

Dominik Dorsel  
 Sebastian Staacks  
 Simon Hütz  
 Heidrun Heinke  
 Christoph Stampfer

RWTH Aachen University

## Smartphone-gestützte Experimente außerhalb der Physik

### Die App *phyphox*

Die App *phyphox* ermöglicht mithilfe der intern verbauten Sensoren das Experimentieren mit dem Smartphone (Staacks, Hütz, Heinke & Stampfer 2018). Sie eröffnet damit einen niederschweligen und kostengünstigen Zugang zum breiten Einsatz von Experimenten mit digitaler Messwerterfassung auch in sehr großen Lernergruppen. In der Regel sind Mikrofon, GPS, Beschleunigungs- und Magnetfeldsensor in den Smartphones vorhanden. Je nach Smartphone-Modell wird die Auswahl durch weitere Sensoren wie einen Drehratensensor, ein Barometer oder einen Lichtsensor ergänzt. Die verfügbaren Sensoren ermöglichen eine Vielzahl an Experimenten vor allem aus dem Bereich der Mechanik und teilweise auch aus anderen Gebieten der Physik (Kuhlen, Stampfer, Wilhelm & Kuhn 2017). Auch deshalb ist die App *phyphox* in der Physik-Lehre mit über ~800.000 Downloads mittlerweile weit verbreitet.

Sollen Smartphone-Experimente auch in anderen naturwissenschaftlichen Fächern erfolgreich und umfassend genutzt werden, ist der Zugriff auf weitere Sensortypen zwingend erforderlich. Beispielsweise eignet sich ein pH-Meter besonders für die Lehre in der Chemie oder Biologie. Für alle Naturwissenschaften wäre z.B. auch die Nutzung eines low-cost Spektrometers interessant, wobei hier neben Sensoren auch Aktuatoren zum Einsatz kommen können.

### Externe Sensoren durch Bluetooth Low Energy

Seit Juni 2019 ermöglicht *phyphox* das Einbinden von externen Sensoren über die Schnittstelle Bluetooth Low Energy (BLE). Im Folgenden werden nutzbare Sensoren vorgestellt, welche zur besseren Übersicht in drei Kategorien unterteilt werden.

Die erste Kategorie sind Sensorboxen wie der SensorTag von Texas Instruments oder der PocketLab Voyager von Myriad Sensors, welche ohne weitere Einstellungen bequem mit *phyphox* ausgelesen werden können. Je nach Sensorbox wird die Auswahl der verfügbaren Sensoren so um Sensoren zur Messung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder einer Distanz erweitert. Zusätzlich enthalten diese Sensorboxen auch bereits aus dem Smartphone bekannte Sensoren, die aber durch die robuste und teilweise deutlich kleinere Bauform auch in Experimentiersituationen verwendet werden können, die für den Einsatz von internen Smartphone-Sensoren ungeeignet erscheinen.

Die zweite Variante neben kommerziellen Sensorboxen sind BLE fähige Geräte aus dem Alltag, welche zum Experimentieren verwendet werden können. Dazu zählen zum Beispiel die weit verbreiteten Fitness-Tracker, ein BLE Multimeter oder eine BLE Computer-Maus als Distanzsensor. Diese Geräte sind idealerweise bereits vorhanden und müssen vom Nutzer nicht erst erworben werden. Allerdings erfordert das erstmalige Einbinden der Geräte Kenntnisse über die Schnittstelle BLE. Wurde ein Alltagsgerät von einem *phyphox*-Nutzer erstmalig eingebunden, können die erstellten Konfigurationen über das *phyphox*-Forum geteilt und dann auch von anderen Nutzern verwendet werden.

Die dritte und vielfältigste Möglichkeit ist der Eigenbau von Sensormodulen auf Basis von Mikrocontrollern. Moderne Mikrocontroller wie der ESP32 oder die aktuelle Arduino-Nano Reihe unterstützen bereits die Kommunikation über BLE und ermöglichen es, praktisch jeden beliebigen Sensor auszulesen. Zusätzlich können Mikrocontroller auch Relais oder Schrittmotoren steuern und erlauben damit die Entwicklung auch komplexerer Messapparaturen wie zum Beispiel eines Eigenbau-Spektrometers. Die Entwicklung und teilweise auch Nutzung von Eigenbau-Sensormodulen erfordert entweder entsprechendes Vorwissen oder eine Einarbeitungszeit. Sie ermöglicht es aber gleichzeitig, die Sensoren optimal an das Experiment anzupassen und insgesamt die experimentellen Gegebenheiten aus didaktischer Sicht zu optimieren.

### Eigenbau-Spektrometer auf Basis eines Mikrocontrollers

Ein Spektrometer ist ein Beispiel für eine einfache Messapparatur, die durch die Kommunikation der App *phyphox* mit externen Sensoren und Aktuatoren (hier einem Schrittmotor) realisiert werden kann und auch für Fachrichtungen neben der Physik interessant ist. In den folgenden Abschnitten werden der Aufbau, die Kalibration und erste Messergebnisse eines Eigenbau-Spektrometers vorgestellt. In Abbildung 1 ist eine schematische Skizze des Eigenbau-Spektrometers abgebildet, welches mit folgenden Komponenten realisiert wurde:

- Weiße LED mit  $15^\circ$  Öffnungswinkel.
- Beugungsgitter aus einem Teil einer DVD (Gitterabstand 740 nm).
- Fotodiode (BPX65) mit Verstärkerschaltung.
- Schrittmotor um die Fotodiode durch das Spektrum zu bewegen.
- Küvetten-Halter für Experimente zum Absorptionsverhalten verschiedener Lösungen.

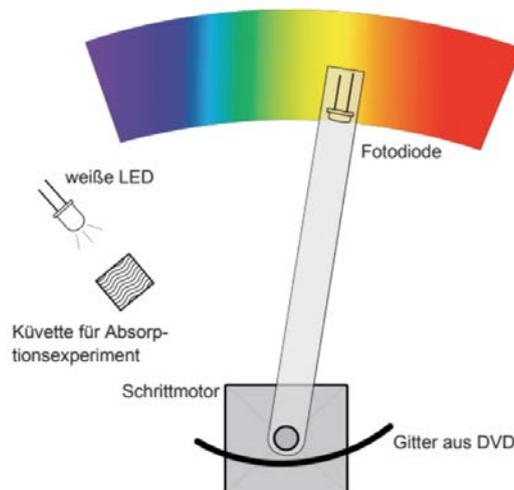


Abb. 1 Schematischer Aufbau des realisierten Eigenbau-Spektrometers.

Kalibriert wird das Spektrometer über das bekannte Spektrum der genutzten weißen LED. Die genaue Verteilung des emittierten Lichts aus dem Datenblatt ermöglicht eine Zuordnung der Schrittmotorstellung zur Wellenlänge.

In einem ersten Experiment wurde das Spektrometer genutzt um die wellenlängenabhängige Absorption von  $\text{CuSO}_4$ -Lösungen zu untersuchen. Dazu wird zuerst eine Küvette mit einer

0% Lösung in den Strahlengang gestellt. Die Messergebnisse sind in Abbildung 2 durch die orange Linie dargestellt. Die blaue Kurve stellt die anschließend aufgenommenen Messwerte einer 20%igen-Lösung dar. Man erkennt, dass die bläuliche  $\text{CuSO}_4$ -Lösung Licht im roten Spektralbereich stärker absorbiert. Noch deutlicher wird das, wenn man die Differenz beider Messungen (grüne Kurve im unteren Graphen) betrachtet.

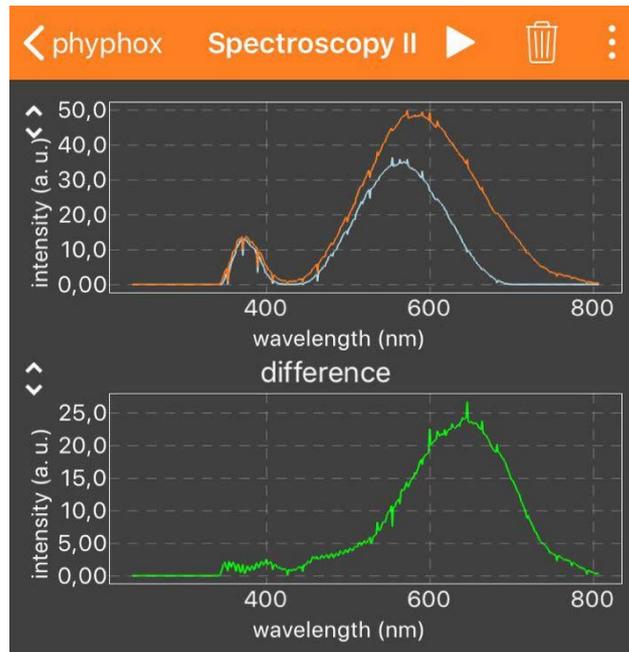


Abb. 2 Im oberen Graphen sind die Absorptionsspektren einer 0%igen (orange) und einer 20%igen (blau)  $\text{CuSO}_4$ -Lösung zu sehen. Der untere Graph zeigt das Differenzspektrum.

Auch im bisher realisierten Stadium eines sehr einfachen Prototyps eignet sich das Eigenbauspektrometer bereits zum Experimentieren. Allerdings können verschiedene Elemente noch deutlich optimiert werden. Dies betrifft z.B. die Fotodiode, die durch eine Diode mit gleichmäßigerer Sensitivität im sichtbaren Spektralbereich ersetzt werden kann. Zusätzlich kann die bisherige 2-Punkt-Kalibration durch Verwendung einer sog. RGBW LED durch eine 5-Punkt-Kalibration ersetzt werden. Außerdem kann durch einen Schrittmotor mit mehr Schritten pro Umdrehung und eine überarbeitete Verstärkerelektronik das Auflösungsvermögen weiter verbessert werden.

**Literatur**

- Kuhlen, S., Stampfer, C., Wilhelm, T. & Kuhn, J. (2017). Phyphox bringt das Smartphone ins Rollen. *Smarte Physik. Physik in unserer Zeit*, 48(3), 148–149.
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments. *Phyphox. Physics Education*, 53(4), 45009.