

## Experimentieren mit Phyphox



### Einfache Alltagsexperimente und „klassische“ Experimente aus dem Physikunterricht mit dem Smartphone

SEBASTIAN STAACKS – ALEXANDER PUSCH

In diesem Artikel werden einfache Experimente mit der kostenlosen Smartphone App Phyphox zu verschiedenen Themenbereichen des Physikunterrichts beschrieben, um Lehrkräften einen Einstieg und Überblick über verschiedene Möglichkeiten mit der App zu bieten.

#### 1 Was kann Phyphox?

Phyphox (kurz für **physical phone experiments**) ist eine kostenlose App für iOS und Android, die eine Vielzahl der standardmäßig im Smartphone oder Tablet integrierten Sensoren für Messungen nutzt. Die App kann mit Hilfe des Beschleunigungssensors beispielsweise Pendelbewegungen aufzeichnen oder Zentripetalkräfte bestimmen. Der Magnetsensor kann zur Bestimmung von Richtung und Größe des Erdmagnetfelds sowie für Magnetfelder von Permanentmagneten oder Spulen verwendet werden. Falls im Gerät ein Luftdrucksensor verbaut ist, kann zeitaufgelöst die Höhe und somit z.B. die Geschwindigkeit eines Aufzugs bestimmt werden.

Da viele der Schüler/innen eigene Smartphones besitzen oder den Klassen Tablets zur Verfügung stehen, bietet sich mit Phyphox eine hervorragende Möglichkeit für moderne, digitale Schülerexperimente. Diese können mit Material aus der Sammlung aber oftmals auch mit einfachen (Haushalts-) Gegenständen durchgeführt werden, wodurch die allzu oft wahrgenommene Trennung zwischen „der Physik vorne im Fachraum“ und der eigentlichen Lebenswelt außerhalb der Schule verringert werden kann.

#### 2 Programmfunktionen

Öffnet man Phyphox, gibt es verschiedene Abschnitte (Abb. 1). Unter **Sensoren** sind die verschiedenen Sensoren des Smartphones aufgeführt. Ein Beschleunigungssensor und ein Mikrofon sind in der Regel bei jedem Gerät vorhanden, die restlichen Sensoren können je nach Modell ggf. nicht verfügbar sein und sind dann ausgegraut.

Die Daten können je nach Sensor als Graph oder Wert und bei vektoriellen Größen auch als Betrag angezeigt werden. Außerdem gibt es fertige Experimente aus den Bereichen Akustik, Alltag, Magnetismus und Mechanik, die aus den Sensordaten je nach Experiment z.B. eine Frequenz, Entfernung oder den Energieverlust berechnen und ausgeben. Externe Bluetooth-Sensoren, wie z.B. der Texas Instruments Sensor Tag oder auch bluetoothfähige Mikrocontroller können ebenfalls eingebunden werden (s. dazu z.B. DORSEL et al., 2023; PUSCH et al., 2020;

Laborino, o.D.). Zusätzlich stehen in der Kategorie **Werkzeuge** weitere Hilfsmittel wie beispielsweise Neigungsmessung oder ein Beschleunigungsspektrum zur Verfügung.

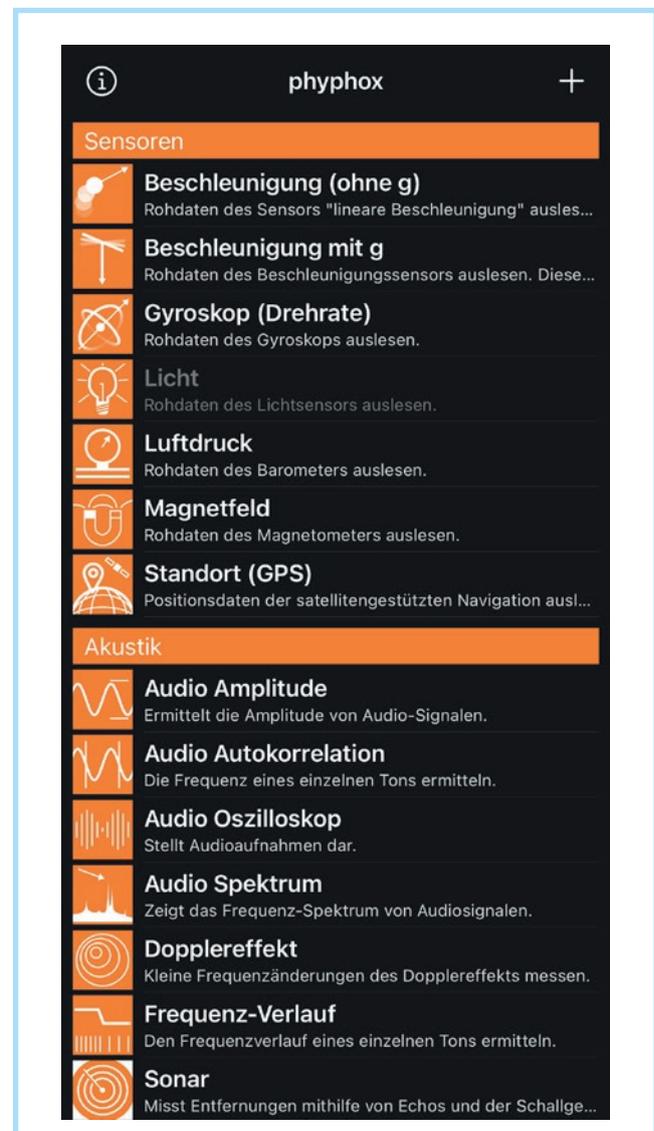


Abb.1. In der App Phyphox hat man Zugriff auf die Sensoren sowie vorkonfigurierte Experimente aus verschiedenen Kategorien.

Die grundsätzliche Bedienung von Phyphox ist immer gleich: Der Sensor bzw. das Experiment wird aus der Übersicht ausgewählt und anschließend die Messung durch Drücken des Symbols ► gestartet und mit II gestoppt. Im oberen Bereich eines geöffneten Sensors bzw. Experiments können verschiedene Reiter angezeigt werden, bspw. Graph oder Betrag. In vielen Fällen ist es auch eine sinnvolle Option, diese Ansicht der Daten in Echtzeit auf einem Tablet oder PC samt Beamer anzuzeigen. Hierzu wird der so genannte Fernzugriff verwendet, der im Experiment über das Menu (Symbol ☰) zu aktivieren ist.

Ein Datenexport z.B. nach Excel für weitere Auswertungen ist ebenfalls möglich.

Eigene Konfigurationen und automatisierte Berechnungen für Experimente können mit einem Editor angelegt werden. Diesen findet man unter <https://phyphox.org/editor>, wo man mit einer grafischen Oberfläche verschiedene Datenquellen (Sensoren, Bluetooth-Geräte, usw.), mathematische Operationen und Elemente der Benutzeroberfläche (Bilder, Plots, Eingabefelder usw.) miteinander verknüpfen kann. Die so erzeugte Konfiguration kann dann mit einem QR-Code den Lernenden bereitgestellt und einfach in das Menü von Phyphox integriert werden.

### 3 Einfache Alltagsexperimente

Die folgenden Experimente eignen sich auf Grund ihrer Einfachheit gut zum Einstieg, um das Funktionsprinzip von Smartphone-Experimenten mit Phyphox zu erlernen.

Eine umfangreiche Datenbank mit diesen und weiteren Experimenten finden Sie unter <https://phyphox.org/expdb>.

#### 3.1 Inelastischer Stoß bei einer aufprallenden Kugel

Mit diesem einfachen Experiment können verschiedene Kugeln auf ihre Eigenschaften hinsichtlich eines elastischen Stoßes verglichen werden (Abb. 2).



Abb. 2. Verschiedene Kugeln und Untergründe können hinsichtlich Ihrer Eigenschaften beim elastischen Stoß verglichen werden.



Abb. 3. Tischtennisball (links) und Plastikball (rechts) im Vergleich beim Aufprall auf eine Tischplatte aus Holz

Unterschiedliche Tische oder Bodenbeläge haben ebenfalls einen Einfluss auf den elastischen Stoß, sowie vor allem auch, ob die Kugeln intakt oder bspw. eingerissen sind. Für die Durchführung wird das Experiment *Inelastischer Stoß* in der Phyphox-App geöffnet und durch Drücken auf das Symbol ► gestartet. Anschließend wird eine Kugel (z.B. Tennisball) auf einer harten Unterlage fallengelassen. Phyphox nimmt mit dem Mikrofon die Geräusche des Aufprallens auf.

Das Experiment misst die Zeiten zwischen dem jeweiligen Aufprall des Körpers und berechnet daraus die maximale Höhe und die im Bezug zur Ausgangshöhe nach dem jeweiligen Stoß noch erhaltene Energie (Abb. 3).

#### 3.2 Höhe und Geschwindigkeit eines Aufzugs

Durch den Luftdrucksensor (Achtung: nicht in jedem Gerät ist einer verbaut) kann Phyphox eine Höhendifferenz und daraus auch die vertikale Geschwindigkeit berechnen.

Hierzu wird das Experiment *Aufzug* gestartet und mit einem Aufzug eine Höhendifferenz von mehreren Stockwerken zurückgelegt. Alternativ können auch die Treppen genommen oder ein Smartphone im gepolsterten Behältnis an einem Seil im Treppenhaus hinuntergelassen werden. Im Vorfeld kann die Höhe anhand der zurückgelegten Stockwerke abgeschätzt und mit der Messung verglichen werden.

#### 3.3 Pulsmessung

Wird das Smartphone auf den Brustkorb oder Bauch gelegt, kann anhand der Interpretation des Verlaufs der Beschleunigung auf einer der drei Sensor-Achsen die eigene Pulsfrequenz bestimmt werden (Abb. 4). Hierzu wird das Experiment *Beschleunigung (ohne g)* gestartet und im Liegen (bspw. Bett, Sofa, Boden oder Tisch) das Smartphone entsprechend auf Bauch oder Brustkorb positioniert. Nach etwa 10 Sekunden kann die Messung gestoppt werden.



Abb. 4. Typische Messergebnisse des Beschleunigungssensors von einem auf der Brust liegenden Smartphone

### 3.4 Umdrehungszahl messen

Phyphox kann mittels Fouriertransformation der Daten des Beschleunigungssensors ein Frequenzspektrum anzeigen und auch die Frequenzspitze aus dem aufgenommenen Spektrum angeben. Dies kann z.B. verwendet werden, um Umdrehungszahlen von einer (mechanischen) Festplatte, einer Bohrmaschine oder einem Motor zu bestimmen. Hierzu wird das Experiment *Beschleunigungsspektrum* gestartet und anschließend das Smartphone z.B. auf die Festplatte gelegt. Die Abbildung 5 zeigt das Beschleunigungs-Spektrum einer Festplatte, die mit einer Drehrate von  $7200 \text{ min}^{-1}$  arbeitet. Die Auflösung des Spektrums kann durch eine höhere Zahl von Datenpunkten im Tab „Einstellungen“ verbessert werden.

Wenn an dem rotierenden Gegenstand ein kleiner Magnet platziert werden kann, wie bspw. bei einer Fahrradfelge, bietet sich alternativ auch das Experiment *Magnetfeldspektrum* an. Mittels Magnetfeldsensor wird dann der am Smartphone vorbei bewegte Magnet registriert und daraus die Rotationsfrequenzen bestimmt.

## 4 „Klassische“ Experimente aus dem Physikunterricht

Nachfolgend werden Variationen von im Physikunterricht typischen Experimenten aus verschiedenen Themenbereichen vorgestellt. Je nach Ausstattung der Sammlung gibt es oft auch viele Möglichkeiten zur Improvisation oder Abwandlung: Als Behältnis für das Smartphone können ein Druckverschlussbeutel, ein Topfhandschuh, eine Chipsdose oder ein gepolsterter Versandumschlag verwendet werden. Damit die Smartphones keinen Schaden nehmen, ist es bei manchen Experimenten sinnvoll, die Umgebung zu polstern. Dies kann z.B. mit Socken, Pappe, Luftpolsterfolie, Handschuhen, Jacken etc. (improvisiert) erfolgen.

### 4.1 Themenbereich Mechanik

#### 4.1.1 Federpendel

Ein Federpendel lässt sich einsetzen, um (harmonische) Oszillationen zu zeigen, die Periodendauer zu bestimmen oder auch um gedämpfte Schwingungen zu untersuchen. Der Aufbau erfolgt mit gängigem Stativmaterial und einer Schraubfeder. Das Smartphone, welches gegenüber dem einfachen Experiment die Messwerterfassung ergänzt, kann einfach in einem Druckverschlussbeutel an der Feder aufgehängt werden. Dieser bietet gegenüber anderen Beuteln oder Taschen den Vorteil, dass das Gerät einfach durch das transparente Material hindurch bedient werden kann.

Das Pendel wird wie in der Abbildung 6 aufgebaut. Um das Pendel mit dem Beschleunigungssensor des Smartphones zu untersuchen, wird das Experiment *Beschleunigung (ohne g)* gestartet und das Pendel wird leicht ausgelenkt. In der ersten Ansicht in der App werden die Werte für die Beschleunigung der einzelnen Koordinatenachsen angezeigt (Abb. 7). Auf den Graphen ist eine Oszillation erkennbar, die sich je nach Ausrichtung des Smartphones und Bewegungsrichtung in einer oder zwei Achsen

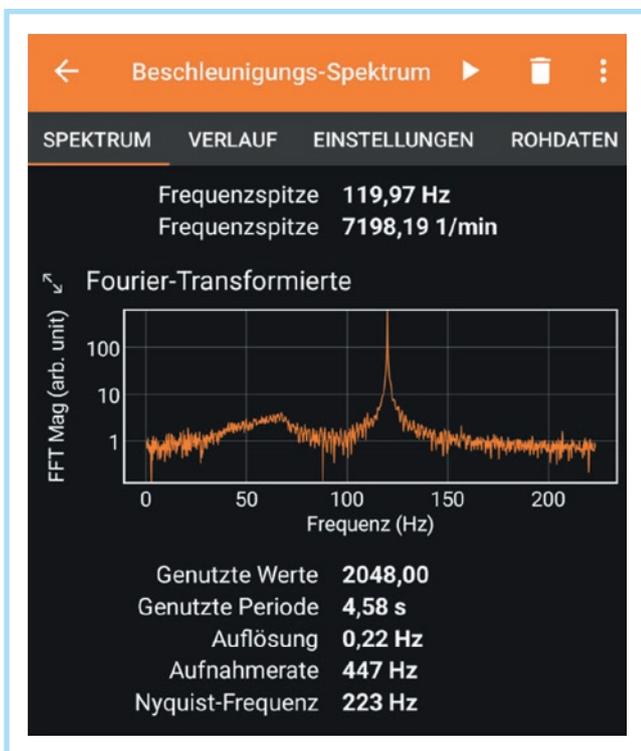


Abb. 5. Beschleunigungs-Spektrum einer Festplatte, die mit einer Drehrate von  $7200 \text{ min}^{-1}$  arbeitet

besonders deutlich zeigt. Ein Schlingern des Smartphones beim Pendeln kann zu vom idealen Modell abweichenden Ergebnissen führen. Eine Diskussion dieser und weiterer Einflüsse auf die Messergebnisse kann aber im Anschluss sehr ertragreich sein. Eine Alternative ist das vorgefertigte Experiment *Federpendel*. Hier lässt sich u.a. auch direkt die Frequenz und Periode ausgeben.

Anstelle der Schraubenfeder lässt sich auch ein dickeres Gummiband untersuchen. Dieses resultiert dann allerdings nicht in einer idealen harmonischen Oszillation. Durch die Verwendung von unterschiedlich großen Pappscheiben, die waagrecht am unteren Ende der Feder befestigt werden, lassen sich verschiedene starke Dämpfungen realisieren.

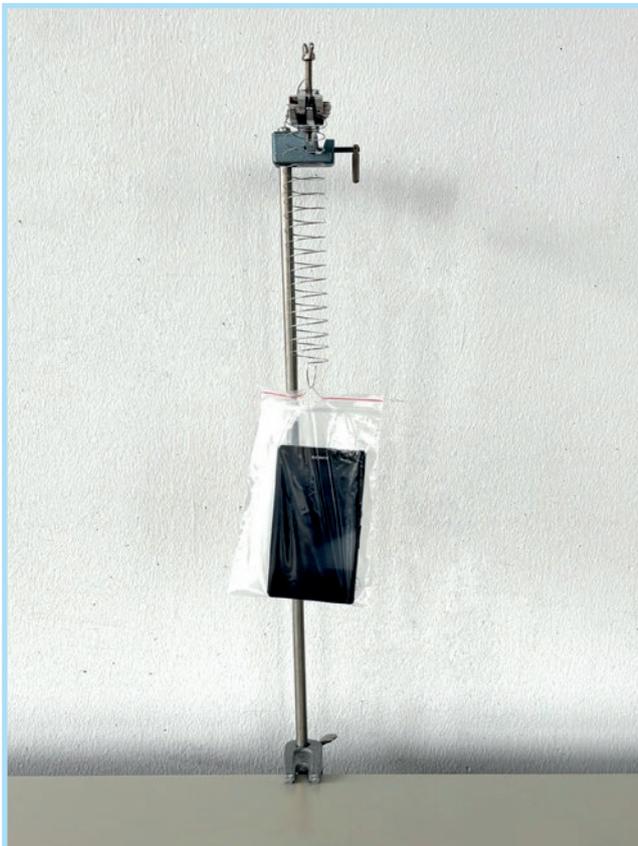


Abb. 6. Einfacher Aufbau eines Federpendels

#### 4.1.2 Fadenpendel

Das Fadenpendel ist dem zuvor diskutierten Federpendel insbesondere im Hinblick auf seine Einsatzmöglichkeiten sehr ähnlich. Ein Fadenpendel kann jedoch wesentlich leichter durch Haushaltsmittel mit einer Schnur oder einem Faden aufgebaut werden. Zudem unterscheidet es sich darin, dass die Bewegung über das Gyroskop (eigentlich ein Drehratensensor) des Smartphones aufgezeichnet wird, welches nicht die Beschleunigung, sondern die Winkelgeschwindigkeit erfasst.

Das Experiment wird wie in den Abbildungen 8 oder 9 aufgebaut. Beim realen Fadenpendel, welches kein idealer Massepunkt ist, sollte für bessere Ergebnisse die Aufhängung bifilar, also an zwei Fäden hängend, ausgeführt werden.

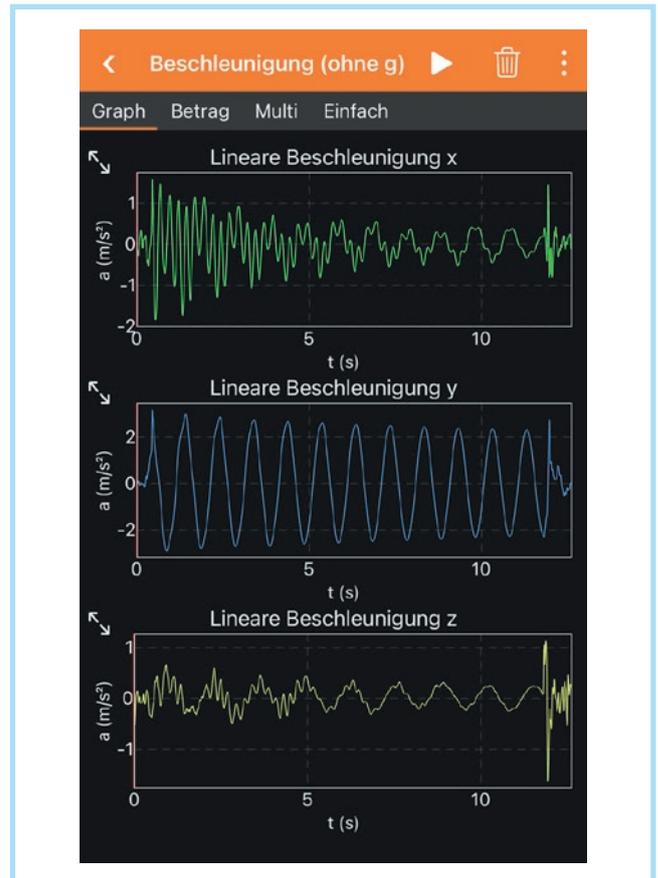


Abb. 7. Messergebnisse eines Federpendels

Für das Fadenpendel eignet sich das Experiment *Gyroskop (Drehrate)* besser als z.B. *Beschleunigung (ohne g)*. In der ersten Ansicht werden die Werte für die Winkelgeschwindigkeit der einzelnen Koordinatenachsen angezeigt (Abb. 10). Bei dem Aufbau mit dem Druckverschlussbeutel ist im Vergleich zu einer Variante mit einer Papprolle auch besser die Dämpfung durch Luftreibung erkennbar.

In dem vorgefertigten Experiment *Fadenpendel* lässt sich u.a. neben der Frequenz und Periode auch die aus den Schwingungsdaten ermittelte Pendellänge zum Massenmittelpunkt ausgeben. Die Fadenlänge lässt sich in dem Aufbau auf einfache Art kürzen, bspw. indem ein paar Windungen um die Stativstange gewickelt werden, sodass schnell der Zusammenhang zwischen Periodendauer und Fadenlänge gezeigt werden kann.

#### 4.1.3 Zentripetalbeschleunigung einer Kreisbewegung

Da die meisten Smartphones über einen Drehratensensor (Gyroskop) und einen Beschleunigungssensor verfügen, können Winkelgeschwindigkeit und Beschleunigung zeitgleich aufgezeichnet werden, um den Zusammenhang zwischen Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit einer Kreisbewegung zu messen.

Als Versuchsaufbau eignet sich nahezu alles, was das Smartphone bei moderater radialer Beschleunigung mit festem Radius auf einer Kreisbahn bewegt. Leicht verfügbare Beispiele sind Salatschleudern, Jutebeutel, Chipsdosen am Seil, drehbare Hocker oder Schreibtischstühle sowie Spielplatzkarussells.



Abb. 8. Einfacher bifiler Aufbau eines Fadenpendels mit einem Druckverschlussbeutel

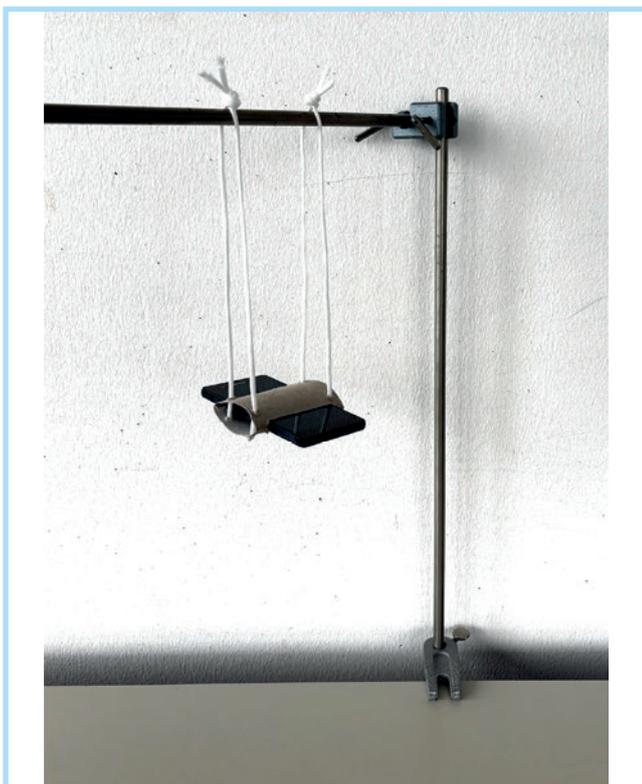


Abb. 9. Einfacher bifiler Aufbau eines Fadenpendels mit einer Papprolle

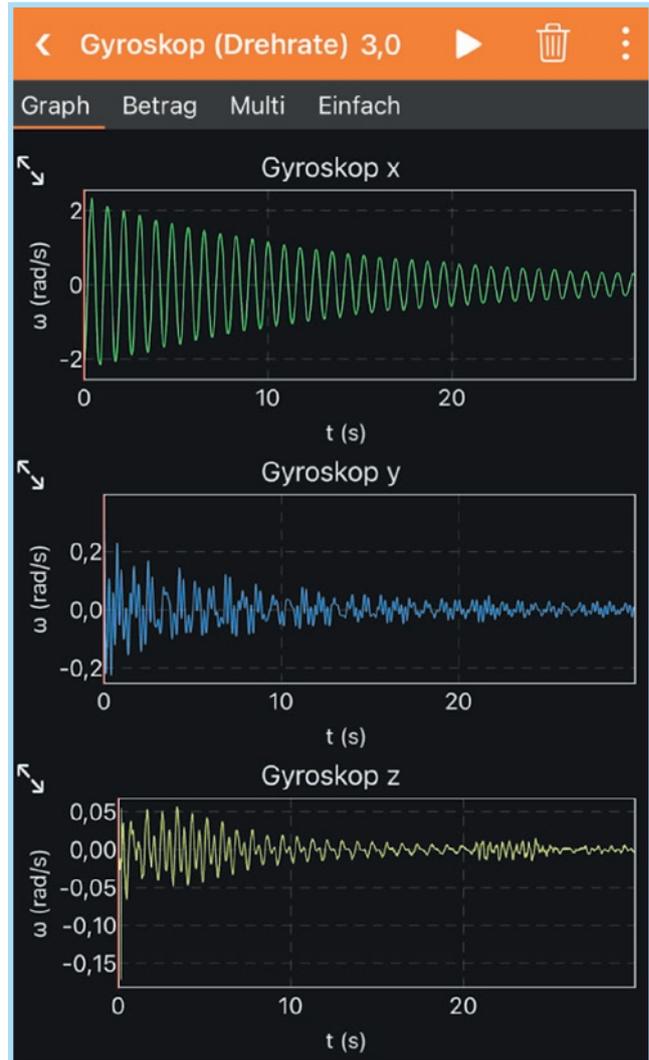


Abb. 10. Messergebnisse eines Fadenpendels (hier Variante Druckverschlussbeutel)

Das Smartphone wird in oder an einem rotierbaren Gegenstand befestigt (z.B. Abb. 11 oder 12). Dabei ist unbedingt auf eine sichere Befestigung zu achten! Wird eine Salatschleuder verwendet, ist es hilfreich ein Gegengewicht (bspw. 2. Smartphone) hinzuzulegen, um eine Unwucht auszugleichen. Das Experiment *Zentripetalbeschleunigung* wird gestartet und das Objekt mit unterschiedlichen Umdrehungsgeschwindigkeiten rotiert. In der ersten Ansicht werden die Werte für die Beschleunigung gegen die Winkelgeschwindigkeit aufgetragen. In der quadratischen Auftragung ergibt dies eine Gerade (Abb. 13).

## 4.2 Themenbereich Akustik

### 4.2.1 Schwebung

Mit zwei (bzw. drei) Smartphones oder Tablets lässt sich leicht eine akustische Schwebung erzeugen und bei Bedarf auch visualisieren. Hierzu werden die beiden Smartphones nebeneinander platziert und auf jedem wird der *Tongenerator* in der App geöffnet. Auf dem einen Smartphone wird eine Frequenz von 440 Hz und auf dem anderen eine Frequenz von 442 Hz eingestellt. Über die Lautstärketasten der Geräte werden die Lautstärken angepasst, bis sie möglichst gleich sind und eine

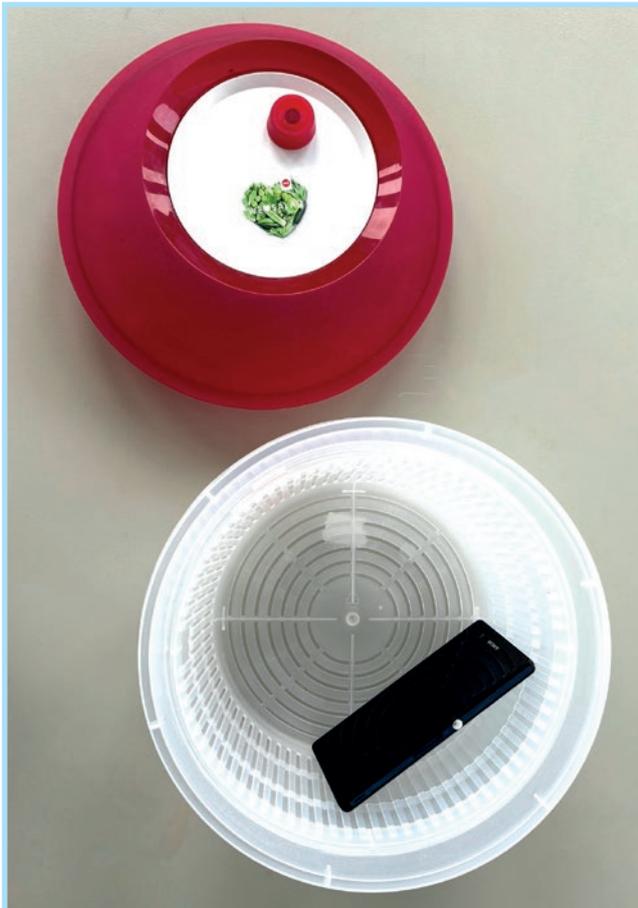


Abb. 11. Beschleunigung einer Kreisbewegung in einer Salatschleuder

Schwabung hörbar wird. Je nach Ziel und Interesse können Frequenzen variiert oder einzelne Töne gestoppt und wieder fortgesetzt werden. Eine deutliche Schwabung sollte hörbar sein. Durch leichte Variation der Frequenzen kann vor allem die modulierende Frequenz der Einhüllenden angepasst werden. Die Lautstärken sind leichter abzugleichen, wenn zwei baugleiche Geräte verwendet werden.

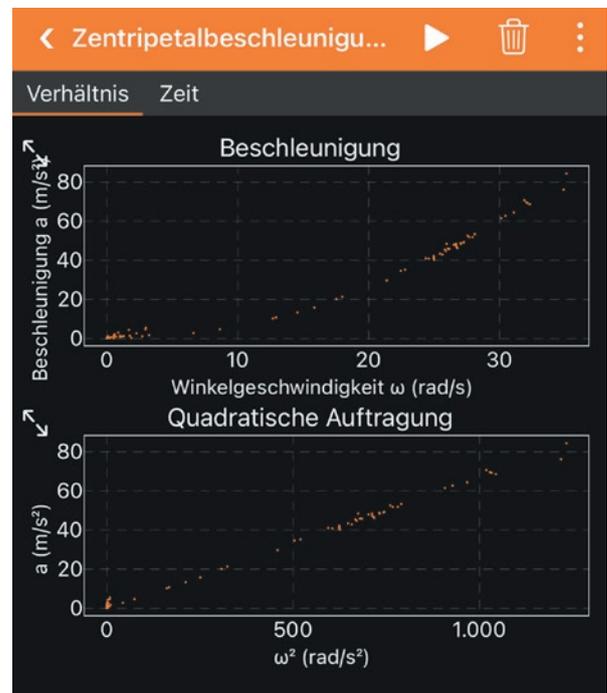


Abb. 13. Zusammenhang zwischen Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit einer Rotationsbewegung (hier: Salatschleuder)



Abb. 12. Low-cost-Variante mit einer Chipsdose

Mit einem dritten Smartphone kann die Schwabung mit dem Experiment *Audio Oszilloskop* visualisiert werden (Abb. 14). Hierzu empfiehlt es sich, die „Dauer“ auf 500 ms zu erhöhen und durch Antippen des Graphen und zwei-Finger-Gesten eine feste Achsenskalierung einzustellen.



Abb. 14. Visualisierung der Schwabung zweier Töne mit 440 Hz und 446 Hz durch ein drittes Smartphone

Noch minimalistischer kann die Schwebung auch mit nur einem Smartphone erzeugt werden, da der Tongenerator auch einen Zweitonmodus anbietet. Dies hat aber die Einschränkung, dass die Schwebung nicht mehr durch die *physikalische* Überlagerung und Auslöschung zweier Wellen, sondern *mathematisch* vor der Ausgabe über den Lautsprecher entsteht.

### 4.2.2 Schallgeschwindigkeit mit akustischer Stoppuhr

Mithilfe zweier Smartphones oder Tablets sowie einem Maßband kann vergleichsweise anschaulich die Schallgeschwindigkeit gemessen werden. Der Versuch sollte von zwei Personen durchgeführt werden, welche die beiden Smartphones im Abstand von z.B. 5 m auf Tischen oder ähnlichem platzieren und in der App das Experiment *Akustische Stoppuhr* auswählen, welches die Zeit zwischen zwei lauten Geräuscheignissen messen kann. Die beiden Personen befinden sich jeweils an einem Endpunkt mit den Smartphones zwischen ihnen (Abb. 15). Auf beiden Smartphones wird die „Schwelle“ der akustischen Stoppuhr im Bereich 0 bis 1 angepasst, bis die Zeitmessung nicht mehr automatisch startet, aber von beiden Personen durch ein lautes Klatschen ausgelöst werden kann: Ist die akustische Stoppuhr zu empfindlich, muss die Schwelle erhöht werden. Kann ein Klatschen die Stoppuhr nicht auslösen, muss die Schwelle verringert werden.

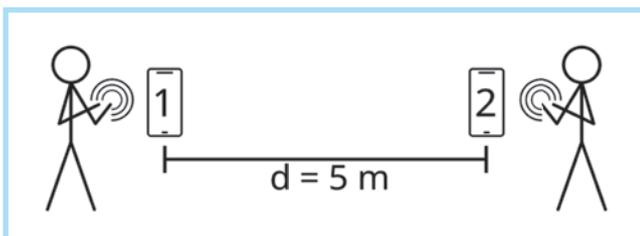


Abb. 15. Aufbau zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mittels akustischer Stoppuhr

Die Person an Position 1 klatscht in die Hände, so dass die Zeitmessung auf beiden Smartphones startet. Person 2 muss nicht schnell reagieren und kann nach einer gewissen Reaktionszeit ebenso in die Hände klatschen und damit die Zeitmessung beider Smartphones stoppen. Die gemessenen Zeitintervalle  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$  werden notiert. Aufgrund der Laufzeit des Schallsignals haben beide Stoppuhren leicht unterschiedliche Zeiten gemessen.  $\Delta t_1$  beinhaltet die Laufzeit der Schallwelle des ersten Klatschens von Position 1 zu Position 2, die Reaktionszeit der zweiten Person und schließlich die Laufzeit des zweiten Klatschens von Position 2 zu Position 1. Das zweite Zeitintervall  $\Delta t_2$  hingegen umfasst nur die Reaktionszeit der Person an Position 2. Die Differenz entspricht somit zweimal der Schalllaufzeit auf dieser Strecke, so dass die Schallgeschwindigkeit über die gemessene Strecke berechnet werden kann:

$$v = \frac{2 \cdot d}{\Delta t_1 - \Delta t_2}$$

Bei diesem Versuch ist ein Ergebnis im Bereich von 300 m/s bis 370 m/s zu erwarten. Wenn ein ausreichend lautes Klatschen schwerfällt, können Hilfsmittel wie beispielsweise Starterklappen aus dem Sportunterricht genutzt werden.

Durch eine etwas erschwerte Durchführung kann die Auswertung intuitiver werden: Hierzu wird das erste Klatschen in der Mitte zwischen beiden Geräten durchgeführt, so dass beide Uhren gleichzeitig starten. Ein zweites Klatschen von einer der beiden Smartphonepositionen führt nun sehr intuitiv zu einer Differenz, die der einfachen Laufzeit entspricht. Hierbei wird allerdings auch die Messunsicherheit aufgrund der kleineren Zeitdifferenz noch etwas größer.

### 4.2.3 Frequenz und Schwingungsanalyse

Smartphones können mit ihren Mikrofonen beliebige Schallquellen auf diverse Messgrößen hin untersuchen. Da die Frequenz, deren Verlauf sowie auftretende Oberschwingungen besonders interessant sind, bieten sich insbesondere „musikalische Schallquellen“ wie Stimmgabel und Schlägel, Monochord, Ukulele oder Gitarre an (Abb. 16).

Das Smartphone wird neben dem tonerzeugenden Gegenstand platziert. Das Phyphox-Experiment *Audio Oszilloskop* wird geöffnet, die Messung gestartet und ein Ton, Klang bzw. Geräusch erzeugt. Das Experiment *Audio Oszilloskop* kann bei einem Vergleich einer Gitarre zu einer Stimmgabel Obertöne zeigen, die den Klangunterschied zwischen beiden Quellen erklären (Abb. 17). Die Obertöne sieht man besonders deutlich direkt nach dem Zupfen der Gitarre. Beim „Ausklängen“ verschwinden die Obertöne immer mehr.

Auch die eigene Stimme (Summen, Singen oder Vokale) eignet sich für Experimente (mehr dazu in HEINICKE, 2023).



Abb. 16. Experimente zur Untersuchung der Frequenz und von Oberschwingungen

### 4.2.4 Konstruktive und destruktive Interferenz in einer Papprolle

Eine Demonstration der Interferenz von Schallwellen mit direkter Interaktion kann unter Verwendung eines Kopfhörerpaars (Ohrstöpsel oder auch „Earbuds“) in einer Röhre wie beispielsweise einer Papprolle oder einer Chipsdose umgesetzt werden.

Die Kopfhörer werden an das Smartphone angeschlossen und ein Ohrstöpsel auf dem Tisch platziert. Hierauf wird die Röhre gestellt, so dass der zweite Stöpsel noch von oben in die Röhre herabgelassen werden kann (Abb. 18). In phyphox wird der

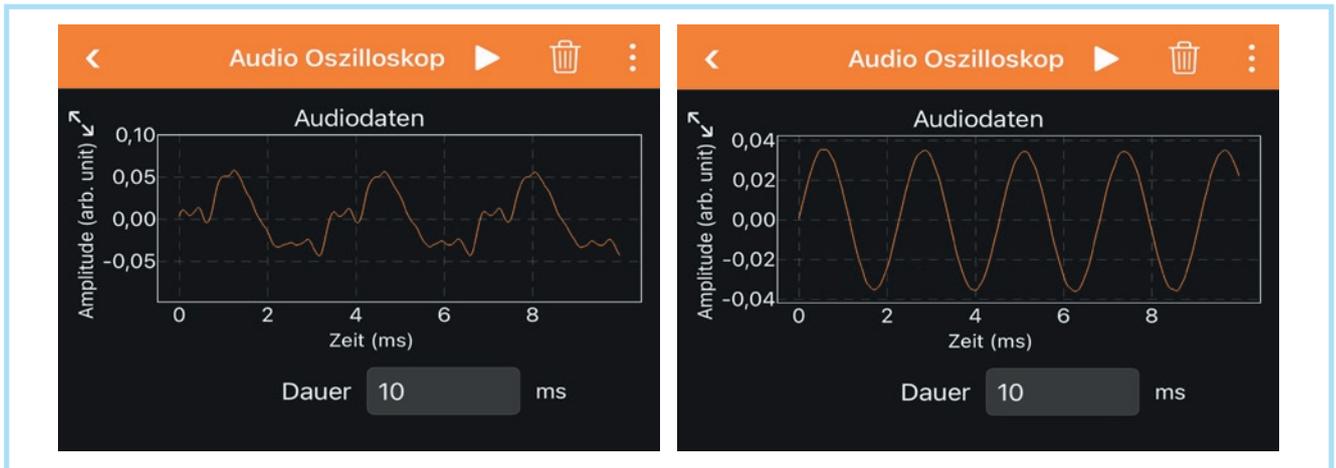


Abb. 17. Zeit-Amplitudenverlauf im Audio Oszilloskop (links Ukulele, rechts Stimmgabel)

Tongenerator geöffnet und die Frequenz auf 3000 Hz gestellt. Während der Ton abgespielt wird, wird der obere Ohrstöpsel in die Röhre abgesenkt. Abhängig davon, wie weit der obere Stöpsel herabgelassen wird, ist ein Anschwellen und Abnehmen des Tons fast bis zur vollständigen Auslöschung deutlich hörbar.

Misst man die Abstände der Minima anhand dessen, wie weit der Stöpsel herabgelassen werden muss, kann man über die bekannte Frequenz des Tons die Schallgeschwindigkeit bestimmen. Gestapelte Toilettenpapierrollen oder eine Küchenrolle sind besonders als Röhre geeignet, da diese zugleich die Umgebung dämpfen und Reflexionen minimieren.



Abb. 18. Experiment zur Interferenz von Schallwellen, hier mit Toilettenpapier als Röhre

### 4.3 Bereich (Elektro-)Magnetismus

#### 4.3.1 Magnetische Feldstärke eines Magnets

Der in den meisten Smartphones verfügbare Magnetfeldsensor bietet sich zur Bestimmung des Einflusses zwischen magnetischer Feldstärke und Abstand eines Magneten an. Neben dem Magneten wird lediglich ein Lineal benötigt.

Die Datenaufnahme erfolgt über das Experiment *Magnetfeld*. Zunächst wird die genaue Position (z.B. mit einem kleinen Permanentmagneten) des Magnetfeldsensors im Gerät ermittelt, um den Aufbau passend auszurichten. Ein Lineal und ein Magnet werden nun auf einer (gedachten) Linie zum Magnetfeldsensor platziert (Abb. 19). An verschiedenen Positionen können nun Messwertpaare aus Abstand und magnetischer Feldstärke genommen werden.

Phyphox zeigt die magnetische Feldstärke in drei Raumachsen an. Die Auswertung sollte sich auf eine feste Raumachse (durch Ausprobieren zu wählen) beschränken (Abb. 20). Durch Wechseln der Ansicht auf *Einfach* können auch diskrete Werte statt des Graphen abgelesen werden.

Das Erdmagnetfeld (sowie ggf. weitere Quellen) wird einen geringen Offset erzeugen, der bei der weiteren Auswertung entsprechend abgezogen werden kann. Es ist prinzipiell egal, ob der Magnet zum Sensor hin oder vom Sensor wegbewegt wird. Da Phyphox die Anzeige aber automatisch skaliert, ist die letztgenannte Variante oft sinnvoller.

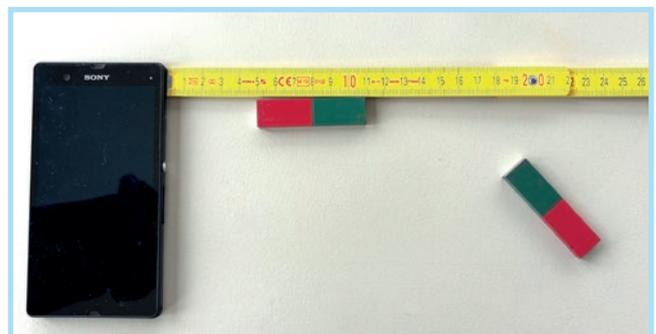


Abb. 19. Einfacher Aufbau für Experimente zur Untersuchung der Beziehung zwischen Abstand und magnetischer Feldstärke eines Permanentmagneten

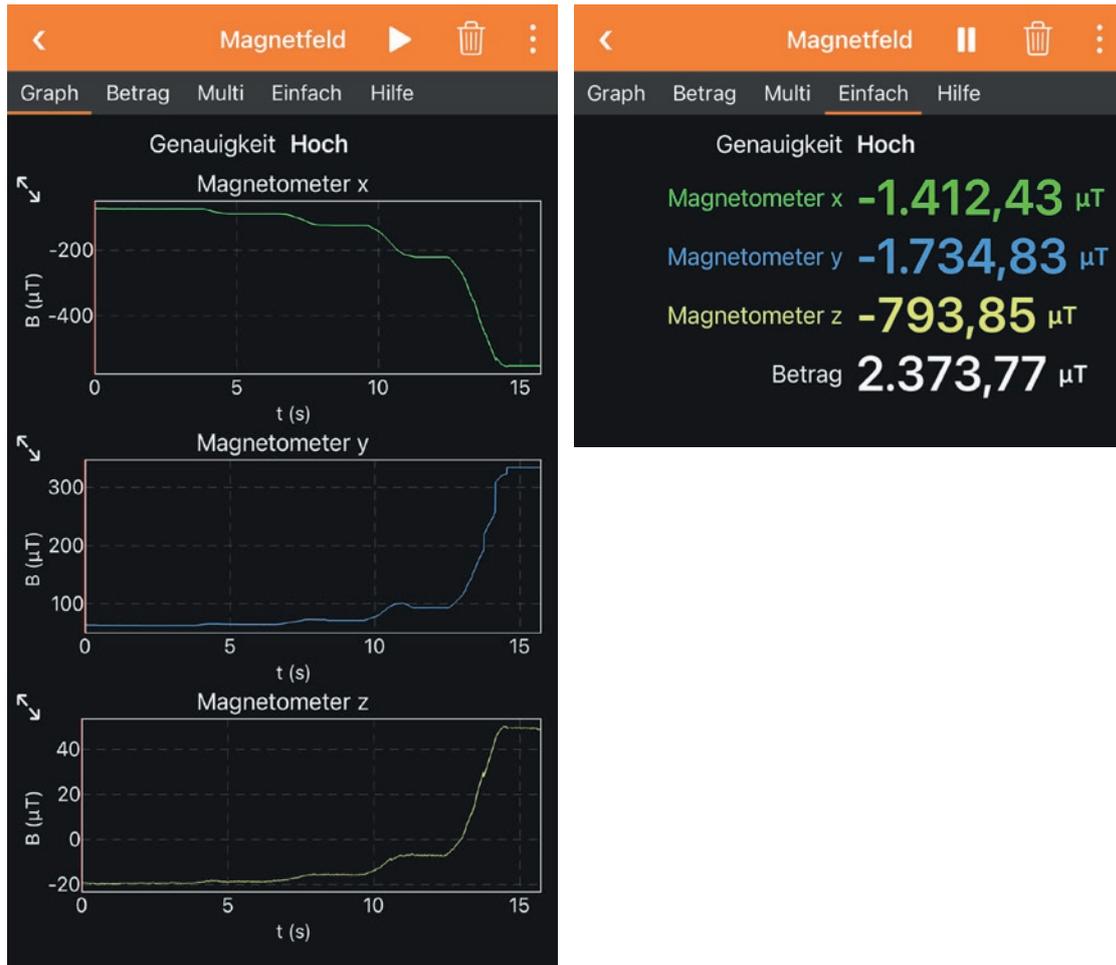


Abb. 20. Die Auswertung kann als zeitlich abhängiger Graph (links) oder als Wert (rechts) erfolgen



Abb. 21. Einfache Experimente zur Untersuchung der Eigenschaften einer Spule

#### 4.3.2 Untersuchung des Magnetfeldes einer Spule

Verwendet man Spulen statt Permanentmagnete, kann die magnetische Feldstärke in Abhängigkeit von weiteren Parametern betrachtet werden. Hier bietet sich die Variation von Stromstärke, Kernen und Windungszahl an.

Für diesen Versuch wird nun Material aus der E-Lehre benötigt. Für eine stromdurchflossene Spule sind Laborkabel, Batterien oder Netzgerät und Klemmen erforderlich. Bei den Spulen kann es sich um Bauteile handeln oder sie können mit Laborkabeln gewickelt werden, wobei sich als Wickelkörper Stifte oder Stativstangen aus Aluminium und ggf. Eisen eignen.

Eine Spule wird in der Nähe des Magnetfeldsensors platziert (Abb. 21). Da der Messbereich der meisten Magnetometer in Mobilgeräten nur wenige Millitesla umfasst, sollte man mit vergleichsweise kleiner Stromstärke oder wenigen Windungen beginnen und wie zuvor im Experiment *Magnetfeld* die Messwerte überwachen. Anschließend können verschiedene Konfigurationen der Spule und der angelegten Spannung im gleichen Abstand und Raumwinkel realisiert werden. Die Auswertung sollte sich auch hier auf die relevante Raumachse fokussieren. In Abbildung 22 sind die Ergebnisse der magnetischen Feldstärke einer Spule mit zunächst 10 und im weiteren zeitlichen

Verlauf mit 2 Windungen zu sehen. Die Wicklungen wurden zwischen beiden Messungen entsprechend abgewickelt. Es lassen sich die typischen Eigenschaften der variablen Wicklung, Abstand, Kern und Stromstärke (durch Variation der angelegten Spannung) als Auswirkung auf die magnetische Feldstärke demonstrieren. Markierungen für die Position des Smartphones und der Position der Spule (= Messpunkt) in Form von Klebemarkierungen auf dem Tisch oder auf einem Blatt Papier können hier sehr hilfreich sein.

Durch das Bestimmen von zwei Wertepaaren aus Stromstärke und gemessener magnetischer Feldstärke lässt sich Phyphox auch als Amperemeter verwenden (HOLZ & PUSCH, 2019).

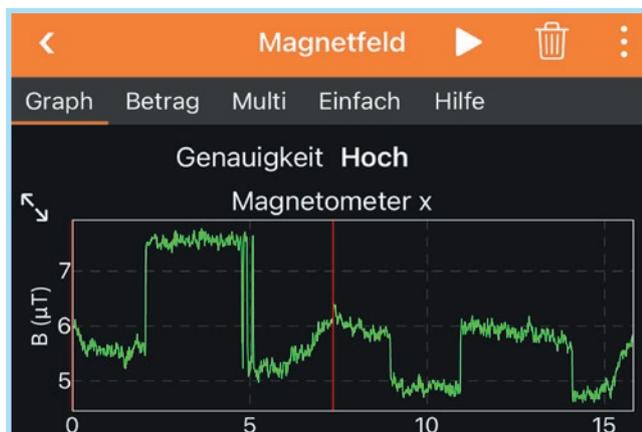


Abb. 22. Ergebnisse der magnetischen Feldstärke einer Spule mit 10 bzw. 2 Windungen

## 5 Fazit

Die hier vorgestellten Experimente sind prinzipiell als Demonstrations- und als Schülerexperimente umsetzbar. In der Demonstration bietet sich die Nutzung des Fernzugriffs an, mit

dem die Ergebnisse für alle sichtbar auf dem Beamer oder Smartboard dargestellt werden können. Im Schülerexperiment können mehrere Ziele verfolgt werden. Neben der eigentlichen Durchführung der Messung selbst kann zum Beispiel auch eine ideenreiche kreative "Improvisation" im Vordergrund stehen. Gerade auch (vermeintlich) einfache Experimente mit Alltagsmaterialien können Schüler/innen die Möglichkeit eröffnen, um über den Messprozess, den Gültigkeitsbereich und mögliche Fehlereinflüsse nachzudenken und die Durchführung der Experimente hinsichtlich der Messung zu optimieren.

## Literatur

DORSEL, D., STAACKS, S., LOCH, M. & PUSCH, A. (2023). Sensordaten drahtlos zur Smartphone-App Phyphox übertragen und grafisch auswerten. Ein einfaches Beispiel mit dem ESP32 und dem Ultraschallsensor HC-SR04. *MNU-Journal*, 76(1), 36–43.

HEINICKE, S. (2023). Dem Klang auf der Tonspur. Experimente zu Frequenzspektren und zur akustischen Wahrnehmung bei Hörbeeinträchtigungen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 193, 19–22.

HOLZ, C. & PUSCH, A. (2019). Stromstärke und Permeabilitätszahl mit dem Smartphone messen. Ein Spulenclip aus dem 3D-Drucker für Phyphox-Experimente. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 169, 46–47.

Laborino (o.D.). *Laborino-dein Labor für die Hosentasche*. [www.laborino.de](http://www.laborino.de) (letzter Abruf am 28.02.2025).

PUSCH, A., UBBEN, M., LAUMANN, D., HEINICKE, S. & HEUSLER, S. (2021). Real-time data acquisition using Arduino and Phyphox: measuring the electrical power of solar panels in contexts of exposure to light in physics classroom. *Physics Education*, 56, 1–13. doi: 10.1088/1361-6552/abe993.

Dr. SEBASTIAN STAACKS, [staacks@physik.rwth-aachen.de](mailto:staacks@physik.rwth-aachen.de), lehrt und forscht als Entwickler der App phyphox am 2. Physikalischen Institut A der RWTH Aachen University.

Dr. ALEXANDER PUSCH, [alexander.pusch@uni-muenster.de](mailto:alexander.pusch@uni-muenster.de), lehrt und forscht am Institut für Didaktik der Physik an der Universität Münster. ■