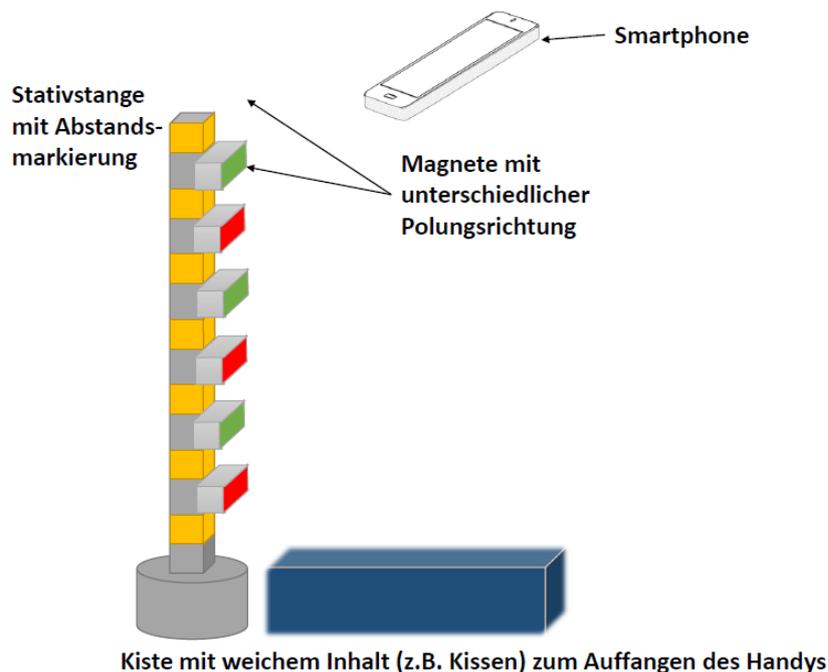
Aufbauend auf der Methode „Magnet-Lineal“ mit der App *phyphox* auf der Luftkissenbahn ist ein zweiter Versuch konzipiert worden. In diesem soll der freie Fall als Anwendung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung zur Bestimmung der Erdbeschleunigung dienen. Das Kapitel beginnt mit der Beschreibung und Erklärung des Aufbaus und der Durchführung. Da dieser Versuch im Gegensatz zum vorab vorgestellten Experiment auf der Luftkissenbahn als Schülerversuch konzipiert wurde, folgen anschließend Erläuterung der erstellten Arbeitsaufträge für die Schülerinnen und Schüler. Im Abschnitt 6.2 werden die Messergebnisse aus den ersten Testversuchen präsentiert und diskutiert, wodurch eine Verwendbarkeit des Versuches zur Bestimmung der Erdbeschleunigung begründet wird. Zudem ist der Versuch im Rahmen eines Praktikums von Lehramtsstudierenden erprobt und diskutiert worden. Die Ergebnisse dieser didaktischen Erprobung sollen Aufschluss auf den konkreten Einsatz im Physikunterricht geben. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer zusammenfassenden Darstellung der Erkenntnisse für den Schulgebrauch, welche in einer Lehrerhandreichung zur Unterstützung der Lehrkraft eingeflossen sind.

## 6.1 Entwicklung des Experiments

### 6.1.1 Aufbau und Durchführung

Dieser Versuch soll von SuS selbstständig durchgeführt und ggf. auch aufgebaut werden können. Daher ist auf häufig verfügbare Materialien im Aufbau geachtet worden. In Abbildung 6.1 ist der Aufbau schematisch und im Anhang A.1.5 in der realen Darstellung gezeigt. An einer 1,30 m hohen Stativstange werden im Abstand von 20 cm Markierungen für die Magnete angebracht. Diese 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 der Internetfirma [supermagnete.de](http://supermagnete.de) verwendet worden) fixiert (s. Anhang A.1.4). Die Magnete haften gut an der Stativstange, da sie aus ferromagnetischem Material besteht. Im Gegensatz zum Luftkissenbahn-Versuch müssen diese größeren 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 vorhanden Stativstange verwendet werden, da sich die Magnetsignale deutlich von der Magnetfeldstärke der magnetisierten Stange abheben. Dies war bei den kleinen schwächeren Scheibenmagneten nicht der Fall, weshalb für den Luftkissenbahn-Versuch auf eine Holzleiste zurückgegriffen worden ist. Beim Anbringen der Magnete muss auf eine sich abwechselnde Polungsrichtung geachtet werden, die das spätere Auswerten deutlich erleichtert. Diese Auswertung kann aufgrund der hohen Geschwindigkeiten nicht von *phyphox* selbst (Werkzeug *Magnet-Lineal*) durchgeführt werden, sodass jede mögliche Vereinfachung für die eigene Auswertung genutzt werden soll.



**Abbildung 6.1:** Schematischer Aufbau des Smartphones-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 weichen Innenleben (Kissen, Jacke oder Pullover) unterhalb des später fallenden Smartphones platziert worden.

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 Probedurchläufen hat sich ein Karton mit den Maßen Länge/Breite/Höhe: 36,5 cm/29,5 cm/17,5 cm bewährt. In diesem befindet sich ein ca. 8 cm hohes Kissen. 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 verwendeten Magnete weisen eine Haftkraft von ca. 37,3 N auf (vgl. [Supermagnete.de 2011b]), welche benötigt wurde, um ein ausreichend starkes Signal für das vorbeifallende Smartphone si-

cherzustellen. Die für die Luftkissenbahn benutzten Scheibenmagneten konnten ein solches Signal nicht gewährleisten und haben sich daher nicht zur Verwendung im Fall-Versuch geeignet.

Die Durchführung des Versuchs erfordert nach dem Aufbau nur einen geringen Zeitaufwand. Die genaue Beschreibung der Handlungsschritte in *phyphox* findet sich erneut in einer separaten Anleitung im Anhang A.2.1. In der App wird ein eigenes Experiment definiert, in dem die höchste Genauigkeit des Magnetfeldsensors ausgewählt wird. Anschließend kann optional ein Fernzugriff zu einem Computer eingerichtet werden. Das Smartphone wird mit dem Bildschirm nach oben, mit der langen Kante senkrecht 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. Nachdem die Messung (im eigens definierten Experiment) gestartet worden ist, wird das Smartphone losgelassen, wobei es möglichst waagrecht zum Boden hin fallen 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.

### 6.1.2 Arbeitsblatt für Schülerinnen und Schüler

Zum Smartphone-Experiment des freien Falls sind ebenfalls Arbeitsblätter erstellt worden, welche sich im Anhang A.2.4 befinden. Diese sollen die SuS durch den Versuch und die anschließende Auswertung führen sowie einen Bezug der Physik zu bekannten lebensnahen Situationen schaffen. Wie auch das Arbeitsblatt zur Luftkissenbahn ist das entwickelte Layout der Arbeitsblätter zu *phyphox* verwendet worden. Im Groben lässt sich der Aufbau der Arbeitsblätter in drei didaktische Segmente einteilen, die jeweils einen anderen methodischen Schwerpunkt darstellen (vgl. [Kircher et al. 2015], S. 217).

Der erste Abschnitt, der die Versuchs- und Materialbeschreibung beinhaltet, dient der „inhaltlichen Orientierung“ ([Kircher et al. 2015], S. 217) und soll den Bezug zwischen Alltag und Versuch sowie zwischen theoretischen Überlegungen und ihrer praktischen Umsetzung im Versuch herstellen. Damit stellt die erste Seite der erstellten Arbeitsblätter eine Art des informierenden Arbeitsblattes (vgl. [Kircher et al. 2015], S. 217) dar. Dabei wird der Kontext der Achterbahn Colossos aus dem Heide Park Soltau gewählt, um einen „Anreiz zur Beschäftigung“ ([Martial & Ladenthin 2002], S. 165) zu geben. Hierzu gibt es eine Abbildung<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> Die Erlaubnis zur Verwendung der Abbildungen durch das Heide Park Resort befindet sich im Anhang A.1.6

die die Achterbahn mit einem Hinweisschild zur maximalen Beschleunigung während der Fahrt darstellt. Damit wird einerseits eine motivierende Funktion (vgl. [Ballstaedt 1997], S. 200ff.) und andererseits ein ansprechendes Erscheinungsbild für den Lernenden geschaffen (vgl. [Meyer 2005], S. 309). Ebenso soll durch eine kurze Erklärung des verwendeten Sensors sowie eine kurze Wiederholung der Methode „Magnet-Lineal“ eine gewisse Transparenz geschaffen werden, die den SuS ein größeres Verständnis des Messsystems „Smartphone“ verschafft. Zudem wird durch einen Warnhinweis auf einen sensiblen Umgang mit dem Smartphone im Fall-Versuch hingewiesen. Abgeschlossen wird die erste Orientierung zu diesem Versuch durch den Bezug zur vorliegenden physikalischen Begebenheit, indem die SuS die benötigten Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung erläutern. Die Aufgaben zur Versuchsdurchführung dienen der „Steuerung des Arbeitsablaufs“, wobei zunächst durch einen Informationskasten die verwendeten Icons zu den Aufgabenstellungen erklärt werden ([Kircher et al. 2015], S. 217). Diese sollen für einen erkennbaren Aufgabencharakter (vgl. [Martial & Ladenthin 2002], S. 165) und bildlich einprägsame Aufträge sorgen, sodass die SuS im Vorhinein wissen, auf welche Details und Handlungen sie in der Beschreibung der Aufgabe besonders achten müssen. Mit den bereitgestellten Materialien sollen die SuS zunächst den Aufbau eigenständig realisieren. Hierbei stehen ihnen gewisse Freiheiten in der genauen Fixierung (Anzahl, Abstand) der Magnete zu, wodurch eine gewünschte Selbstständigkeit und das Finden eigener Lösungswege gefördert wird (vgl. [Meyer 2005], S. 309). Das genaue Vorgehen beim freien Fall mit der App *phyphox* wird intensiver angeleitet, um eine spätere Auswertung für die Versuchsgruppen zu vereinheitlichen und möglichen Problemen in der Auswertung vorzubeugen. Den Abschluss der Durchführung bildet das Sichern der Messdaten auf dem PC. Hierbei sei angemerkt, dass das Arbeitsblatt für eine Auswertung mit einem PC konzipiert worden ist. Eine vorgefertigte Excel-Tabelle soll die Bestimmung der Weg-Zeit-Daten aus den Magnetfeld-Zeit-Daten unterstützen (die Excel-Tabelle „Bestimmung der Erdbeschleunigung“ befindet sich auf der Daten-CD).

Das dritte didaktische Segment der Arbeitsaufträge stellt Hilfen und Vorgehensweisen bei der Auswertung bereit. Die aus der Excel-Tabelle gewonnenen Weg-Zeit-Daten werden nun weiter bearbeitet, um Rückschlüsse auf die Fallbeschleunigung zu gewinnen. Bei den Aufgabenstellungen ist auf eine Operationalisierung der Aufgaben geachtet worden, um eine eindeutige sprachliche Ausdrucksweise zu gewährleisten (vgl. [Martial & Ladenthin 2002], S. 182). Ebenso wurde jeder Auftrag in möglichst kurzen und prägnanten Sätzen formuliert, damit der „sprachliche Umgang mit dem Lerngegenstand“ als mögliche Hürde für die SuS vermieden wird ([Martial & Ladenthin 2002], S. 182). Zum Schluss soll der zu Beginn der Arbeitsblätter erwähnte Kontext der Achterbahn Colossos erneut aufgegriffen werden, indem die Beschleunigung, die ein Nutzer auf dieser Fahrattraktion erfährt, aus der durch das Experiment gewonnenen Erdbeschleunigung berechnet wird. Ergänzt wird dieser All-

tagsbezug, indem die SuS recherchieren, welche Auswirkungen solch eine Beschleunigung auf ihren Körper haben kann. Damit wird eine Vertiefung der physikalischen Erkenntnisse sowie ein „erstes Problembewusstsein“ geschaffen ([Meyer 2005], S. 308). Abgerundet wird das konzipierte Material mit einer weiteren Abbildung der Achterbahn, die den zu Ende gegangenen Versuch symbolisch untermalen und einen ästhetischen Aspekt erfüllen soll (vgl. [Meyer 2005], S. 309).

Um der Forderung der „Integration aller Niveauebenen des Lernens“ nachzukommen, ist eine weiterführende Aufgabe erstellt worden ([Martial & Ladenthin 2002], S. 165). Diese Aufgabe dient dazu, eine weitere Methode der Auswertung der gewonnenen Weg-Zeit-Daten kennen zu lernen, indem die SuS die nicht alltägliche Größe der quadrierten Zeit verwenden. Ebenso kann durch solch eine zusätzliche Aufgabe eine Differenzierung erreicht werden, wenn z.B. die „schnelleren“ oder begabten SuS sich mit dieser Aufgabe auseinandersetzen.

## 6.2 Erprobung im Labor

### 6.2.1 Messergebnisse

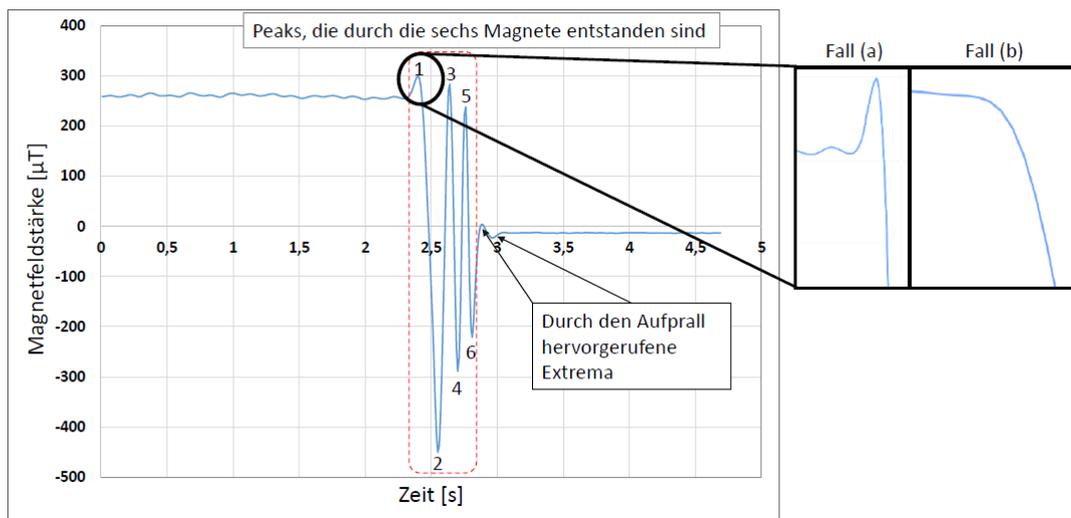
Die Auswertung der Messdaten erfolgte sowohl in den Probeversuchen wie auch in der didaktischen Erprobung mittels eines Laptops und geeigneter Software (z.B. Excel). Alternativ besteht die Möglichkeit, die Messdaten direkt auf dem Smartphone auszuwerten. Dies wird am Ende des Abschnitts kurz diskutiert und erläutert. Zur Bestimmung der Reliabilität und Validität der gemessenen Daten ist der Versuch nach der Beschreibung in Kapitel 6.1.1 aufgebaut und insgesamt 27-mal durchgeführt worden. Zur Verifizierung der Messdaten wird der Literaturwert von  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  hinzugezogen. Analog zum Luftkissenbahn-Versuch (Kapitel 5) wird die Auswertung an einer Beispielmessung erläutert. Die Gesamtheit der Messdaten ist auf der beigefügten Daten-CD im Unterordner *Messdaten zu den Versuchen* zu finden.

Der Beispieldatensatz ist in Abbildung 6.2 aufgetragen, wobei die vom Magnetfeldsensor des Smartphones gemessene Magnetfeldstärke als Funktion der Versuchszeit dargestellt ist<sup>2</sup>. Es ist zu erkennen, dass das Smartphone zu Beginn auf Höhe des ersten Magneten bzw. leicht darüber gehalten worden ist. Dadurch liegt vor dem Fall durchweg eine magnetische

---

2 An dieser Stelle sei erneut 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. In dieser Arbeit sowie den erstellten Materialien 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.

Flussdichte von ca.  $B_0 = 260 \mu\text{T}$  vor. Wird das Smartphone losgelassen, so bildet sich der erste Peak aus, der sich hierbei als Maximum darstellt, da das Smartphone anscheinend leicht oberhalb des ersten Magneten befand. In Abbildung 6.2 (2) ist zu sehen, dass bei genauer Positionierung auf Höhe des Magneten eine kontinuierliche Abnahme zu Beginn der Fallbewegung beobachtet werden kann. Der erste Zeitpunkt ist so zu wählen, dass er die erste größere Änderung des Magnetfeldes angibt, da sich ab diesem Zeitpunkt das Smartphone in der Fallbewegung befindet.



**Abbildung 6.2:** 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 zwei zusätzliche Extrema zu sehen. Der erste Peak kann verschieden aussehen. Dies liegt daran, wie genau das Smartphone auf Höhe des ersten Magneten gehalten wird. Für den Fall, dass das Smartphone nicht exakt auf dem Magneten liegt ergibt sich ein klarer Peak (1). Andernfalls ist eine kontinuierliche Abnahme der Magnetfeldstärke zu erkennen (2).

Bei diesem Experiment hat das Werkzeug *Magnet-Lineal* in *phyphox* keine zufriedenstellenden Ergebnisse geliefert. Vermutlich lässt sich dies mit den sehr dicht liegenden Peaks erklären, die durch das schnell fallende Smartphone zustande gekommen sind. Deshalb muss die Auswertung „per Hand“ durchgeführt worden. Zur Unterstützung der SuS bei diesem Auswertungsschritt ist eine Excel-Tabelle erstellt worden.

Aus den Magnetfeld-Daten werden die in Tabelle 6.1 aufgeführten Peakpositionen gewonnen, die jeweils der zurückgelegten Strecke zugeordnet werden. Ebenso ist in Tabelle 6.1 die relativ zum ersten Peak-Zeitpunkt zurückgelegte Zeit aufgeführt, um einen Bewegungsablauf beginnend beim Zeitpunkt 0 s zu erhalten. Die angegebenen Messunsicherheiten sind bei den Zeiten erneut mit dem Abstand zweier vom Magnetfeldsensor registrierter Daten von  $\Delta t = 0,01 \text{ s}$  angenommen worden. Eine Ausnahme bildet hierbei der erste Zeitpunkt, da bei der Positionsbestimmung ein gewisser Spielraum existiert. Daher ist für

diesen Zeitpunkt eine Unsicherheit von  $\Delta t_0 = 0,02$  s angesetzt worden. Die Wegstrecke ist mit einer Ungenauigkeit von  $\Delta s = 5$  mm versehen worden. In diesem Wert sind erneut zwei angenommene Unsicherheiten bezüglich der Wegstrecke eingeflossen. Zum einen ist die Platzierung der Magnete mit einer Ungenauigkeit von 3 mm abgeschätzt worden, da die Markierung der Position für die Quadermagnete sowie die Anbringung der Magnete selbst gewissen Abweichungen unterworfen sind. Zum anderen ist aufgrund der größeren Oberfläche der verwendeten Quadermagnete eine mögliche Diskrepanz der im Datenblatt (vgl. [Supermagnete.de 2011b]) angegebenen Magnetisierungsrichtung durch einen Abweichungswinkel von  $3^\circ$  berücksichtigt worden, da die Magnete nicht für experimentelle Zwecke konzipiert worden sind. Bei einem Abstand von 3 mm führt dieser Winkel zu einer horizontalen Aufspaltung von ca. 2 mm.

**Tabelle 6.1:** Messdaten einer Beispielmessung zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. Dargestellt sind die gemessenen Zeitpunkte der einzelnen Maxima im Magnetfeld sowie ihre Zuordnung zu den definierten Wegstrecken des Falls. Zudem sind bezüglich des ersten Zeitpunkts (Strecke von 0 m) berechnete relative Zeiten aufgeführt. Die Unsicherheiten haben sich aus abgeschätzten Genauigkeiten im Versuchsaufbau und der Genauigkeit der verwendeten App *phypbox* ergeben.

	Zeitpunkt eines Peaks	Relativ vergangene Zeit	Zurückgelegter Weg
Peak-Nr.	$t_{\text{absolut}}$ [s]	$t_{\text{relativ}}$ [s]	s [m]
1	$2,36 \pm 0,02$	$0,00 \pm 0,02$	$0,000 \pm 0,005$
2	$2,55 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,01$	$0,200 \pm 0,005$
3	$2,64 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,400 \pm 0,005$
4	$2,70 \pm 0,01$	$0,34 \pm 0,01$	$0,600 \pm 0,005$
5	$2,76 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,01$	$0,800 \pm 0,005$
6	$2,81 \pm 0,01$	$0,45 \pm 0,01$	$1,000 \pm 0,005$

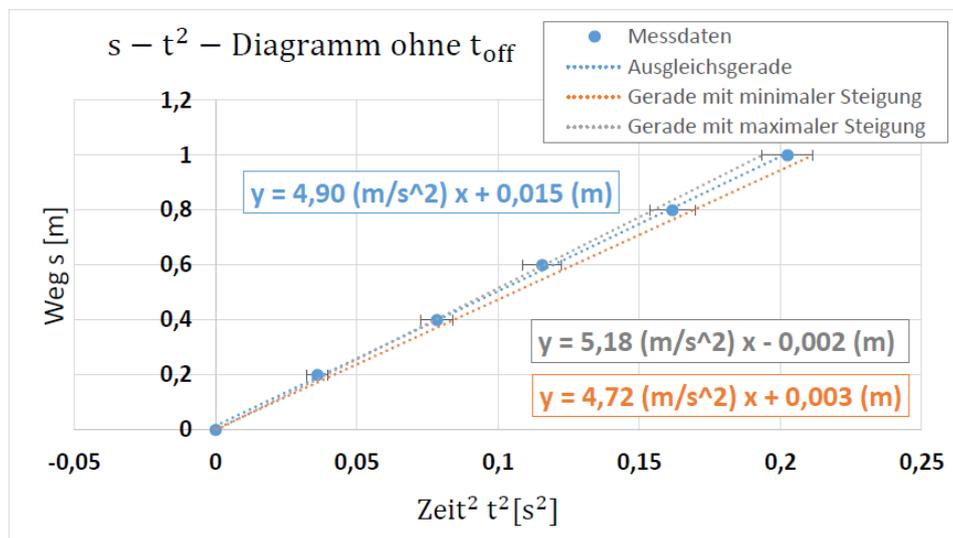
Qualitativ lässt aus den Messdaten in Tabelle 6.1 ableiten, dass die Zeiten zwischen zwei Peaks und damit auch zwischen zwei Messpunkte tendenziell sinkt.

Um den Zusammenhang genauer zu analysieren, werden analog zum Luftkissenbahn-Versuch zunächst die Weg-Daten gegen die Zeitquadrate aufgetragen. Grundlage dieser Auftragung ist die Formel (2.6). Die entsprechende Darstellung der Daten ist in Abbildung 6.3 erfolgt. Bei der Durchführung des Versuchs (s. Abschnitt 6.1.1) ist erläutert worden, dass das Smartphone auf Höhe des ersten Magneten zunächst gehalten werden soll, sodass man bei der Bewegungsgleichung eine Anfangsstrecke von  $s_0 = 0$  m und eine Anfangsgeschwindigkeit von  $v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  annehmen kann<sup>3</sup>. Fehlerbalken sowie die angenommene Unsicherheit auf die Steigung der Ausgleichsgeraden, also die Hälfte der eigentlich zu bestimmenden

<sup>3</sup> Diese Voraussetzungen können im Rahmen der Messunsicherheiten bestätigt werden, wobei man anhand der Ungenauigkeiten auch erkennen muss, dass diese Annahmen nicht exakt mit den Ergebnissen übereinstimmen.

Beschleunigung, sind kongruent zum Luftkissenbahn-Versuch ermittelt worden, wobei der erste Zeitpunkt eine Ausnahme bildet. Nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung würde der erste Zeitpunkt  $t_0 = 0$  s keine Unsicherheit erhalten. Da jedoch dieser Zeitpunkt mit der größten Ungenauigkeit festgelegt worden ist, wird zur Abschätzung eine Unsicherheit von  $\Delta t_0^2 = 2 \cdot (\Delta t_0)^2$  angenommen. Die Ausgleichsgerade ist über eine lineare Regression bestimmt worden. Da die Datenmenge als normalverteilt angenommen wird, schneidet die Ausgleichsgerade sowie die Geraden mit maximaler und minimaler Steigung nur ca. 68,3 % der Unsicherheitsintervalle der Messdaten.

Die Unsicherheitsabschätzung für den Beschleunigungswert ist nach dem gleichen Verfahren wie in Abschnitt 5.2.1 vorgenommen worden.



**Abbildung 6.3:** Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagramm der Daten von phyphox zur Beispielmessung (vgl. Tabelle 6.1). Des Weiteren sind eine Ausgleichsgerade (blau) sowie eine Gerade mit maximaler (grau) und minimaler Steigung (orange) zur Bestimmung der Beschleunigung und deren Unsicherheit eingezeichnet.

Während der ersten Testversuche, in denen nicht auf die genaue Positionierung auf Höhe des ersten Magneten geachtet worden ist, kam es in den Weg-Zeit<sup>2</sup>-Diagrammen zur Abweichung vom erwarteten linearen Verlauf. Ein mögliche Erklärung liegt in einer Zeitverschiebung des Startpunktes. Um den Einfluss einer solchen Zeitverschiebung  $t_{off}$  in den Messdaten zu untersuchen, ist zudem eine Bestimmung dieser vorgenommen worden. Ausgehend von der korrigierten Bewegungsgleichung (6.1) (vgl. Formel (2.6)) ergibt sich durch Radizieren und Umformen:

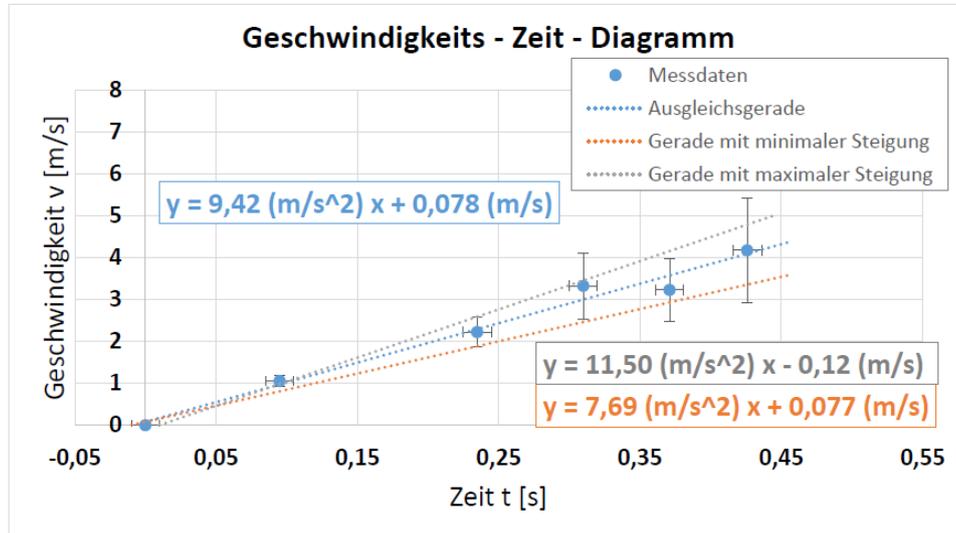
$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t - t_{off})^2 \tag{6.1}$$

$$\Rightarrow \sqrt{s(t)} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot a \cdot (t - t_{off})} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot a \cdot t} - \sqrt{\frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{off}} \quad (6.2)$$

$$\Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{s(t)} + t_{off} \quad (6.3)$$

Anhand der Gleichung (6.3) kann nun durch Auftragung der Zeit  $t$  gegen die Wurzel der Wegstrecke  $s$  die Zeitverschiebung  $t_{off}$  als  $y$ -Achsenabschnitt bestimmt werden. Dazu wird eine lineare Regression durchgeführt. Die Werte für eine solche mögliche Zeitverschiebung, welche den Excel-Tabellen auf der Daten-CD genau entnommen werden können, lagen im Bereich von Millisekunden.

Aus didaktischen Überlegungen wird zudem eine alternative Methode zur Bestimmung der Erdbeschleunigung, analog zur Luftkissenbahn, verwendet. In Abbildung 6.4 sind die berechneten Intervallgeschwindigkeiten zwischen zwei Weg-Zeit-Punkten gegen die Mitte des zugehörigen Zeitintervalls aufgetragen. Nach Formel (2.5) gibt die angelegte Ausgleichsgerade die Beschleunigung an. Nach den vorherigen Erläuterungen haben sich die Fehlerbalken und damit die Gerade mit maximaler und minimaler Steigung ergeben. Wie im Abschnitt 5.2 erklärt, weisen die abgeleiteten Geschwindigkeits-Daten deutlich größere Unsicherheiten auf.



**Abbildung 6.4:** Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von phyphox zur Beispielmessung (vgl. Tabelle 6.1). Des Weiteren sind eine Ausgleichsgerade (blau) sowie eine Gerade mit maximaler (grau) und minimaler Steigung (orange) zur Bestimmung der Beschleunigung und deren Unsicherheit eingezeichnet.

In den Abbildungen A.1.7 und A.1.8 im Anhang sind alle Messungen mit ihren jeweiligen Messergebnissen aus den Auswertemethoden dargestellt. Anhand der Abbildungen erkennt man zunächst, dass alle Messungen in ihren verschiedenen Methoden der Auswertung den

Literaturwert der Erdbeschleunigung im Unsicherheitsintervall treffen. Wenige Messungen weisen eine große Diskrepanz zum erwarteten Wert von  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  auf, wengleich auch der Unsicherheitsbereich diesen Wert jeweils knapp schneidet.

Alternativ zur Auswertung mittels Excel auf einem PC kann auch ein Smartphone mit geeigneter App (z.B. *Excel*) zur Auswertung analog zum oben beschriebenen Vorgehen auf dem PC, jedoch mit größerem Aufwand, verwendet werden. Dazu sind die Peaks am Smartphone-Bildschirm auszuwerten, damit die Weg-Zeit-Daten erstellt werden können. Der Programmierer der *phyphox*-App sieht ebenso zukünftig die Möglichkeit des Zoomens innerhalb der Graphen von *phyphox* vor, was wiederum eine Erleichterung der Auswertung auf dem Smartphone mit sich bringen würde. Die Graphen könnten auch analog auf dem Papier erstellt werden, wodurch insgesamt ein zusätzlicher PC nicht mehr notwendig ist.

### 6.2.2 Diskussion der Messergebnisse

Die Abbildungen im Anhang A.1.7 und A.1.8 zeigen, dass die mit *phyphox* erzielten Messergebnisse mit den jeweiligen Unsicherheitsintervallen den Literaturwert der Erdbeschleunigung von  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  erreichen. Diese Aussage kann für alle drei Methoden der Auswertung getroffen werden, weswegen von einem reliablen und validen Experiment gesprochen werden kann.

Der Fall-Versuch konnte nicht wie das Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn mit dem Werkzeug *Magnet-Lineal* durchgeführt werden, da dieses Werkzeug die schnell aufeinanderfolgenden Peaks im Magnetfeld nicht einzeln auslesen kann. Somit ist auf eine selbstständig durchzuführende Auswertung zurückgegriffen worden.

Die Anhänge A.1.7 und A.1.8 zeigen ebenso die Erwartung, dass die Fehlerbalken der Messwerte aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm größer sind als die anderen Fehlerbalken der beiden übrigen Auswertemethoden. Das erklärt sich aus der berechneten Größe der Geschwindigkeit, in der die von *phyphox* gemessenen Zeit-Daten mit ihren Unsicherheiten reziprok auftreten. Werden für die 27 Messungen Mittelwerte für die einzelnen Verfahren der Auswertung berechnet, so ergeben sich mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung<sup>4</sup> die in Tabelle 6.2 dargestellten Ergebnisse. Zudem ist die Standardabweichung angegeben, um eine statistische Betrachtung der Schwankungen in den einzelnen Messdaten vorzunehmen, welche durch eine Gaußsche Fehlerfortpflanzung nicht adäquat abgebil-

---

4 Auf den Mittelwert  $\bar{x}$  von  $n$  Datenpunkten mit den jeweiligen Unsicherheiten  $\Delta_i$ ,  $1 \leq i \leq n$  gilt für diese Fehlerfortpflanzung:  $\Delta\bar{x} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$

det werden, da bei einer Vielzahl an Messungen der Gesamtfehler auf den Mittelwert abnimmt.

**Tabelle 6.2:** Zusammenfassende Darstellung der Mittelwerte der Messdaten zum Experiment zur Bestimmung der Erdbeschleunigung für die verwendeten Methoden der Auswertung. Zudem sind nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung ermittelte Unsicherheiten sowie die Standardabweichung als Absolut- und Relativwert angegeben.

		<i>phyphox</i> $s - t^2$ - Diagramm ohne $t_{\text{off}}$ - Bestimmung	<i>phyphox</i> $s - t^2$ - Diagramm mit $t_{\text{off}}$ - Bestimmung	<i>phyphox</i> $v - t$ - Diagramm
Mittelwert $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$		9,74	9,63	9,7
Unsicherheit $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$	in Klammern relative Unsicherheit [%]	0,10 (1,0)	0,10 (1,0)	0,5 (5)
Standard- abweichung $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$		0,26 (2,6)	0,21 (2,2)	0,4 (4)

Die Mittelwerte weisen aufgrund der großen Anzahl an Versuchen kleine relative Unsicherheiten auf. Es ist muss jedoch vor allem bei den Messdaten aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm beachtet werden, dass eine Einzelmessung eine Unsicherheit von ca.  $2,2 \frac{m}{s^2}$  aufweist.

In der Tabelle 6.2 ist ebenso bei der Methode mit einer  $t_{\text{off}}$ -Bestimmung zu erkennen, dass das Unsicherheitsintervall leicht unterhalb des Literaturwertes liegt. Die Tendenz zu Beschleunigungswerten, die kleiner als die Erdbeschleunigung sind, ist auch bei den restlichen Mittelwerten sowie in den angehängten Abbildungen (Anhang A.1.7 und A.1.8) zu erkennen. Dies lässt sich möglicherweise damit erklären, dass das Smartphone mit einem hohen Luftwiderstand fällt, da es in der gewählten Fallposition die Bewegung mit einer großen Widerstandsfläche ausführt. Eine genaue Betrachtung dieses Effekts ist jedoch nicht untersucht worden, könnte aber in einem weiteren Versuchsvorhaben analysiert werden.

Die durchgeführte  $t_{\text{off}}$ -Bestimmung wird für SuS sehr kompliziert und wenig intuitiv sein. Es ist in den Messergebnissen zu sehen, dass sich die Ergebnisse mit und ohne Ermittlung einer Zeitverschiebung  $t_{\text{off}}$  mit ihren Unsicherheitsintervallen deckend sind und der Mittelwert sogar unterhalb des Theoriewerts liegt. Damit kann auf diese Methode guten Gewissens verzichtet werden, wodurch auch rückwirkend die Nicht-Beachtung einer Zeitverschiebung im Luftkissenbahn-Versuch begründet ist.

Zusammenfassend kann eine reliable und valide Messung der Erdbeschleunigung durch dieses Smartphone-Experiment mit der App *phyphox* vermerkt werden, sodass hierdurch ein Einsatz im Physikunterricht gerechtfertigt ist.

## 6.3 Didaktische Erprobung

### 6.3.1 Rahmenbedingungen

Das Smartphone-Experiment *Freier Fall* ist im Rahmen des physikalischen Grundpraktikums I (Kompetenzpraktikum), angesetzt im 2. Semester nach Studienverlaufsplan, für Lehramtsstudierende der RWTH Aachen University mit dem Studienfach Physik durchgeführt und erprobt worden. In diesem Kontext konnte ebenfalls das erstellte Material von insgesamt neun Versuchsgruppen bestehend aus jeweils zwei Studierenden bzw. in einem Einzelfall aus einem Studierenden getestet und diskutiert werden. Dabei standen den ersten drei Versuchsgruppen ca. 20 min, allen weiteren an den nächsten Versuchstagen ca. 30 min für die Versuchsdurchführung und Anfänge der Auswertung zur Verfügung.

Um die verfügbare Zeit effektiv mit der Durchführung und Anfängen der Auswertung nutzen zu können, ist der Versuch fertig aufgebaut präsentiert worden. Zu Beginn sind den Studierenden die App *phyphox*, einige wichtige Funktionen und die oft erwähnte Methode „Magnet-Lineal“ erläutert worden. Danach sollten sich die angehenden Lehrkräfte für ca. 15 min ohne Unterstützung durch den Betreuer mit dem Versuchsaufbau auseinandersetzen und die bereitgestellten Arbeitsaufträge bearbeiten. Nach dieser Zeitspanne sind Fragen geklärt und ggf. Hilfestellungen gegeben worden. Jede Versuchsgruppe ist mit einem sogenannten Smartpen ausgestattet worden, sodass sowohl die schriftlichen Notizen wie auch die Gespräche für spätere Auswertungszwecke gesichert sind. Diese Aufnahmen sind mit schriftlichem Einverständnis der Studierenden aufgezeichnet worden.

Am Ende eines Versuchstages ist eine kurze Diskussions- und Feedbackrunde durchgeführt worden, in der die Studierenden ihre Erfahrungen und mögliche Verbesserungsvorschläge sowohl für den Versuch und die dazugehörigen Materialien wie auch für die App *phyphox* mitteilen konnten.

### 6.3.2 Beobachtungen

Der zeitliche Rahmen dieser Arbeit ließ es nicht zu, dass die aufgenommenen Daten der Smartpens detailliert ausgewertet werden. Die folgenden Ergebnisse beruhen auf getätigten Beobachtungen und geführten Gesprächen mit den Studierenden.

Im Umgang mit der App *phyphox* konnte beobachtet werden, dass die Einrichtung eines Fernzugriffes eine gewisse Zeit in Anspruch genommen hat. Dabei stellten die Smartphones der Firma Samsung ein besonderes Problem dar, da in der Grundeinstellung sämtliche Smartphones mit dem mobilen WLAN-Hotspot-Namen „Android AP“ versehen sind. Damit

konnte für eine Verbindung des Computers mit dem jeweiligen Smartphone keine eindeutige Zuordnung vorgenommen werden, sodass alle Samsung-Besitzer zunächst einen individuellen Namen definieren mussten. An den folgenden Versuchstagen ist dies im Vorfeld angesprochen worden, um keine Irritationen aufkommen zu lassen. Da die Studierenden an einem Versuchstag nicht nur den Fall-Versuch erprobt haben, sondern noch weitere Smartphone-Experimente durchgeführt haben (vgl. [Klein 2016] & [Götze 2016]), sind häufig Fernzugriffe eingerichtet worden. Die Praktikums Teilnehmer hatten jedoch nach einer erfolgreichen Einrichtung des Fernzugriffes keine weiteren Probleme diesen danach selbstständig in den anderen Experimenten herzustellen.

Im Umgang mit den erstellten Arbeitsblättern konnte beobachtet werden, dass zunächst die langen Aufgabenstellungen nicht genau oder nur teilweise gelesen worden sind. Damit sind vor allem in der Durchführung vermeidbare Probleme aufgetreten, die eine spätere Auswertung schwierig bzw. in einigen Fällen auch unmöglich gemacht haben. In diesen Fällen ist nach der 15 minütigen Arbeitsphase unterstützend eingegriffen worden, sodass verwertbare Messdaten aufgenommen worden sind. Diese Erfahrung hat dazugeführt, dass in den Aufgabenstellungen wichtige Begriffe fett gedruckt und teilweise farblich hervorgehoben wurden. Zudem sind in der Endfassung der Arbeitsaufträge (vgl. Anhang A.2.4) die in Abschnitt 6.1.2 erläuterten Icons eingefügt worden, welche einen positiven Effekt gezeigt haben, da die Durchführung damit vollständig korrekt ausgeführt worden ist.

Die erstellte Excel-Tabelle „Bestimmung der Erdbeschleunigung“ ist von vielen Studierenden durch die Informationsbuttons schnell und zielführend verwendet worden. Es ist jedoch für einige Studierende neu gewesen, dass die App eine derart große Anzahl von Daten aufgenommen hat, wodurch ein Zurechtfinden innerhalb dieser Datenpunkte eine gewisse Zeit in Anspruch nahm bzw. teilweise auch einer kurzen Erklärung bedurfte.

Alle Lehramtsstudierenden haben innerhalb der verfügbaren Zeit von 20 min die Weg-Zeit-Daten ermitteln können. Darüber hinaus hat eine Versuchsgruppe in dieser Zeit mit der Auswertung beginnen können. Eine Bearbeitungszeit von 30 min hat für jede Versuchsgruppe ausgereicht, um mit der Analyse der Messdaten zu starten. Zwei Versuchsgruppen sind zudem zu den Geschwindigkeits-Zeit-Daten und damit zu dem experimentell bestimmten Wert der Erdbeschleunigung gelangt.

Die weiteren Auswertungsschritte sind dann jeweils außerhalb der Praktikumszeit bearbeitet worden. Die an die Versuche anschließenden mündlichen Rückmeldungen haben ergeben, dass die Studierenden keine Probleme bezüglich des sprachlichen und inhaltlichen Verständnisses der Aufgabenstellungen empfunden haben, was durch die Beobachtungen bestätigt werden konnte. Am ersten Versuchstag ist die lange Aufgabenstellung angemerkt worden, wobei diese nach einer Modifikation der Gestaltung dieser Aufträge kein Gesprächsthema mehr gewesen ist. Die Studierenden haben die Smartphone-Experimente als gut geeignet

und als motivierende Form des Experiments beschrieben. Dabei sind sie insbesondere von den Möglichkeiten des Einsatzes eines Smartphones erstaunt und haben besonders die entwickelte App *phyphox* mit ihren Funktionen gelobt.

### 6.4 Zusammenfassung und Konsequenzen für den Einsatz

Das Smartphone-Experiment zur Bestimmung der Erdbeschleunigung ist mit seinen Inhalten in der Einführungsphase in das Inhaltsfeld der Mechanik einzuordnen. Durch die Verwendung des Smartphones präsentiert dieses Experiment einen Alltagsgegenstand von SuS in einem physikalisch-experimentellen Kontext, den hier die Kinematik bildet.

Durch die Konzeption als Schülerexperiment ist darauf geachtet worden, dass der zusätzliche Materialaufwand und die Materialkosten in einem zu leistenden Rahmen liegen. Es wird davon ausgegangen, dass das Stativmaterial sowie die Komponenten zum Auffangen des Smartphones vorhanden sind bzw. von den SuS von zuhause mitgebracht werden können. In den Probeläufen sind jeweils sechs Quadermagnete für eine Fallstrecke von 1 m benötigt worden, wobei die Anschaffungskosten von 5,10 € für 6 Magnete (bei höherer Stückzahl verringert sich der Stückpreis weiter) in einem vertretbaren Rahmen liegen. Daneben wird ein Smartphone mit der kostenlosen App *phyphox* benötigt. Mit Verweis auf den Versuch auf der Luftkissenbahn (vgl. Abschnitt 5.3) wird wiederholt die Empfehlung eines eigenen Smartphones für die (Physik-)Sammlung gegeben, um der Lehrkraft eine adäquate Vorbereitung zu ermöglichen.

Aus den Erfahrungen der didaktischen Erprobung im Rahmen des Lehramtspraktikums an der RWTH Aachen University kann es mit Bezug auf die zur Verfügung stehende Zeit auch hilfreich sein, den SuS den Aufbau im Vorhinein fertig zu präsentieren, damit sie sich intensiver mit der Durchführung und anschließenden Auswertung auseinandersetzen können. Hierbei ist jedoch auf die individuelle Lernzielformulierung zu achten. Der in Abschnitt 6.1.1 vorgestellte Aufbau kann auch dahingehend variiert werden, dass keine Kiste zum Auffangen verwendet wird, sondern lediglich eine zusammengefaltete(r) Jacke/ Pullover unterhalb des fallenden Smartphones platziert wird. Dies hat ebenfalls in den Probeläufen ohne Schaden des Smartphones gut funktioniert. Es sollte jedoch seitens der Lehrkraft eine Überprüfung des Aufbaus, insbesondere des „Auffangsystems“, durchgeführt werden, um spätere Schäden zu vermeiden. Des Weiteren hat die Erfahrung im Praxistest gezeigt, dass man zur Herstellung des Fernzugriffes bei einer Vielzahl von Smartphones auf jeweils individuell festgelegte Hotspot-Namen der Smartphones achtet, um eine schnelle Einrichtung zu gewährleisten und keinem doppelt vergebenen Namen zu begegnen (vgl. Abschnitt 6.3).

Nach der Durchführung des Versuchs kann eine Gelenkstelle/Zwischenetappe ausgemacht werden. Die SuS können einerseits die Auswertung in der nächsten Schulstunde oder sogar als Hausaufgabe beenden, wobei dabei auf die Verfügbarkeit von Computern geachtet werden sollte, da die Auswertung in der zunächst angedachten Form das Programm Excel benötigt. Wie im Abschnitt 6.2.1 erläutert, könnte ebenso eine Auswertung am Smartphone durchgeführt werden, was jedoch bei den jetzigen Möglichkeiten der App einen größeren Zeitaufwand bedeuten würde. Bei der Auswertung kann ebenso in einer weiteren Aufgabe thematisiert werden, warum das Smartphone auf Höhe des ersten Magneten losgelassen wird und inwieweit dies die Gesetzmäßigkeiten der Bewegung vereinfacht.

Die weiterführende Aufgabe bietet dem Lehrkörper eine Differenzierungsmöglichkeit und lässt damit ein individuelles Lernen in der Auswertung zu.

Die gesamten Aspekte zum Aufbau , zur Durchführung und Auswertung des Versuchs sind in einer Lehrerhandreichung zusammengetragen und erläutert worden. Diese Handreichung befindet sich im Anhang A.2.5 und soll der Lehrkraft als Unterstützung dienen.

Eine anschließende Weiterentwicklung des Fall-Versuchs kann eine didaktische Erprobung fortführen. Dabei könnten beispielsweise Probeversuche mit der eigentlichen Zielgruppe des Versuchs, den SuS der Einführungsphase, durchgeführt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen können dann in den Versuch und in das erstellte Material einfließen, sodass ein schülergerechtes und lerneffizientes Smartphone-Experiment zur Verfügung steht.

# 7 Reflexion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, Smartphone-Experimente für den Einsatz in der Sekundarstufe II im Bereich der Mechanik zu entwickeln. Dabei sind Versuche sowie dazugehörige Materialien zu gleichmäßig beschleunigten Bewegungen konzipiert worden. In den Experimenten sollen SuS wie auch Lehrkräften die Möglichkeiten eines Smartphones aus physikalischer Sicht sowie insbesondere die entwickelte App *phyphox* erläutert werden.

Im Rahmen der Arbeit sind zwei verschiedene Versuche entwickelt worden. Der Versuch auf der Luftkissenbahn dient einerseits zur Analyse der Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Andererseits stellt er in der angedachten Form eine mögliche Einführung der App *phyphox* sowie der Methode „Magnet-Lineal“ dar. Diese Methode nutzt den Magnetfeldsensor des Smartphones, um aus den registrierten Signalen von Magneten entlang der Fahrtstrecke Weg-Zeit-Daten zu bestimmen.

In diesem Versuch hat sich gezeigt, dass die mit dem in *phyphox* verwendeten Werkzeug *Magnet-Lineal* erzielten Messergebnisse reproduzierbar und überprüfbar sind, wodurch ein Einsatz des Aufbaus im Physikunterricht berechtigt ist. Die Materialkosten für den modifizierten Aufbau auf der Luftkissenbahn sind mit lediglich 8,10 € vertretbar. Für diesen Versuch liegen ein Arbeitsblatt (vgl. Anhang A.2.2) sowie eine Lehrerhandreichung (vgl. Anhang A.2.3) zur Planung und Durchführung vor.

Eine Weiterentwicklung des Versuchs könnte an einer 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 zweite Versuch zum freien Fall kann aufbauen auf dem Luftkissenbahn-Versuch eingesetzt werden. Diese Reihenfolge ist jedoch nicht notwendig, da der Fall-Versuch auch eigenständig durchgeführt werden kann. Dazu ist es hilfreich, den SuS die „Magnet-Methode“ sowie die App *phyphox* kurz vorzustellen. Zur eigenständigen Versuchsdurchführung ist eine Anleitung zur App verfasst worden (s. Anhang A.2.1). Die SuS sollen mit dem Schüler-Experiment selbstständig die Möglichkeiten des Einsatzes ihres Smartphones als Messinstrument erfahren und damit die physikalische Größe Erdbeschleunigung bestimmen.

Der Aufbau ist mit möglichst wenig zusätzlich zu besorgenden Materialien realisiert worden. Lediglich die Magnete (6 Stück ca. 5,10 €) sind nicht in jeder Physiksammlung zu finden. Im Rahmen der Testversuche konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden, die reliabel und valide den Wert für die Erdbeschleunigung ergeben. Das Arbeitsblatt zu diesem Versuch wurde

einer ersten didaktischen Erprobung unterworfen, sodass sich in mehreren Iterationsschritten das im Anhang A.2.4 befindliche Arbeitsblatt ergeben hat. Der Praxistest hat gezeigt, dass die Probanden (Lehramtsstudierende) mit den Arbeitsaufträgen und dem Versuch kaum Schwierigkeiten hatten. Damit lässt sich auch dieser Versuch mit den gewonnenen Erkenntnissen gut in den Physikunterricht integrieren. Zur Unterstützung der Lehrkraft ist ebenso eine Handreichung (vgl. Anhang A.2.5) erstellt worden, die wichtige Hinweise und methodische Anmerkungen beinhaltet.

Eine Weiterentwicklung dieses Versuchs kann zunächst 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 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*, realisiert werden. Mögliche zusätzliche Motivationen für die SuS fördern eine lerneffizienten Verwendung dieser „Minilabore“ (vgl. [Kuhn et al. 2015], S. 4), sodass - gemäß den Ausführungen von Dr. Thomas Wilhelm - die Lehrkräfte die SuS zukünftig auffordern: „Handy bitte einschalten!“ (vgl. [Wilhelm 2011]).

# Literaturverzeichnis

- [Ballstaedt 1997] Ballstaedt, S. (1997). *Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- [Barth 2011 a] Barth, M. (2011). Schwingungen und Wellen. Grundlagen, Überlegungen, Erfahrungen und Vorschläge. In: Barth, M. (Hrsg.), *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 125 (S.4-10). Seelze: Friedrich Verlag.
- [Barth 2011 b] Barth, M. (2011). Analogien zum Verstehen nutzen. Analoge Behandlung von mechanischen und elektrischen Schwingungen mit einem Energiesatz. In: Barth, M. (Hrsg.), *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, Heft 125 (S.29-33). Seelze: Friedrich Verlag.
- [Demtröder 2013] Demtröder, W. (2013). *Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik*. 6. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [Demtröder 2015] Demtröder, W. (2015). *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [DIPF 2010] Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF). Neue Didaktik 2/2010 (S.10-24): *Lernziele und deren Bedeutung im Unterricht*. [http://www.pedocs.de/volltexte/2013/5859/pdf/NeueDidaktik\\_2\\_2010\\_Velica\\_Lernziele\\_Bedeutung.pdf](http://www.pedocs.de/volltexte/2013/5859/pdf/NeueDidaktik_2_2010_Velica_Lernziele_Bedeutung.pdf) (Zugriff 24.08.2016)
- [Duit 2004a] Duit, R. (2004). Alltagsvorstellungen berücksichtigen. In: Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik*, (S. 3 - 7). Köln: Aulis Verlag Deubner
- [Duit 2004b] Duit, R. (2004). Vorstellung und Experiment - Von der eingeschränkten Überzeugungskraft experimenteller Beobachtungen. In: Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik*, (S. 20 - 22). Köln: Aulis Verlag Deubner
- [Duit 2010] Duit, R. (2010). *Piko-Brief Nr. 1. Schülervorstellungen und Lernen von Physik*. <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf> (Zugriff: 23.08.2016)
- [Götze 2016] Götze, B. D. (2016). *Entwicklung von Smartphone-Experimenten zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App phyphox für den Einsatz in der Sekundarstufe II*. Bachelorarbeit. I. Physikalisches Institut I A der RWTH Aachen University.

- [Grehn et al. 2007] Grehn, J. & Krause, J. (Hrsg.) (2007). *Metzler Physik*. 4. Auflage. Braunschweig: Schroedel Verlag (Westermann Gruppe).
- [Hirth et al. 2015] 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 124 (S. 47 - 50). Seelze: Friedrich Verlag.
- [ITWissen] ITWissen - Online-Lexikon für Informationstechnologie. Smartphone. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Smartphone-smart-phone.html> (Zugriff 23.08.2016)
- [Keller 2007] Keller, J. (2007). *Magnetische Halbleiter zum Einsatz in der Spinelektronik: Europiumsulfid und magnetisch dotiertes Galliumnitrid*. Dissertationsarbeit. Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der RWTH Aachen University. (Download 25.08.2016)
- [Kircher et al. 2015] Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik - Theorie und Praxis*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- [Klein 2016] Klein, P. (2016). *Entwicklung von Smartphone-Experimenten an der schiefen Ebene mit der App phyphox für den Einsatz in der Sekundarstufe II*. Bachelorarbeit. I. Physikalisches Institut I A der RWTH Aachen University.
- [Kuhn et al. 2011] Kuhn, J., Vogt, P. & Müller, S. (2011). Handys und Smartphones. Einsatzmöglichkeiten und Beispieleexperimente. In: Wilhelm, Th. (Hrsg.) (2011), *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule*, Heft 7/60 (S. 5-11). Freising: Aulis Verlag.
- [Kuhn et al. 2015] 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.
- [LD Didactic o.J.] Lehr- und Didaktiksysteme (o.J.). *Gebrauchsanweisung Luftkissenfahrbahn (337 501)*. <http://www.ld-didactic.de/documents/de-DE/GA/GA/3/337/337501d.pdf> (Download 26.08.2016)
- [Martial & Ladenthin 2002] Martial, I. von & Ladenthin, V. (2002). *Medien im Unterricht. Grundlagen und Praxis der Mediendidaktik*. Hohengehren: Schneider Verlag.
- [MPFS 2015] Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. *JIM-Studie 2015*. [http://www.mpfs.de/fileadmin/JIM-pdf15/JIM\\_2015.pdf](http://www.mpfs.de/fileadmin/JIM-pdf15/JIM_2015.pdf) (Download 06.07.2016)

- [Meyer 2005] Meyer, H. (2005). *Unterrichts-Methoden. II: Praxisband*. 11. Auflage. Berlin: Cornelsen Scriptor Verlag.
- [MSUW NRW 2014] 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/lehrplaene/upload/klp\\_SII/ph/KLP\\_G0St\\_Physik.pdf](http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/ph/KLP_G0St_Physik.pdf)  
(Download 20.04.2016)
- [Science on Stage Deutschland] Science on Stage Deutschland (2014). *iStage 2*. <http://www.science-on-stage.de/page/display/de/7/7/678/istage-2-smartphones-im-naturwissenschaftlichen-unterricht1>  
(Download 26.08.2016)
- [Supermagnete.de 2011a] Supermagnete.de (2011). *Datenblatt Artikel S-06-02-N*. [https://www.supermagnete.de/data\\_sheet\\_S-06-02-N.pdf](https://www.supermagnete.de/data_sheet_S-06-02-N.pdf).  
(Download 29.08.2016)
- [Supermagnete.de 2011b] Supermagnete.de (2011). *Datenblatt Artikel Q-20-10-05-N*. [https://www.supermagnete.de/data\\_sheet\\_Q-20-10-05-N.pdf](https://www.supermagnete.de/data_sheet_Q-20-10-05-N.pdf).  
(Download 30.08.2016)
- [Studienseminar Koblenz o.J.] Studienseminar Koblenz (o.J.). *Arbeitsblätter einsetzen*. <http://www.studienseminar-koblenz.de/medien/standardsituationen/7%20%20Arbeitsblaetter%20einsetzen.pdf>  
(Download 03.07.2016)
- [Tipler et al. 2015] Tipler, P.A., Mosca, G. & Wagner, J. (Hrsg.) (2015). *Physik. Für Wissenschaftler und Ingenieure*. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [Wiesner et al. 2011] Wiesner, H., Schecker, H. & Hopf, M. (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- [Wilhelm 2011] 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.
- [Wodzinski 2004] Wodzinski, R. (2004). Lernschwierigkeiten in der Mechanik. In: Müller, R., Wodzinski, R. & Hopf, M. (Hrsg.), *Schülervorstellungen in der Physik*, (S. 107 - 113). Köln: Aulis Verlag Deubner.

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Experimente funktionell aus physikdidaktischer Sicht betrachtet . . . . .	6
3.2	Klassifikation physikalischer Experimente . . . . .	6
4.1	Symbol und Schriftzug der App <i>phyphox</i> . . . . .	14
4.2	Eingebaute Sensoren in Smartphones . . . . .	15
4.3	Schematischer Aufbau und Funktion einer Hall-Sonde . . . . .	17
5.1	Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments auf der Luftkissenbahn	20
5.2	Aufbau des Wagens für das Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn	21
5.3	Weg-Zeit-Diagramm zur Beispielmessung ( <i>phyphox</i> ) . . . . .	24
5.4	Weg-Zeit <sup>2</sup> -Diagramm zur Beispielmessung ( <i>phyphox</i> ) . . . . .	25
5.5	Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm zur Beispielmessung ( <i>phyphox</i> ) . . . . .	26
5.6	Beispiel für einen Ausreißer im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von <i>phyphox</i> . . . . .	26
5.7	Vergleich der Weg-Zeit-Daten von <i>phyphox</i> und Cassy . . . . .	27
5.8	Zusammenfassung der Messdaten des Versuchs auf der Luftkissenbahn mit einer Fallmasse von 10,2 g . . . . .	29
5.9	Korrelation zwischen Cassy- und <i>phyphox</i> -Daten . . . . .	29
5.10	Zusammenfassung der Messdaten des Versuchs auf der Luftkissenbahn mit einer Fallmasse von 15,2 g . . . . .	30
6.1	Schematischer Aufbau des Smartphones-Experiments zur Bestimmung der Erdbeschleunigung . . . . .	35
6.2	Auftragung der Magnetfeld-Daten in Abhängigkeit von der Zeit für die Bei- spielmessung . . . . .	39
6.3	Weg-Zeit <sup>2</sup> -Diagramm der Daten von <i>phyphox</i> zur Beispielmessung des freien Falls . . . . .	41
6.4	Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Daten von <i>phyphox</i> zur Beispielmessung des freien Falls . . . . .	42

# Tabellenverzeichnis

5.1	Messdaten einer (Beispiel-)Messung auf der Luftkissenbahn mit dem Werkzeug <i>Magnet-Lineal</i> in <i>phyphox</i> . . . . .	23
5.2	Mittelwerte der Messungen auf der Luftkissenbahn . . . . .	32
6.1	Messdaten einer Beispielmessung zur Bestimmung der Erdbeschleunigung . . . . .	40
6.2	Mittelwerte der Messungen zur Bestimmung der Erdbeschleunigung . . . . .	44

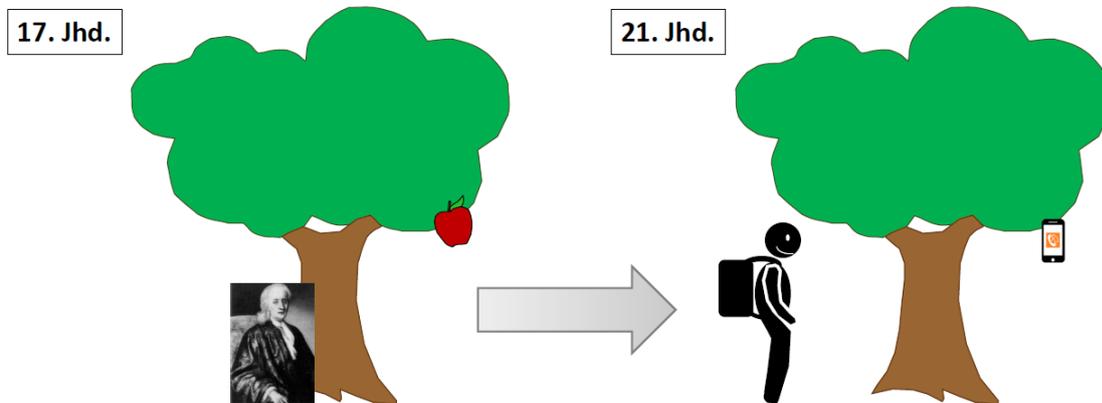
# A Anhang

Der Anhang ist in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt werden Anhänge gezeigt, die in direktem Bezug zu Inhalten dieser Arbeit stehen bzw. Inhalte dieser Arbeit ergänzen. Der zweite Abschnitt beinhaltet hingegen Dokumente (Anleitung, Arbeitsblätter und Lehrerhandreichungen), die als Kopiervorlage für Lehrkräfte dienen. Diese erstellten Materialien sind auf der Daten-CD zu finden sowie über die Webseite [phyphox.org](http://phyphox.org) abrufbar.

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. In dieser Arbeit sowie den erstellten Materialien 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.

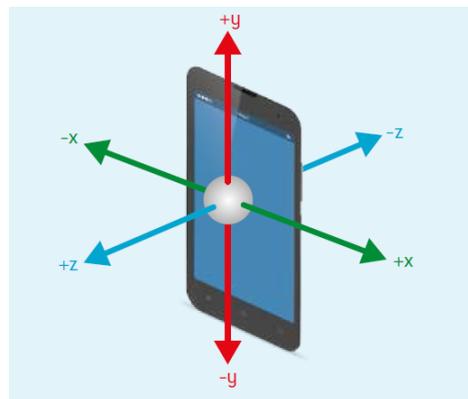
## A.1 Teil1

### A.1.1 Illustration des Einsatzes von Smartphones



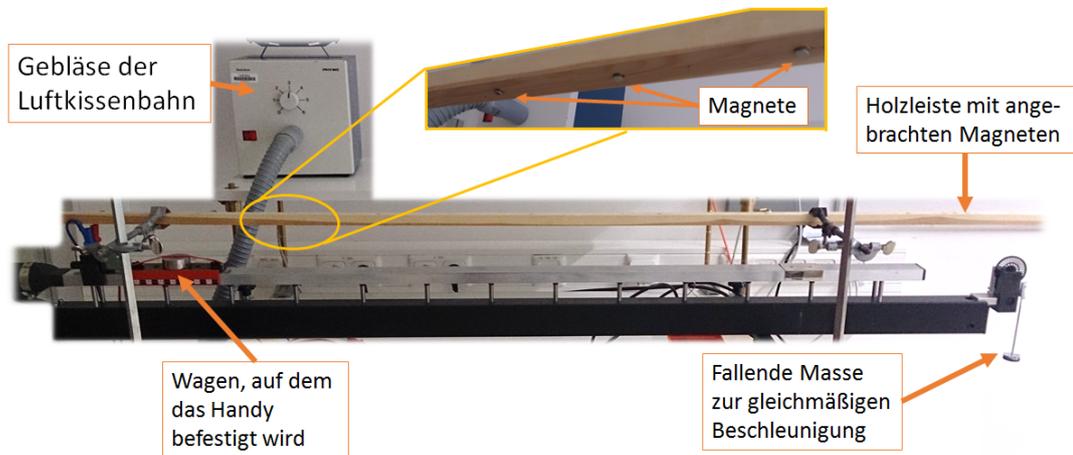
Isaac Newton beobachtete im 17. Jhd. den vom Baum fallenden Apfel. Durch Smartphone-Experimente können Versuche in den Alltag verlegt werden, sodass nun die Schülerinnen und Schüler das fallende Smartphone betrachten können. Quelle des Bildes von I. Newton: Demtröder, W. (2015). *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 7

### A.1.2 Koordinatensystem eines Smartphones



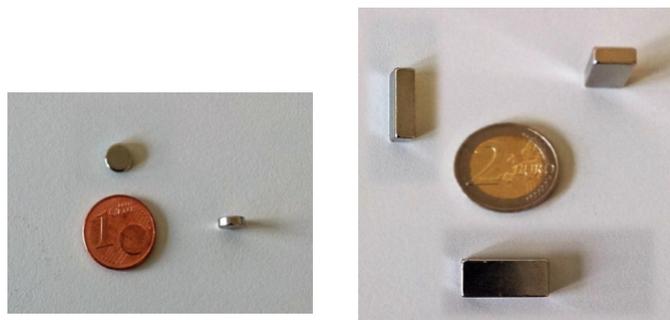
Koordinatensystem eines Smartphones. In diesem Koordinatensystem werden die Daten der Sensoren für die drei Raumrichtungen ausgegeben. Quelle Science on Stage Deutschland: iStage2 <http://www.science-on-stage.de/page/display/de/7/7/678/istage-2-smartphones-im-naturwissenschaftlichen-unterricht1> (Download 26.08.2016)

### A.1.3 Realer Aufbau des Smartphone-Experiments auf der Luftkissenbahn



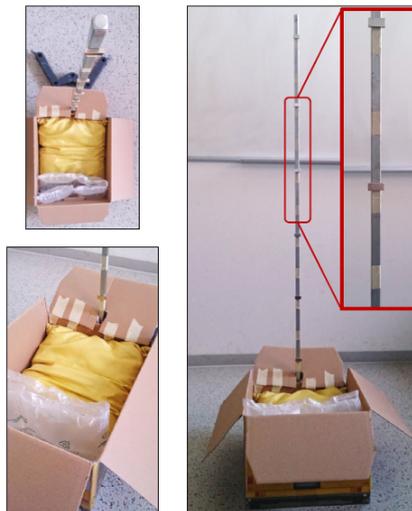
Realer Aufbau des Smartphone-Experiments auf der Luftkissenbahn. Zur Inbetriebnahme der Luftkissenbahn wird ein Gebläse benötigt. Auf dem Wagen zur Luftkissenbahn, welcher über eine fallende Masse gleichmäßig beschleunigt wird, ist das Handy befestigt. Die fallende Masse ist über eine Umlenkrolle mit dem Wagen verbunden. Zudem ist für das Smartphone-Experiment eine Holzleiste vonnöten, an welcher Magnete befestigt sind, die als Signalgeber für den im Smartphone vorhandenen Magnetfeldsensor dienen, sodass Weg-Zeit-Daten gemessen werden können.

### A.1.4 In den Versuchen verwendete Magnete



In den beiden Versuchen verwendete Magnete der Internetfirma *supermagnete.de*. Scheibenmagnet S-06-02-N, für den Versuch auf der Luftkissenbahn verwendet: Maße Durchmesser/Höhe: 6 mm/2 mm (links). Quadermagnet Q-20-10-05-N, für den Fall-Versuch verwendet: Maße Länge/Breite/Höhe: 20 mm/10 mm/5 mm (rechts)

### A.1.5 Realer Aufbau des Smartphone-Experiments *Freier Fall*



*Realer Aufbau des Fall-Versuchs. Rechts: Sicht auf den gesamten Aufbau mit besonderem Blickpunkt auf die Markierungen für die Quadermagnete sowie diese selbst. Links oben: Draufsicht auf den Versuchsaufbau mit besonderem Blick auf die Auffangkiste, welche ein Kissen beinhaltet. Links unten: Auffangkiste für das fallende Smartphone, welche mit einem Kissen zur Federung gefüllt ist.*

### A.1.6 Erlaubnis zur Nutzung des Bildmaterials der Webseite durch das Heide Park Resort

Das nachfolgende Dokument dient zur Bestätigung, dass die im Arbeitsblatt zum Smartphone-Experiment *Freier Fall* eingefügten Bilder der Achterbahn Colossos verwendet werden dürfen. Die Antwort von Carolin Wollner, PR Volontärin des Heide Park Resort, ist daher beigelegt. Ihre E-Mail ist die Auskunft auf meine Mail vom 02.06.2016:

Sehr geehrte Damen und Herren,  
ich wende mich mit einer etwas außergewöhnlichen Frage an Sie. Ich studiere an der RWTH Aachen (NRW) Mathematik und Physik auf Lehramt. Momentan bin ich dabei meine Bachelorarbeit zu schreiben. In dieser geht es um beschleunigte Bewegungen und wie man diese mit dem Smartphone messen kann. Um einen motivierenden Zugang für Schülerinnen und Schüler zu gewährleisten, habe ich dabei die Achterbahn Colossos als Anwendung einer beschleunigten Bewegung gewählt. Auf dem Arbeitsblatt, welches veröffentlicht werden soll, würde ich gerne zwei Bilder der Achterbahn abbilden. Hierbei stellt sich nun die Frage, ob Sie mir die schriftliche Erlaubnis zur Verwendung zweier Bilder Ihrer Webseite ausstellen können. Die beiden Bilder finden sich in dem Unterpunkt Colossos Ihrer Webseite

(<https://www.heide-park.de/attraktionen/detail/colossos.html>). Es geht um ein Bild als Tagesansicht der Achterbahn (z.B. das Bild oben Links in der Auflistung der Fotos) sowie das Bild, das die Achterbahn bei Sonnenuntergang zeigt.

Ich hoffe Sie können mir weiterhelfen und mich somit bei der Bachelorarbeit unterstützen.

Vielen Dank

Mit freundlichen Grüßen

Simon Goertz

### **Antwort des Heide Park Resort:**

AW: Nutzung von Bildern der Web-Seite Heide Park

Carolin Wollner <Carolin.Wollner@heide-park.de>, Mo 13.06.2016 10:47

Hallo Herr Görtz,

vielen Dank für die Anfrage. Sie können das Bildmaterial gerne verwenden, sofern sie als Nachweis „Heide Park Resort“ angeben.

Mit besten Grüßen / kind regards

Carolin Wollner

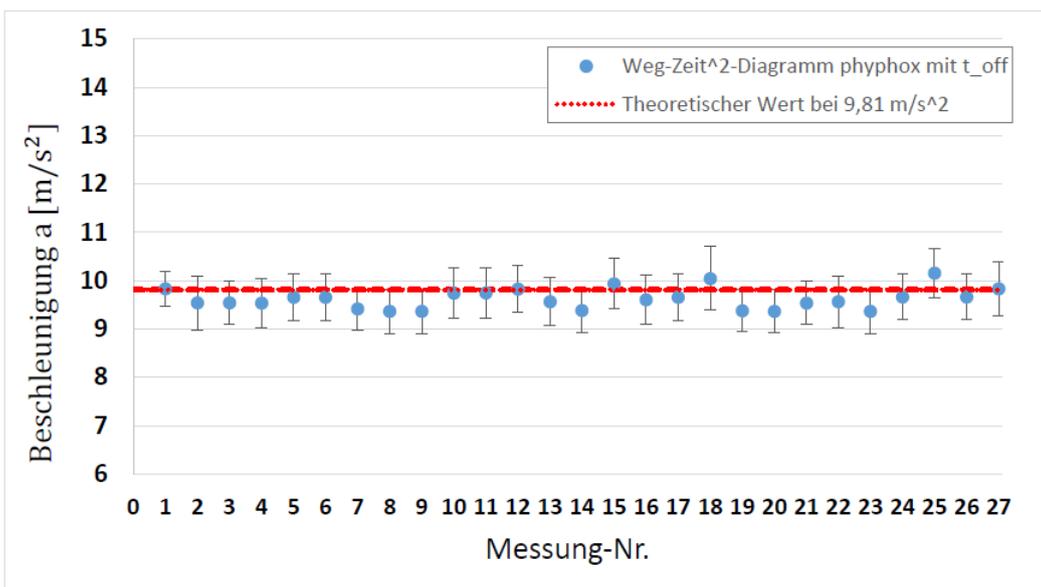
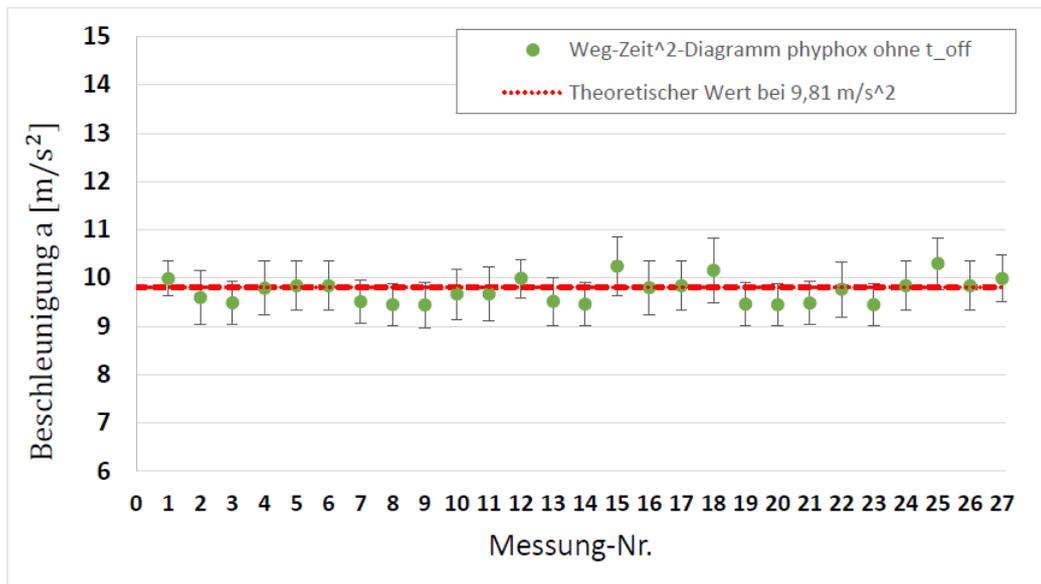
PR Volontärin

Heide Park Resort

Tel: +49 (0) 5191 91 248 PC-Fax: +49 (0) 5191 91 590 248

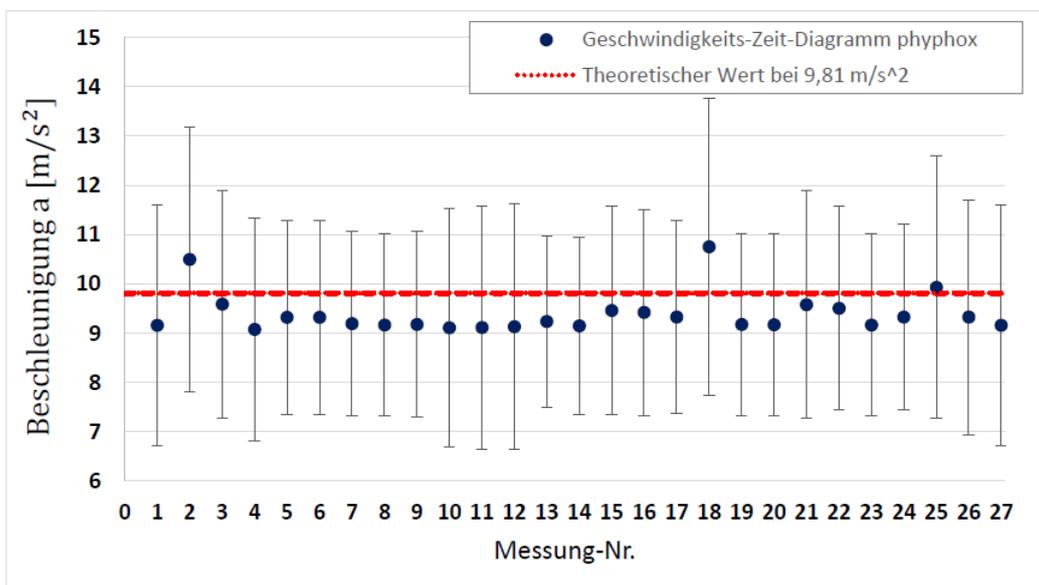
Heide-Park Soltau GmbH | Heide Park 1 | 29614 Soltau

### A.1.7 Zusammenfassende Graphiken zum Experiment *Freier Fall I*



Zusammenfassung der 27 Messungen zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. Aufgetragen sind die bestimmten Beschleunigungswerte mit ihren Unsicherheitsintervallen. Sortiert nach Auswertungsmethoden:  $s$ - $t^2$ -Diagramm ohne  $t_{off}$ -Bestimmung (oben),  $s$ - $t^2$ -Diagramm mit  $t_{off}$ -Bestimmung (unten).

### A.1.8 Zusammenfassende Graphiken zum Experiment *Freier Fall II*



Zusammenfassung der 27 Messungen zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. Aufgetragen sind die bestimmten Beschleunigungswerte mit ihren Unsicherheitsintervallen. Sortiert nach Auswertungsmethoden: *v-t*-Diagramm.

## A.2 Teil2

### A.2.1 Anleitung zum Umgang mit der App *phyphox*

Die nachfolgende Anleitung ist zum einfacheren Umgang mit der App *phyphox* erstellt worden. Dabei werden die wichtigen Funktionen und ihre Bedienung erläutert. Paragraph 4 *Vordefiniertes Experiment laden* ist dabei von B. D. Götze ergänzt worden.

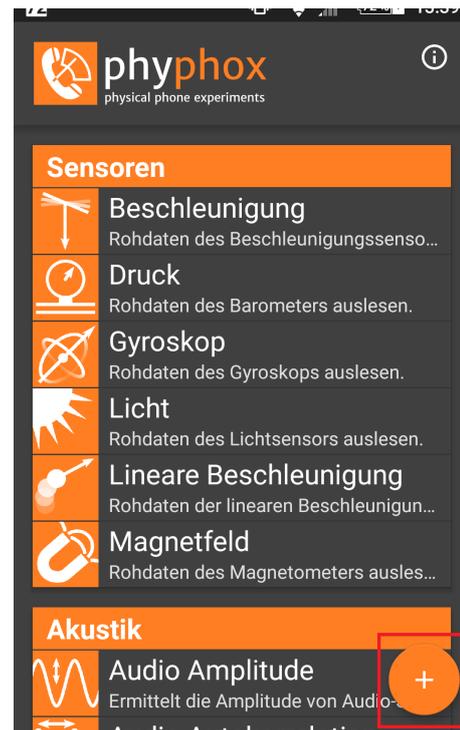


# Anleitung - Umgang mit *phyphox*

Diese Anleitung soll Ihnen den Umgang mit der App *phyphox* erleichtern. Voraussetzung ist die ordnungsgemäße Installation der App.

## §1 Erste Schritte in *phyphox*

1. Öffnen Sie die App *phyphox*.
2. Wählen Sie im Hauptmenü ein definiertes Experiment aus, definieren Sie ein eigenes (§3) oder laden Sie ein extern vordefiniertes Experiment (§4).
3. Beachten Sie, dass Sie nach jeder Durchführung eines Versuches die Messdaten übertragen (§2) und anschließend vor der neuen Messung die Daten über den Punkt „Daten löschen“ im Menü, das Sie über den Button mit den drei vertikal angeordneten Punkten öffnen können, löschen.
4. Zur Übertragung der Daten eines Experimentes stehen Ihnen verschiedene Wege zur Verfügung (z.B. Bluetooth, E-Mail, Dropbox). Eine Auswahl finden Sie im Menü unter „Daten exportieren“. Weiter haben Sie die Möglichkeit *phyphox* über einen Fernzugriff über einen PC zu bedienen. Erklärungen hierzu finden Sie im §2.



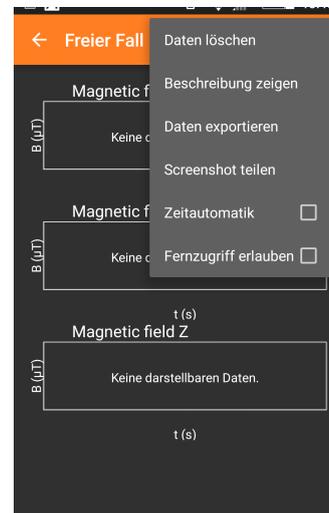
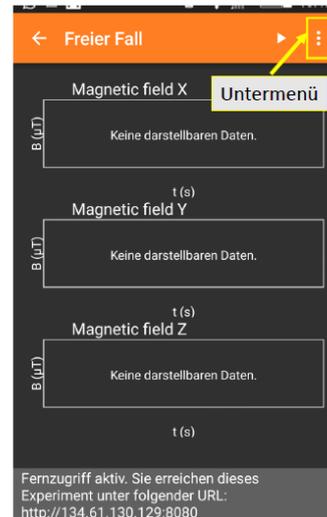


# Anleitung - Umgang mit *phyphox*

## §2 Übertragung der Messdaten an den PC

— Übertragung über einen Fernzugriff —

1. Richten Sie Ihr Smartphone als Hotspot ein.  
**Achtung:** Achten Sie dabei darauf, dass Sie Ihren mobilen Datenverkehr deaktiviert haben.
2. Öffnen Sie das Untermenü, indem Sie auf den Button mit den drei vertikal angeordneten Punkten klicken.
3. Setzen Sie ein Häkchen im Unterpunkt „Fernzugriff erlauben“. Lesen Sie sich die Sicherheitshinweise durch und bestätigen Sie dies mit OK.
4. Verbinden Sie nun Ihren PC mit dem Netz Ihres Smartphones (WLAN).
5. Öffnen Sie anschließend einen Browser und geben Sie die vom Smartphone angezeigte URL als Adresse in den Browser ein (Sie sollten nun das *phyphox*-Experiment auf dem Bildschirm sehen).
6. Starten Sie nun das Experiment über den Play-Button am Smartphone oder am PC.
7. Nach dem Versuch können Sie am PC im Untermenü unter „Daten exportieren“ die Messdaten im Excel-Dateiformat auf dem PC speichern.





# Anleitung - Umgang mit *phyphox*

## — Bluetooth-Übertragung —

Diese Möglichkeit ist nur gegeben, wenn Ihr Laptop über eine Bluetooth-Funktion verfügt.

1. Öffnen Sie das Untermenü.
2. Wählen Sie den Unterpunkt „Daten exportieren“ und anschließend das Dateiformat „Excel“ aus. Bestätigen Sie diese Auswahl mit OK.
3. Stellen Sie nun eine Bluetooth-Verbindung mit dem PC her und übertragen Sie die Daten auf den PC.

## — Übertragung per Mail —

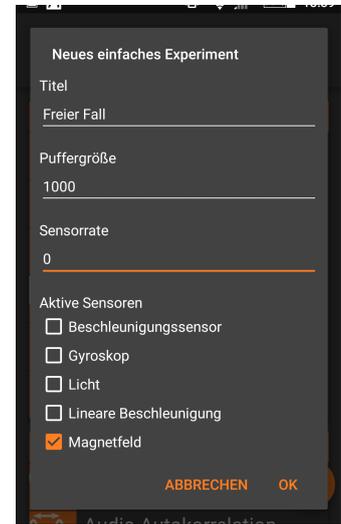
1. Öffnen Sie das Untermenü.
2. Wählen Sie den Unterpunkt „Daten exportieren“ und anschließend das Dateiformat „Excel“ aus. Bestätigen Sie diese Auswahl mit OK.
3. Wählen Sie nun eine App für die E-Mail-Übertragung aus (z.B. „Gmail“) und senden Sie die Datei an eine von Ihnen gewählte E-Mail-Adresse.



# Anleitung - Umgang mit *phyphox*

## §3 Eigenes Experiment definieren

1. Betätigen Sie im Hauptmenü das „Plus“-Zeichen, um ein eigenes Experiment zu definieren. Geben Sie diesem Experiment einen sinnvollen Namen (z.B. „Freier Fall“). Setzen Sie anschließend die **Puffergröße** und die **Sensorrate**, wobei 0 für die höchste Genauigkeit steht, fest. Im Anschluss daran müssen Sie den entsprechenden Sensor/die entsprechenden Sensoren aktivieren (Häkchen setzen). Bestätigen Sie anschließend Ihre Einstellungen mit OK.



## §4 Vordefiniertes Experiment laden

Mit Hilfe des Editors auf [www.phyphox.org](http://www.phyphox.org) können ebenfalls eigene Experimente erstellt werden. Gespeichert werden diese Dateien im *.phyphox*-Format. Diese Experimente können dann auf ein Smartphone übertragen und durchgeführt werden.

1. Übertragen Sie die gewünschte *.phyphox*-Datei auf Ihr Smartphone.
2. Öffnen Sie die Datei. Daraufhin wird *phyphox* mit dem vordefinierten Experiment gestartet.
3. Um dieses Experiment dauerhaft in *phyphox* zu speichern, wählen Sie im Untermenü den Punkt **Experiment zur Sammlung hinzufügen**. Bitte beachten Sie, dass das Experiment ansonsten nach Beendigung der App nicht mehr zur Verfügung steht und neu geladen werden muss.
4. Ein bereits zugefügtes Experiment kann nachträglich wieder aus der Sammlung entfernt werden, indem man den „Mülleimer“ neben dem Experiment in der Sammlung benutzt.



# Anleitung - Umgang mit *phyphox*

## §5 Besondere Einstellungen zu bestimmten Versuchen

— *Bestimmung der Erdbeschleunigung  $g$*  —

Eigenes Experiment definieren (§3):

Betätigen Sie im Hauptmenü das „Plus“-Zeichen, um ein eigenes Experiment zu definieren. Geben Sie diesem Experiment einen sinnvollen Namen (z.B. „Freier Fall“). Setzen Sie anschließend die **Puffergröße** auf **1000** und die **Sensorrates** auf **0**. Anschließend müssen Sie den Magnetfeldsensor aktivieren (Häkchen setzen).

Bestätigen Sie anschließend Ihre Einstellungen mit OK.

— *Harmonische Schwingung am Federpendel* —

Vordefiniertes Experiment laden (§4):

Laden Sie sich die Datei *Harmonious Spring Pendulum (xyz).phyphox* auf Ihr Smartphone und fügen Sie es der Sammlung von *phyphox* hinzu.

— *Harmonische Schwingung am Fadenpendel* —

Vordefiniertes Experiment laden (§4):

Laden Sie sich die Datei *Swing (y).phyphox* auf Ihr Smartphone und fügen Sie es der Sammlung von *phyphox* hinzu.

## **A.2.2 Aufgabenblatt zum Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn**

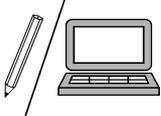
Die nachfolgenden Arbeitsblätter dienen der Protokollierung und graphischen Darstellung von Messdaten zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung eines Smartphones auf der Luftkissenbahn. Thematisch sind sie in das Inhaltsfeld Mechanik in der Sekundarstufe II einzuordnen. Der Versuch selber ist als Lehrerdemonstrationsexperiment angedacht. Bei diesem Versuch dienen Magnete entlang der Fahrstrecke als Signalgeber für das Smartphone, auf welchem die App *phyphox* installiert ist. Diese App kann mit dem Werkzeug *Magnet-Lineal* die Signale verarbeiten und daraus Weg-Zeit-Daten berechnen.



# Kinematik - Versuch an der Luftkissenbahn



Aufträge mit diesem Symbol müssen zuerst sorgfältig und vollständig gelesen werden.



Diese Aufgaben müssen schriftlich oder am PC bearbeitet werden.

In diesem Experiment soll die gleichmäßig beschleunigte Bewegung näher betrachtet werden. Zur Datenerfassung wird hierbei die App *phyphox*, mit der Weg-Zeit-Daten sowie Geschwindigkeits-Zeit-Daten der Bewegung ermittelt werden, benutzt. Dabei dienen Magnete entlang der Fahrstrecke als Signalgeber für das Smartphone, dessen Magnetfeldsensor durch die App ausgelesen wird.

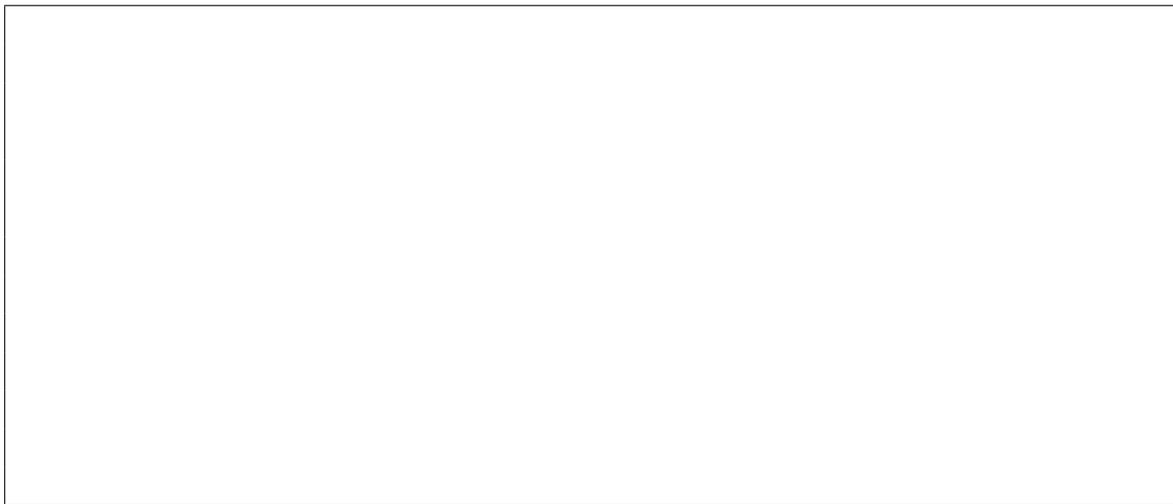


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Versuches zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung an der Luftkissenbahn



Lesen Sie bitte alle Aufgaben sorgfältig bevor Sie mit ihrer Bearbeitung beginnen!

## Versuchsauswertung



1. Skizzieren Sie den Versuchsaufbau des Luftkissenbahn-Versuchs in dem dafür vorgesehenen Bereich (Abbildung 1) auf Seite 1.

Achten Sie auf eine nachvollziehbare Beschriftung, die es jedem ermöglicht, die wichtigen Elemente des Versuchs wiederzuerkennen.





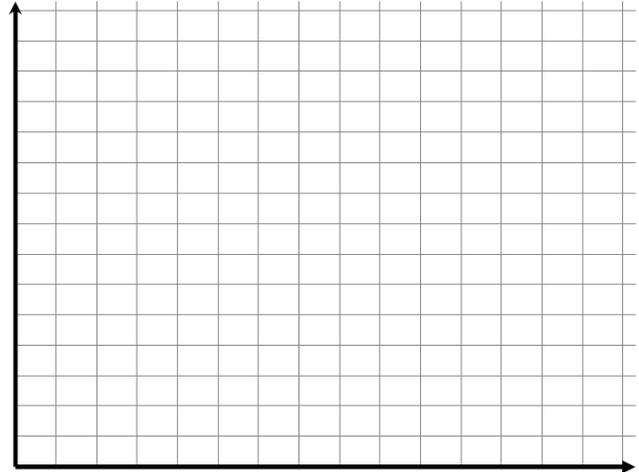
## Kinematik -

### Versuch an der Luftkissenbahn



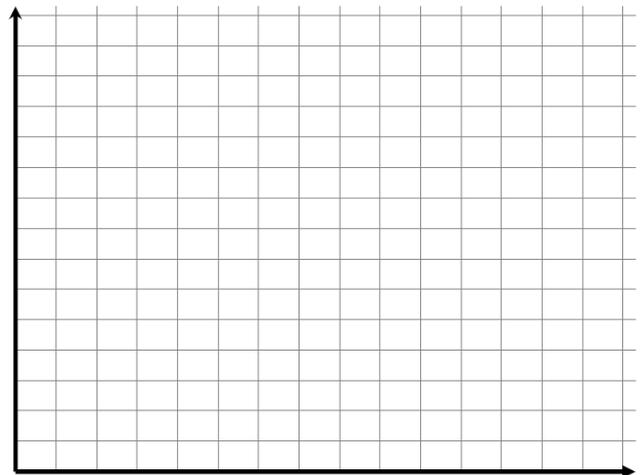
2. Tragen Sie die Weg-Zeit-Daten des Versuchs in die Tabelle ein. Erstellen Sie nun aus diesen Weg-Zeit-Daten ein Weg-Zeit-Diagramm, indem Sie die Messpunkte in das bereitgestellte Koordinatensystem eintragen. Beachten Sie dabei, dass Sie die Koordinatenachsen beschriften müssen.

Fahrzeit $t$ [ ]	Wegstrecke $s$ [ ]



3. Tragen Sie nun die gegebenen Geschwindigkeits-Zeit-Daten in die Tabelle ein. Erstellen Sie auch aus diesen Geschwindigkeits-Zeit-Daten ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm, indem Sie die Messpunkte in das bereitgestellte Koordinatensystem eintragen. Beachten Sie dabei, dass Sie die Koordinatenachsen beschriften müssen.

Fahrzeit $t$ [ ]	Geschwindigkeit $v$ [ ]





# Kinematik - Versuch an der Luftkissenbahn



### **A.2.3 Lehrerhandreichung zum Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn**

Im nachfolgenden Dokument sind Zusatzinformationen für den Lehrer zum Smartphone-Experiment auf der Luftkissenbahn zusammengestellt. Sie sollen bei der Planung, Durchführung und Anpassung an den entsprechenden Kurs unterstützen.



# Mechanik - Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

## Lehrerhandreichung

- **Jahrgangsstufe:** Einführungsphase
- **Methode:** Demonstrationsexperiment (Luftkissenbahn)
- **Thema:** Gleichmäßig beschleunigte Bewegung
- **Versuchszeit:** 15 min

In diesem Versuch sollen die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung, insbesondere die Abhängigkeiten der Größen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung, untersucht werden. Auf der Luftkissenbahn wird ein auf dem Gleiter befestigtes Handy nahezu reibungsfrei durch eine fallende Masse über eine Umlenkrolle gleichmäßig beschleunigt. Eine Leiste mit Magneten oberhalb der Fahrstrecke dient als Signalgeber für das Smartphone, auf welchem die App *phyphox* installiert ist. Diese App wertet mit dem Magnetfeldsensor die Signale so aus, dass man Weg-Zeit- sowie Geschwindigkeits-Zeit-Daten erhält.

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 (reine Durchführung): 15 min  
(einmalig ca. 30 min Aufbauzeit für die Magnet-Halterung (s.u.))
- Mechanik: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung
- Verwendeter Sensor: Magnetfeldsensor

### Material

1. Luftkissenbahn
2. Holzleiste (Länge soll der Fahrstrecke auf der Luftkissenbahn mindestens entsprechen): Preis ca. 5 €
3. Magnete:<sup>1</sup> Preis ca. 3,10 € für 10 Stück

<sup>1</sup> In den Testversuchen sind S-06-02-N Scheibenmagnete der Internetfirma [supermagnete.de](http://supermagnete.de) verwendet worden





# Mechanik - Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

## Lehrerhandreichung

4. Smartphone mit der App *phyphox*
5. Gleiter, auf dem das Smartphone befestigt werden kann
6. Vorrichtung zur gleichmäßigen Beschleunigung des Gleiters auf der Bahn: z.B. Umlenkrolle, über die der Gleiter mit einer frei fallenden Masse verbunden ist.

### Voraussetzungen

1. Begriffe *Weg* und *Geschwindigkeit*
2. Zusammenhang Geschwindigkeit  $v = \frac{s}{t} + v_0$  mit Wegstrecke  $s$  und Zeit  $t$  sowie einer möglichen Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$

### Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler

1. untersuchen den Zusammenhang der Größen *Weg* und *Geschwindigkeit* in Abhängigkeit von der *Zeit* in einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung
2. lernen dabei das Smartphone als Datenerfassungssystem kennen
3. erfahren, wie man mit Magneten und dem (meist) im Smartphone vorhandenen Magnetfeldsensor Weg-Zeit-Daten mit Hilfe der App *phyphox* erhält

### Methodische Anmerkungen

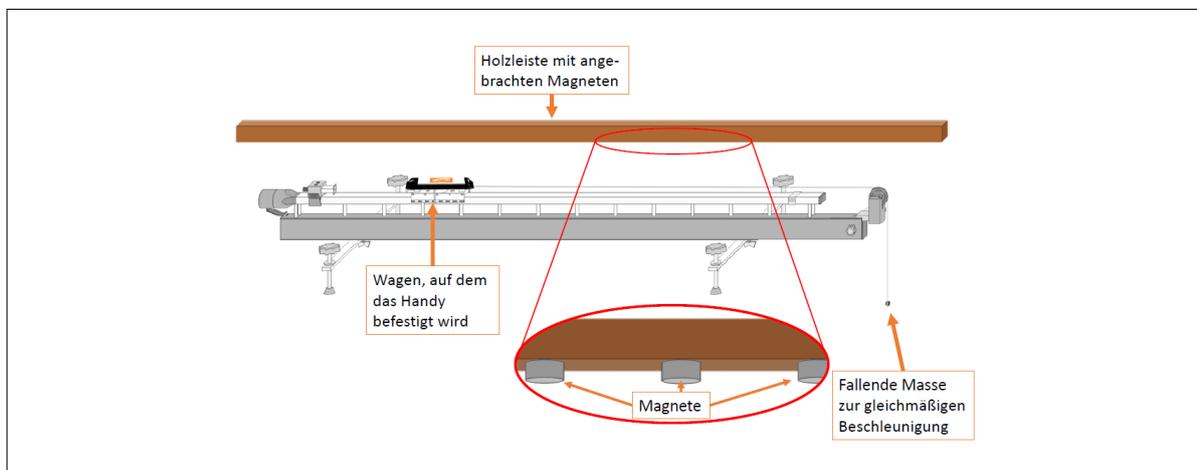


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments an der Luftkissenbahn. Zur Inbetriebnahme der Luftkissenbahn wird ein Gebläse benötigt. Auf dem Wagen zur Luftkissenbahn, welcher über eine fallende Masse gleichmäßig beschleunigt wird, ist das Handy befestigt. Die fallende Masse ist über eine Umlenkrolle mit dem Wagen verbunden. Zudem ist für das Smartphone-Experiment eine Holzleiste vonnöten, an welcher Magnete befestigt sind, die als Signalgeber für den im Smartphone vorhandenen Magnetfeldsensor dienen, so dass Weg-Zeit-Daten gemessen werden können<sup>2</sup>.





# Mechanik - Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

## Lehrerhandreichung

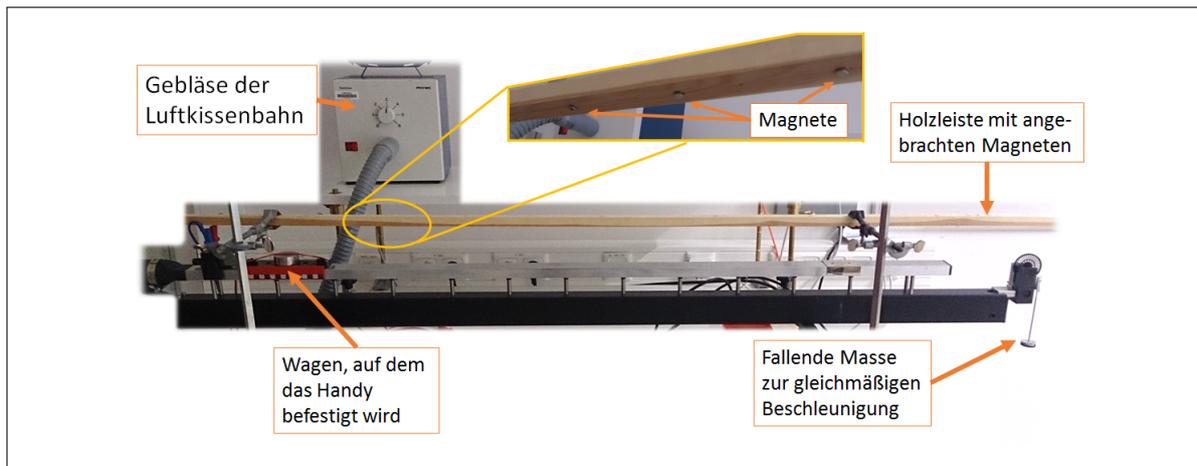


Abbildung 2: Realer Aufbau des Smartphone-Experiments an der Luftkissenbahn

Um Anpassungen an das vorhandene Material vornehmen bzw. eigene Alternativen für die Umsetzung finden zu können, ist möglicherweise ein Blick auf den schematischen oder realen Aufbau in den Abbildungen 1 und 2 hilfreich.

An dieser Stelle sollen Hinweise für die Vorbereitung sowie die Durchführung gegeben werden. Es sei zudem angemerkt, dass kein Unterrichtsentwurf zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung bzw. zu ihren Gesetzmäßigkeiten vorgestellt wird.

### 1. Vorbereitung

Neben der Luftkissenbahn wird eine Vorrichtung für die Befestigung der Magnete benötigt. Da später die kleinen Scheibenmagnete als Signalgeber für das Smartphone dienen, bietet sich ein nicht magnetischer Stoff für diese Vorrichtung an, um das Magnetfeld bzw. die Signalgeberfunktion der Magnete nicht weiter zu beeinflussen. Daher ist die Wahl auf eine Holzleiste gefallen, welche für ca. 5 € gekauft werden kann. In dieser können Schrauben aus einem ferromagnetischen Stoff geschraubt werden, sodass die Magnete an den Schraubköpfen über die magnetische Wechselwirkung haften bleiben. Bei einem Abstand der Schrauben in der Holzleiste von ca. 10 cm können die Signale später gut aufgelöst werden. Größere Abstände sind möglich, wobei die Zahl der Messpunkte im Blick behalten werden sollte. Ebenso ist ein gleicher Abstand der Magnete erforderlich, um das Werkzeug „Magnet-Lineal“ der App *phyphox* verwenden zu können.

Der Gleiter für die Luftkissenbahn muss so aufbereitet werden, dass ein Smartphone auf diesem befestigt werden kann. Da viele verschiedene Luftkissenbahnen erhältlich sind, kann an dieser Stelle nur eine beispielhafte Methode, durchgeführt mit der

2 Bild der Luftkissenbahn aus *Gebrauchsanweisung Luftkissenfahrbahn 337 501*: <http://www.ld-didactic.de/documents/de-DE/GA/GA/3/337/337501d.pdf>, S. 4



# Mechanik - Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

## Lehrerhandreichung

Luftkissenbahn 337 501 von Leybold Didactic, dargestellt werden. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, ist der Gleiter mit einem Gummiband sowie zwei Wägestücken als Abstandshalter „Smartphone-transportfähig“ gemacht worden. Durch die Erhöhung wird das Smartphone vor Kratzern durch die spitzen Fadenhalterungen geschützt. Das Gummiband verhindert ein Herunterfallen des Smartphones, wenn der Gleiter stark gebremst wird.



Abbildung 3: Beispielhafter Aufbau des Gleiters für die Luftkissenbahn

Die Luftkissenbahn wird herstellergerecht aufgebaut. Zusätzlich wird nun eine Halterung für die Holzleiste montiert. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass diese Vorrichtung mit Stativmaterial einfach realisiert werden kann. Hierbei muss individuell auf die vorhandene Luftkissenbahn geachtet werden. Ein Abstand von ca. 5 cm zwischen Holzleiste und Smartphone auf dem Gleiter liefert bei den oben aufgeführten Magneten ausreichend starke Signale. Zudem ist wichtig darauf zu achten, dass der erste Magnet sehr nah an der Startposition des Smartphones bzw. nah an der Startposition des Magnetfeldsensors<sup>3</sup> ist, um die Anfangsstrecke und -geschwindigkeit bei der Auswertung vernachlässigen zu können.

Die gleichmäßige Beschleunigung des Gleiters wird im Aufbau aus Abbildung 1 mit einer Umlenkrolle und einer fallenden Masse realisiert. Dazu wurde über einen Garnfaden die Masse mit dem Gleiter verbunden, sodass über die Umlenkrolle die Gewichtskraft der Masse für die gleichmäßige Beschleunigung des Gleiters und damit des Smartphones sorgt.

## 2. Durchführung

Nachdem die Luftkissenbahn betriebsbereit und die Holzleiste befestigt ist, wird auf dem Smartphone die App *phyphox* geöffnet. Zur Handhabung der App *phyphox* steht eine Anleitung zur Verfügung. In der App *phyphox* wird das Werkzeug „Magnet-Lineal“ ausgewählt. Optional kann nun die App mit einem Rechner verbunden werden, sodass die Live-Messdaten über einen Beamer projiziert werden,

3 Im Internet sind Tipps zum Finden der Position dieses Magnetfeldsensors aufgeführt (s. z.B. <http://www.physi.uni-heidelberg.de/~eisele/Experimentsheets/Magnetfeldmessungen.pdf>).





# Mechanik - Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

## Lehrerhandreichung

damit jeder Schüler diese sehen kann. Der Gleiter wird so positioniert, dass sich der erste Magnet etwas vor dem Magnetfeldsensor des Smartphones befindet. Nachdem die Messung gestartet ist, kann der Gleiter losgelassen und über die fallende Masse beschleunigt werden. Die App wertet die Signale aus und zeigt Weg-Zeit- und auch Geschwindigkeits-Zeit-Daten an, mit denen die Lehrkraft sowie die Schülerinnen und Schüler arbeiten können.

**Bitte beachten:** Viele Luftkissenbahnen verfügen über eine Magnethalterung, die den Wagen bis zum Auslösen an der Startposition hält. Es kann jedoch zu verfälschten Messwerten kommen, wenn das Magnetfeld dieser Halterung so stark ist, dass es die Signalstärke des ersten Magneten übersteigt. Es kommt damit zu Messdaten, die nicht den Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung genügen.

### 3. Ausblick

Bei einer anschließenden Auswertung der erhaltenen Weg-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeit-Daten sollte darauf geachtet werden, dass durch den gewählten Aufbau die Annahme getroffen werden kann, dass keine Anfangsstrecke  $s_0$  und keine Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  betrachtet werden müssen.

Wenn dieses Experiment mit den Schülerinnen und Schülern (SuS) durchgeführt worden ist, bieten sich in weiteren Experimentierphasen Smartphone-Experimente an. Die SuS haben nun das Smartphone in einem neuen Anwendungsbereich kennengelernt und können diese Kenntnisse beispielsweise in experimentellen Hausaufgaben weiter einsetzen. Zudem ist mit der speziellen Methode von Magneten als Signalgeber (wird als **Methode „Magnet-Lineal“** bezeichnet) ein Grundstein für viele weitere Versuche in der Mechanik gelegt worden. So können die SuS beispielsweise im Versuch zum freien Fall die Erdbeschleunigung  $g$  mit dieser Methode in kleineren Versuchsgruppen selbstständig bestimmen (vgl. hierzu Materialien zum *phyphox*- Experiment *Freier Fall*).

## **A.2.4 Aufgabenblatt zum Smartphone-Experiment *Freier Fall***

Die nachfolgenden Arbeitsblätter dienen der Bestimmung der Erdbeschleunigung durch ein Schülerexperiment. Thematisch sind sie in das Inhaltsfeld Mechanik in der Sekundarstufe II einzuordnen. Dabei wird ein Smartphone fallengelassen, wobei entlang der Fallstrecke Magnete angebracht sind. Für die Auswertung ist ein Computer sehr hilfreich, da durch eine erstellte Excel-Tabelle (befindet sich auf der Daten-CD sowie über die Webseite [phyphox.org](http://phyphox.org) abrufbar) eine Analyse der Magnetfeld-Zeit-Daten von den Magneten unterstützt wird, sodass Weg-Zeit-Daten einfacher erhalten werden.



## Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

Die Holzachterbahn Colossos im Heide Park Soltau ist die schnellste Holzachterbahn in Europa. Es werden Angaben von Beschleunigungen bis zu 4,5 g gemacht. Doch was bedeutet dieses „g“? In diesem Versuch möchten wir dieser Beschleunigung g und vor allem ihrem Wert auf die Spur kommen.



Quelle: Heide Park Resort Soltau  
heide-park.de

In diesem Experiment soll die Erdbeschleunigung  $g$  (auch Ortsfaktor genannt) mithilfe des Smartphones bestimmt werden. Zur Datenerfassung wird hierbei die App *phyphox*, mit der Weg-Zeit-Daten des freien Falls eines Smartphones ermittelt werden, benutzt. Dabei dienen Magnete entlang der Fallstrecke als Signalgeber für das Smartphone, dessen Magnetfeldsensor durch die App ausgelesen wird.

### Material, Geräte und Aufbau

- Stativstange mit Abstandsmarkierungen
- Stativhalterung
- Magnete zur Befestigung an der Stativstange
- Maßband/ Zollstock
- Material zum Auffangen des Smartphones (z.B. Kiste + weiche Unterlage (z.B. Jacke/Pullover))
- Handy mit App *phyphox*

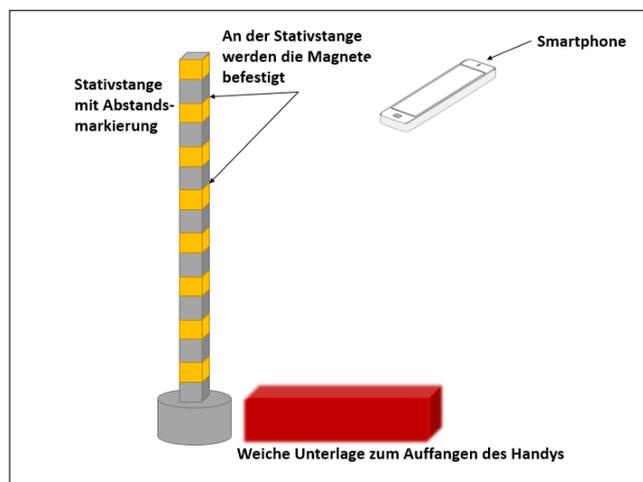


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Versuches zur Bestimmung der Erdbeschleunigung

**Achtung: Sorgen Sie unbedingt dafür, dass das Smartphone auf eine ausreichend stabile, weiche und seitlich erhöhte Unterlage fällt!!**



## Kinematik -

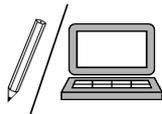
### Bestimmung der Erdbeschleunigung



Aufträge mit diesem Symbol müssen zuerst sorgfältig und vollständig gelesen werden.



Anweisungen mit diesem Icon beinhalten experimentelle Aufgaben.



Diese Aufgaben müssen schriftlich oder am PC bearbeitet werden.



1. Zur Vorbereitung auf den Versuch erläutern Sie bitte die Gesetzmäßigkeiten für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen (Weg-Zeit-Gesetz, Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Beschleunigung).

### Versuchsaufbau und -durchführung



2. Bauen Sie den Versuchsaufbau in Ihrer Versuchsgruppe nach Abbildung 1 auf. Bringen Sie die Magnete an die Stativstange mit abwechselnder Polung an, um die spätere Auswertung deutlich zu erleichtern.  
**Achtung:** Sind Sie sich nicht sicher, ob Ihr „Auffangsystem“ für das fallende Handy ausreichend ist, melden Sie sich bei der Lehrkraft, um Hinweise und ggf. weitere Utensilien zu erhalten.



3. **Bevor Sie das Smartphone zum ersten Mal fallen lassen, lesen Sie die Anweisungen im nachfolgenden Kasten genau durch.**

Benutzen Sie in der App *phyphox* den **Magnetfeldsensor** in der **besten Genauigkeit** („Eigenes Experiment definieren“, siehe Anleitung zu *phyphox*). Starten Sie die Messung und richten Sie das Handy mit dem **Bildschirm nach oben** und der **langen Kante senkrecht zur Stativstange** aus. Achten Sie vor dem Fall darauf, dass sich das Handy **zu Beginn** auf der **Höhe des obersten Magneten** befindet.



- a) Lassen Sie nun das Handy an den Magneten vorbeifallen.
- b) Schauen Sie sich die Magnetfeld-Zeit-Daten auf dem Bildschirm an. Können Sie einzelne Maxima und Minima des Magnetfeldes beim Passieren jedes Magneten erkennen?
- c) Falls Sie diese nicht erkennen, variieren Sie den Abstand und die Anzahl der Magnete und führen Sie den freien Fall erneut aus.



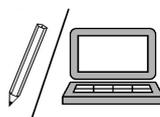
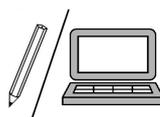
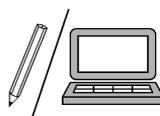


## Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung



Übertragen Sie anschließend die Magnetfeld-Zeit-Daten auf den PC (als Excel-Datei). Benötigen Sie Hilfe hierbei, schauen Sie bitte in die beigelegte Anleitung zu *phyphox*. Beim Öffnen dieser Datei stellen Sie fest, dass es drei verschiedene Spalten zu den Magnetfeld-Daten gibt. Übertragen Sie die Magnetfeld-Zeit-Daten der **x-Richtung** in die bereitgestellte Excel-Tabelle „Bestimmung der Erdbeschleunigung“.

### Aufgaben

- 
 1. Erstellen Sie nun mit den Weg-Zeit-Daten aus der Excel-Tabelle ein Weg-Zeit-Diagramm.
- 
 2. Bestimmen Sie zudem aus den Weg-Zeit-Daten die Geschwindigkeit zwischen zwei Zeitpunkten (Intervallgeschwindigkeit). Tragen Sie diese Geschwindigkeiten in ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ein.
- 
 3. Welchen mathematischen Zusammenhang erwarten Sie im Hinblick auf Aufgabe 1 in dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm? Bestimmen Sie mit dem erwarteten Zusammenhang aus Ihrem Diagramm die Erdbeschleunigung  $g$ .
- 
 4. Beurteilen Sie, wie gut Ihr Wert für die Erdbeschleunigung mit dem Literaturwert  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  übereinstimmt. Diskutieren Sie hierbei mögliche Quellen für Unsicherheiten bei Ihrem Versuchsaufbau und Möglichkeiten, wie man diese beheben bzw. minimieren könnte. Machen Sie sich Notizen.
- 
 5. Ermitteln Sie nun die maximale Beschleunigung auf der Achterbahn Colossos. Diskutieren Sie diesen Wert und recherchieren Sie Auswirkungen solcher Beschleunigungen auf den menschlichen Körper.



Quelle: Heide Park Resort Soltau [heide-park.de](http://heide-park.de)





## Kinematik - Bestimmung der Erdbeschleunigung

— Weiterführende Aufgabe —

1. Erstellen Sie nun ein Diagramm, indem Sie den Weg gegen die Zeitpunkte zum Quadrat ( $t^2$ ) auftragen.
  - a) Welchen Zusammenhang erwarten Sie, wenn Sie die Gesetzmäßigkeiten der gleichmäßig beschleunigten Bewegung betrachten?
  - b) Bestimmen Sie aus dem Diagramm die Erdbeschleunigung.
  - c) Vergleichen Sie Ihren Wert mit dem Wert aus Aufgabe 3.
  - d) Falls sich Ihre Ergebnisse für die Erdbeschleunigung  $g$  aus dieser Aufgabe und Aufgabe 3 unterscheiden, diskutieren Sie mögliche Ursachen hierfür.

### **A.2.5 Lehrerhandreichung zum Smartphone-Experiment *Freier Fall***

Im nachfolgenden Dokument sind Zusatzinformationen für den Lehrer zum Smartphone-Experiment *Freier Fall* zur Bestimmung der Erdbeschleunigung zusammengestellt. Sie sollen bei der Planung, Durchführung und Anpassung an den entsprechenden Kurs unterstützen.



# 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.

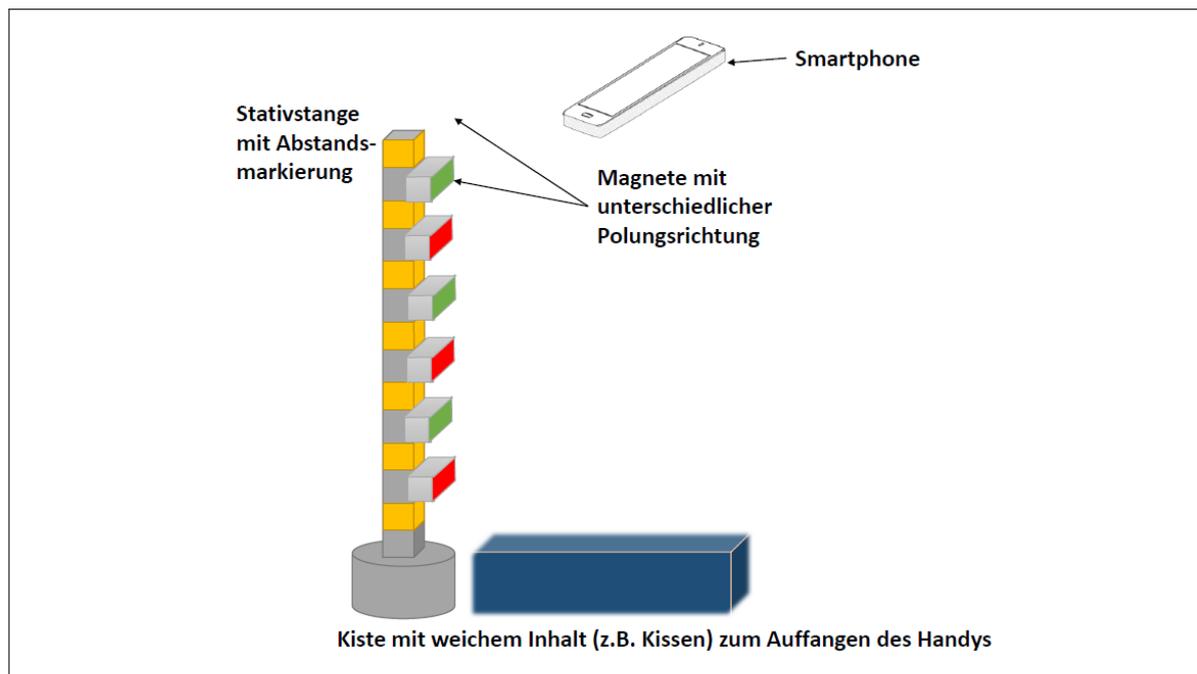


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Smartphone-Experiments zur Bestimmung der Erdbeschleunigung. An der Stativstange werden Markierungen für die Position der Quadermagnete angebracht. Die Magnete werden mit abwechselnder Polungsrichtung an der magnetischen Stativstange befestigt. Zudem ist eine Kiste 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.