

## Smartphone-Experimente mit externen Sensoren

Dominik Dorsel\*, Sebastian Staacks\*, Simon Hütz<sup>†</sup>, Heidrun Heinke<sup>†</sup>, Christoph Stampfer\*

\*2. Physikalisches Institut IIA, RWTH Aachen University

<sup>†</sup>1. Physikalisches Institut IA, RWTH Aachen University

dorsel@physik.rwth-aachen.de, staacks@physik.rwth-aachen.de,

huetz@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de, stampfer@physik.rwth-aachen.de

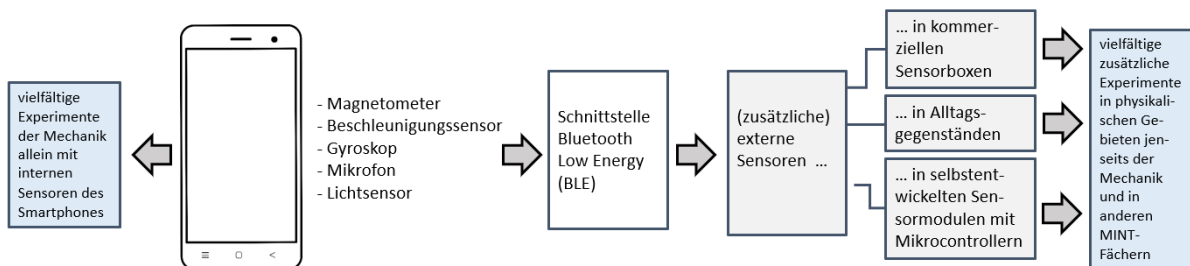
### Kurzfassung

Smartphones sind heutzutage weit verbreitet und eignen sich aufgrund der vielen verbauten Sensoren auch als Messgeräte für physikalische Experimente. Die an der RWTH Aachen entwickelte App *phyphox* ermöglicht ein einfaches Auslesen dieser verbauten Sensoren sowie die Weiterverarbeitung und Darstellung der Messdaten. Die gängigsten verbauten Sensoren, wie zum Beispiel Beschleunigungssensoren oder ein Gyroskop, eignen sich besonders gut für Experimente aus der Mechanik, von denen viele bereits in der App implementiert sind. Um neue Experimente zum Beispiel aus der Thermodynamik durchführen zu können sind aber neue Sensortypen wie zum Beispiel ein Temperatursensor nötig. Deshalb unterstützt *phyphox* mit dem nächsten Update die Einbindung von externen Sensoren über die Schnittstelle Bluetooth Low Energy. Dadurch können externe Sensoren auf verschiedene Weise in *phyphox* eingebunden werden: als fertige Sensormodule verschiedener Hersteller (wie z.B. die Sensorbox SensorTag von Texas Instruments), als Sensoren in Alltagsgegenständen (wie z.B. einer Computermaus) oder als selbstentwickeltes Sensormodul. Bei letzterem kommen neben den Sensoren Mikrocontroller wie der Arduino zum Einsatz.

### 1. Motivation

Smartphone-gestützte Experimente sind eine willkommene Abwechslung im Physikunterricht und werden deshalb bereits vielfach genutzt [1,2,3]. Die in Smartphones verbauten Sensoren wie Beschleunigungssensor, Gyroskop und Magnetometer ermöglichen bereits eine Vielzahl an Experimenten insbesondere im Bereich der Mechanik [1]. Allerdings bieten die Sensoren nur begrenzte Möglichkeiten für Versuche aus anderen Gebieten der Physik wie der Thermodynamik, da Sensortypen wie zum Beispiel ein Temperatursensor in Smartphones fehlen. Um die für

die Experimente zur Verfügung stehende Auswahl der verschiedenen Sensortypen zu vergrößern, unterstützt *phyphox* deshalb mit dem nächsten Update die Einbindung externer Sensoren über die Schnittstelle Bluetooth Low Energy (BLE). Dies eröffnet vielfältige zusätzliche Experimente in physikalischen Gebieten jenseits der Mechanik und in weiteren MINT-Fächern (siehe schematische Darstellung in Abb. 1). Beispiele für letzteres sind die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs eines pH-Wertes in einem chemischen Experiment, der über die Einbindung eines pH-Wert-Sensors zugänglich wird.



**Abb.1:** Die Schnittstelle Bluetooth Low Energy (BLE) ermöglicht eine Erweiterung der verfügbaren Sensoren und bietet somit neue vielfältige Experimente besonders jenseits der Mechanik und in anderen MINT-Fächern.

## 2. Die App *phyphox*

Die App *phyphox* (physical phone experiments) von der RWTH Aachen liest die meisten der in Smartphones verbauten Sensoren aus und unterstützt das Experimentieren mit einigen hilfreichen Features. So ermöglichen verschiedene Rechenoperationen von einfacher Addition bis hin zur Fouriertransformation die Weiterverarbeitung der Messdaten direkt auf dem Smartphone. Anschließend können die Messdaten in verschiedenen Graphen visualisiert werden. Zudem sind in *phyphox* bereits eine Vielzahl an Experimenten vorhanden. Je nach Experiment können die Rohdaten der Sensoren oder auch weiterverarbeitete Messdaten dargestellt werden. Ein Editor ermöglicht die individuelle Anpassung der vorhandenen Experimente sowie die Erstellung eigener Experimente [4].

Weiterhin kann in der App *phyphox* ein Fernzugriff aktiviert werden, wodurch die Messwerte auf einem zweiten Gerät mit einem Internetbrowser dargestellt werden können. Dadurch können Messungen überwacht oder gesteuert werden, obwohl das Smartphone-Display bedingt durch einen Messaufbau nicht einsehbar und bedienbar ist.

Die App *phyphox* wird dabei stetig weiterentwickelt. Beispielsweise laufen zurzeit umfangreiche Arbeiten von physikkundigen Freiwilligen, um *phyphox* in weitere Sprachen jenseits von Deutsch und Englisch zu übersetzen und damit weiteren Nutzergruppen zugänglich zu machen.

Zudem wird mit der hier vorgestellten Weiterentwicklung die Möglichkeit geschaffen, über die Schnittstelle BLE auch externe Sensoren als Quelle experimenteller Daten nutzen zu können. Diese Daten können dann ebenfalls mit den Auswerte- und Darstellungsroutinen von *phyphox* weiterverarbeitet werden. Über die damit erschlossene praktisch unbeschränkte Vielfalt von adressierbaren Sensortypen eröffnet sich eine große Palette neuartiger Experimente. Diese sind nicht nur in verschiedenen Gebieten der Physik jenseits der Mechanik zu finden, sondern können ebenso in anderen MINT-Fächern genutzt werden. Denkbar wäre z. B. die Einbindung externer pH-Wert-Sensoren in der Chemie oder von Beleuchtungsstärkesensoren in der Biologie.

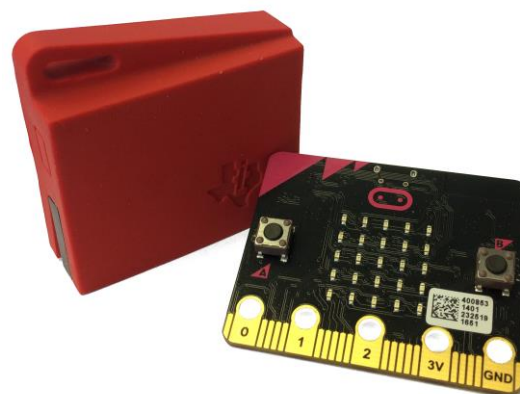
### 3. Mögliche externe Sensoren

Um *phyphox* Zugang zu externen Sensortypen zu ermöglichen, wird mit dem nächsten Update eine Bluetooth Low Energy Schnittstelle implementiert. Abbildung 1 zeigt schematisch, dass über den Standard Bluetooth Low Energy prinzipiell drei verschiedene Typen von Sensoren nutzbar werden: Fertige Sensorboxen, Geräte aus dem Alltag, aber auch selbst entwickelte Messgeräte auf Mikrocontrollerbasis können eingebunden werden. Diese drei Möglichkeiten werden nachfolgend genauer erläutert.

#### 3.1. Sensorboxen

Sensorboxen wie der SensorTag von Texas Instruments (Abb. 2.), der BBC micro:bit (Abb. 2.) oder das

PocketLab von Myriad Sensors ermöglichen eine sehr einfache Erweiterung der zur Verfügung stehenden Sensoren. Die genannten Sensorboxen enthalten unterschiedliche Sensoren und sind für 20 bis 100 Euro zu erhalten. Neben den praktisch in jedem Smartphone vorhandenen Sensoren wie beispielsweise Beschleunigungssensoren oder einem Gyroskop bieten die verschiedenen genannten Modelle auch neue Sensoren wie zum Beispiel einen Druck-, Temperatur- oder Luftfeuchtigkeitssensor. Mithilfe der GPIO-Anschlüsse am BBC micro:bit können auch Ströme und Spannungen gemessen werden.



**Abb.2:** Links die Sensorbox SensorTag der Firma Texas Instruments und rechts die Sensorbox micro:bit von BBC.

Die Sensormodule können mit der weiterentwickelten App *phyphox* sehr einfach in die Aufnahme und damit auch nachfolgende Auswertung und Darstellung experimenteller Daten mit *phyphox* eingebunden werden. Dies bietet verschiedene Vorteile auch für Schülerexperimente im MINT-Unterricht:

- Werden die externen Sensoren einer Sensorbox zur Messwerteaufnahme genutzt, dann wird damit auch die oft sehr unterschiedliche Hardwareausstattung bei Smartphone-Experimenten mit schülereigenen Geräten umgangen. Durch die Nutzung gleicher Sensorboxen haben alle Schülerinnen und Schüler Zugriff auf die gleichen Sensoren mit identischen Auflösungen und Messbereichen. Dies homogenisiert die Nutzung von Smartphone-gestützten Experimenten im Physikunterricht. Die Homogenisierung der entscheidenden experimentellen Ausstattung wird zudem die Betreuung der Experimente durch die Lehrkraft vereinfachen.
- Mit der Nutzung von Sensorboxen wird die Sensorik in ein externes Gehäuse verlagert, das verglichen mit den Smartphones in der Regel kleiner, zudem in seinem Aufbau weniger (stoß)empfindlich und auch deutlich kostengünstiger ist. Dies eröffnet neue Experimentiermöglichkeiten. Beispielsweise können die Kräfte in einem geworfenen oder springenden Ball gemessen werden, ohne das Smartphone zu gefährden.
- Die Einbindung von zusätzlichen Sensortypen, die in Sensorboxen oft ergänzend zu den gängigen in Smartphones verbauten Sensoren enthalten sind,

ermöglicht zudem einen Zugang zu weiteren Experimenten in der Physik und den anderen Naturwissenschaften.

- Der einfach realisierbare Zugriff auf die von Sensorboxen gelieferten Daten kann dafür genutzt werden, Schülerinnen und Schüler z.B. im Rahmen von Projektunterricht oder außerunterrichtlichen Aktivitäten ihre eigenen Experimente entwickeln zu lassen.

### 3.2. Sensoren aus dem Alltag

Der Standard Bluetooth Low Energy wird auch in vielen Geräten aus dem Alltag verwendet. Manche dieser Geräte wie zum Beispiel ein Fitnesstracker oder eine Bluetooth-Maus eignen sich hervorragend zur Messung physikalischer Messgrößen.

Mithilfe eines Fitnesstrackers kann beispielsweise die Herzfrequenz gemessen werden. Diese experimentellen Daten können dann in einem kontextorientierten Unterricht zum menschlichen Körper genutzt werden. Eine Bluetooth-Maus hingegen bietet eine einfache Möglichkeit zur Distanzmessung.

Die eingebundenen externen Sensoren können mit dem in *phyphox* implementierten Editor beliebig mit anderen externen oder im Smartphone vorhandenen Sensoren kombiniert werden. Zum Beispiel kann, wie in Abb. 3 zu sehen, mit einer Bluetooth-Maus und dem Lichtsensor des Smartphones die  $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit zwischen gemessener Beleuchtungsstärke und Abstand zur Lichtquelle gemessen werden. Dafür muss lediglich ein Teelicht zusammen mit der Bluetooth-Maus vor dem Lichtsensor positioniert werden.

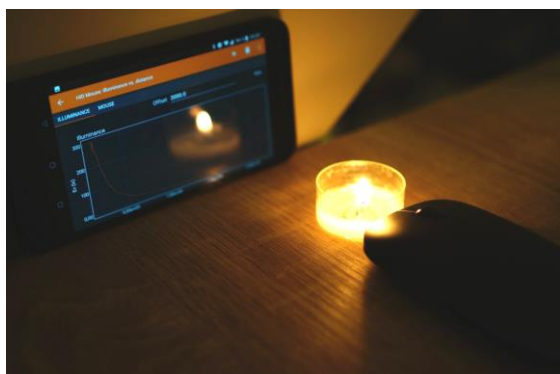


Abb.3: Versuchsaufbau zur Messung der  $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit zwischen Lichtstärke und Abstand zur Lichtquelle

In *phyphox* wird die gemessene Beleuchtungsstärke gegen die Strecke aufgetragen. Wenn nun Teelicht und Bluetooth-Maus zusammen auf den Lichtsensor zu oder von ihm wegbewegt werden, wird der  $\frac{1}{r^2}$ -Zusammenhang im Graphen sichtbar (Abb. 4.).

Die Vorteile der Nutzung von Sensoren in Alltagsgegenständen zur Messwertaufnahme mit *phyphox* überdecken sich teilweise mit den bereits oben für Sensorboxen genannten Aspekten.

- Auch durch Sensoren in Alltagsgegenständen wird die Palette der zur Messwertaufnahme nutzbaren Sensoren gegenüber den gängigen in Smartphones

verbauten Sensoren verbreitert und damit der Experimente-Pool deutlich erweitert, was den gesamten MINT-Unterricht bereichern kann.

- Auch die Sensoren in Alltagsgegenständen können von Schülerinnen und Schülern z.B. im Rahmen von Projektunterricht oder außerunterrichtlichen Aktivitäten in selbst entwickelten Experimenten genutzt werden, wobei der Entwicklungsaufwand gegenüber der Nutzung von Sensorboxen als etwas höher einzuschätzen ist.
- Zusätzlich verknüpft die Nutzung von Sensoren aus dem Alltag den MINT-Unterricht auf natürliche Weise mit der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler.

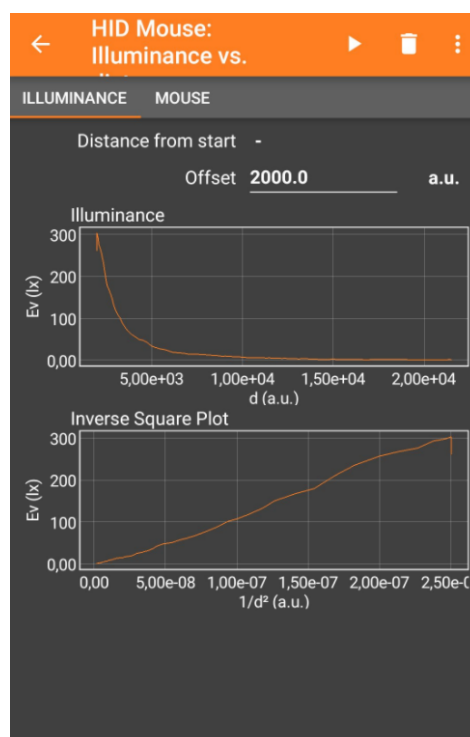


Abb.4: Messung der  $\frac{1}{r^2}$ -Abhängigkeit zwischen der gemessenen Lichtstärke gegen den Abstand zur Lichtquelle.

### 3.3. Eigenbausensoren

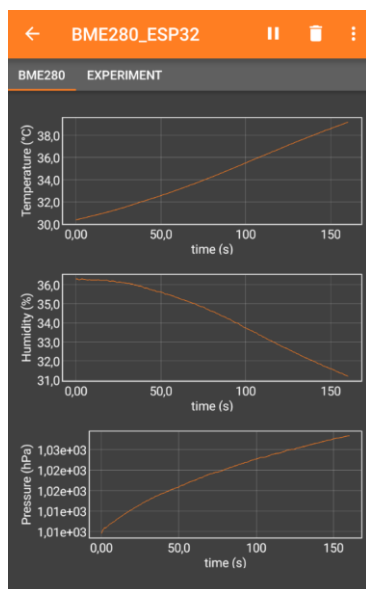
Durch die Kombination von einzelnen Sensoren oder Modulen aus mehreren Sensoren mit einem Mikrocontroller wie dem Arduino oder dem ESP32 können auch eigene Messgeräte entwickelt und in die Messdatenerhebung mit *phyphox* eingebunden werden.

Exemplarisch sei hier das Sensormodul „BMP280“ vorgestellt, welches Messungen von Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur ermöglicht. Dieses Sensormodul kann zum Beispiel kombiniert mit einem ESP32 in ein Einmachglas gesteckt werden, das dann verschlossen und in einen Topf mit kochendem Wasser gestellt wird (Abb. 5.).



**Abb.5:** Ein ESP32 mit dem Sensormodul BME280 in einem Einmachglas zur Messung eines isochoren Prozesses.

Dadurch kann ein isochorer Prozess beobachtet werden, wie in Abb. 6 zu sehen ist.



**Abb.6:** Messung von Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit mithilfe des Sensormoduls BMP280 und eines ESP32 innerhalb eines sich erwärmenden Einmachglases.

Solche selbst entwickelten Eigenbau-Sensormodule aus der Kombination von Sensor(en) und Mikrocontroller bieten verschiedene Vorteile, die sie auch gegenüber den weiter oben diskutierten fertigen Sensorboxen oder kommerziellen Messgeräten auszeichnen.

- Wie schon bei den Sensorboxen ermöglicht auch bei den Eigenbau-Sensormodulen die Einbindung von zusätzlichen Sensortypen einen Zugang zu weiteren Experimenten in der Physik und den anderen Naturwissenschaften. Dabei kann hier nahezu jeder beliebige Sensor genutzt werden. Dadurch können auch für Sensorboxen untypische Messgrößen wie die Feinstaubbelastung oder der UV-Index gemessen werden. Aufgrund der großen Arduino Community findet man auch bei vielen

Sensoren Hilfestellung in diversen Webseiten, die zur Realisierung der eigenen Messgeräte genutzt werden können.

- Zusätzlich können bei den Eigenbau-Sensormodulen die Sensoren hinsichtlich des Messbereiches oder der Genauigkeit individuell auf das Experiment angepasst oder Sensoren auch für verschiedene Messbedingungen wie bspw. Aggregatzustände ausgewählt werden. Wie bei der Nutzung von Sensorboxen wird auch hier die Sensorik in ein externes Gehäuse verlagert. Der Aufbau wird somit verglichen mit den Smartphones ebenfalls weniger empfindlich und auch deutlich kostengünstiger, was neue Experimentiermöglichkeiten eröffnet.
- Neben den genannten Vorteilen bietet der günstige Preis von Mikrocontrollern und Sensoren die Möglichkeit Messgeräte auch für jeden Schüler zugänglich zu machen. Damit können nun auch Experimente als Schülerversuche realisiert werden, bei denen diese Option bislang aus Kostengründen entfiel [5]. Eigenentwicklungen erfordern allerdings auch einen höheren Arbeitsaufwand, verbessern aber auch gleichzeitig das Verständnis der Funktionsweise der verwendeten Sensoren bzw. der Elektronik.
- Dass die App *phyphox* mit ihren umfangreichen Funktionalitäten zur Datenverarbeitung und -darstellung in solchen Experimenten eine universelle Konsolenfunktion übernehmen kann, die den Schülerinnen und Schülern zudem bereits aus Smartphone-Experimenten unter Nutzung der geräteinternen Sensoren bekannt sein kann, vereinfacht die Handhabung solcher Schülerexperimente deutlich. Dadurch kann auch die extrinsische kognitive Belastung bei anspruchsvolleren Schülerexperimenten, welche die Aufnahme und Auswertung digitaler Daten beinhalten, entscheidend reduziert werden.
- Außerdem können *phyphox*-Experiment-Konfiguration auf dem Mikrocontroller hinterlegt und mithilfe der Bluetooth-Schnittstelle übertragen werden. Dadurch können *phyphox*-Experimente auch ohne eine aktive Internetverbindung lokal verbreitet werden.

Wie bereits für die anderen beiden Sensortypen postuliert, kann auch der Ansatz mit Eigenbau-Sensormodulen genutzt werden, um Schülerinnen und Schüler z.B. im Rahmen von Projektunterricht oder außerunterrichtlichen Aktivitäten ihre eigenen Experimente entwickeln zu lassen. Dabei ist der Entwicklungsaufwand für solche Experimente gegenüber der Nutzung von Sensorboxen oder Sensoren in Alltagsgegenständen nochmals als etwas höher zu bewerten.

#### 4. Ausblick

Mithilfe von externen Sensoren kann die limitierte Anzahl der im Smartphone verbauten Sensortypen enorm erweitert und für Smartphone-gestützte

Experimente genutzt werden. Alle drei hier vorgestellten Varianten der Einbindung externer Sensoren in die Datenaufnahme mit der App *phyphox* versprechen klare Vorteile für die Gestaltung von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dabei bietet besonders die Einbindung von Eigenbau-Sensormodulen mit externen Sensoren in Kombination mit einem Mikrocontroller wie einem Arduino oder ESP32 eine ideale Möglichkeit die naturwissenschaftlichen Gebiete miteinander zu verknüpfen. Ausgehend von der Programmierung des Mikrocontrollers können mit selbstentwickelten Messgeräten physikalische Messgrößen aufgenommen, verarbeitet, dargestellt und anschließend im Kontext verschiedener MINT-Fächer interpretiert werden.

## 5. Literatur

- [1] S. Staacks, S. Hütz, H. Heinke, C. Stampfer  
Advanced tools for smartphone-based experiments: *phyphox*. In: *Physics Education* 53, 045009, (2018)
- [2] P. Vogt, J. Kuhn, S. Gareis. Beschleunigungssensoren von Smartphones: Beispieleexperimente zum Einsatz im Physikunterricht. In: *PdN-PhiS*. 7/60 (2011), S. 15-23.
- [3] P. Vogt, J. Kuhn. Elastische und inelastische Stöße mit den in Smartphones verbauten Beschleunigungssensoren. In: *PdN-PhiS* 1/64, (2015), S. 46-48
- [4] S. Staacks, C. Stampfer, T. Wilhelm, J. Kuhn, *Phyphox* bringt das Smartphone ins Rollen In: *Physik in unserer Zeit*. 48 (3), (2017), S. 148-149.
- [5] C. Salinga, A. Zeus, S. Hütz, F. Deußen, L. Büsch, H. Heinke, Schülerexperimente unter Nutzung eines Arduinos. In: *Plus Lucis* 1/2018, (2018), S. 12-16.