

# Sensorelemente: Eine Unterrichtsreihe zum Einstieg in das Themenfeld „Sensoren“

Mara Mertes<sup>1</sup>, Denis Choquet<sup>2</sup> und Frank Fiedler<sup>1</sup>

1: Institut für Physik der Universität Mainz; 2: Gymnasium zu St. Katharinen, Oppenheim

Die große Bedeutung von Technikunterricht im Allgemeinen und der Sensorik im Besonderen ist bereits in [1, 2] herausgestellt worden. Ziel muss dabei nicht nur die Förderung des Nachwuchses für technische Berufe sein. Gerade im Unterricht der Sekundarstufe I geht es vor allem auch darum, möglichst allen Schülerinnen und Schülern ein Grundverständnis von Funktionsweise und Einsatz von Technik zu geben und so Alltagskompetenz in Umgang und Bewertung von Technik zu vermitteln.

Das Thema „Sensorik“ bietet sich hier geradezu an, weil aus vielen Alltagsgegenständen Sensoren nicht mehr wegzudenken sind, und ist auch bereits in fachdidaktischen Zeitschriften aufgegriffen worden [3, 4]. Es erscheint nur folgerichtig, dass das Thema „Sensorik“ zum Beispiel seit 2014 im rheinland-pfälzischen Mittelstufenlehrplan im Fach Physik verpflichtend ist (übrigens aber ohne die Ausweitung des Fachs Physik auf die Technik mit Mehrstunden aufzufangen, wie in [2] gefordert wurde). Die entscheidende Funktion (Umwandlung einer Messgröße in ein elektrisches Signal), die auch im Lehrplan explizit genannt wird, wird meist von kleinen Bauteilen, sog. Sensorelementen, übernommen, derer wir uns oft nicht bewusst werden. Eine Fokussierung auf das Sensorelement als das wesentliche Bauteil ist also naheliegend. Wenn Alltagskompetenz das Ziel ist, sollte Inhalt des Unterrichts, neben der (konkreten) Funktionsweise ausgewählter Sensorelemente, auch die (im Vergleich dazu abstrakt beschreibbare) Umwandlung einer physikalischen Messgröße in eine elektrische Größe sein. Dazu gehört vor allem die Kalibration des Sensorelements, also die Bestimmung des funktionalen Zusammenhangs zwischen physikalischer Eingangs- und elektrischer Ausgangsgröße, um das Sensorelement sinnvoll einsetzen zu können.

Dass eine objektive Messung etwas anderes ist als subjektives Empfinden, wird bereits in Grundschule und Orientierungsstufe thematisiert. In der Sekundarstufe I bietet sich die Chance, dass die Schüler die nötige Objektivierung bei der Kalibration selbst durchführen und darüber auch miteinander kommunizieren. Die Weiterverarbeitung oder Anzeige von Messwerten oder die Untersuchung ganzer Geräte sind demgegenüber sekundäre Schritte im Unterricht.

Für den Unterricht zum Thema Sensoren liegen zwar Ideen zu Projektarbeiten (wie z.B. [5] oder [6]) und auch Vorschläge für den Unterricht (wie z.B. [3] oder [7]) vor. Gerade letztere gehen jedoch auf viele technische Details ein und steigen somit, im Vergleich zu den oben dargestellten Zielen, zu tief in die Materie ein. Außerdem wird meist sofort mit baufertigen Geräten aus dem Alltag gearbeitet, wodurch die Rolle des Sensorelements in den Hintergrund tritt [1].

Wir stellen in diesem Artikel eine Unterrichtsreihe für das Ende der Sekundarstufe I (3. Lernjahr Physik) vor, in deren Verlauf zuerst Sensorelemente untersucht werden, um dann aus ihnen eine Wetterstation zu bauen. Die Reihe basiert auf den folgenden Überlegungen:

- Um Schülerinnen und Schüler zu aktivieren, sollten sie selbst experimentieren.
- Damit sie sich der Sensorelemente bewusst werden, sollten sie diese explizit selbst untersuchen.
- Um Schülerinnen und Schüler gleichermaßen anzusprechen, hat es sich nach unserer Erfahrung

rung bewährt, Sensorelemente gleich beim Einstieg in das Thema untersuchen zu lassen (die Untersuchung ganzer Geräte birgt demgegenüber die Gefahr, dass für die Sensorik irrelevante Teile den Blick auf das Wesentliche verstellen und die Motivation schnell verlorenght.)

- In einem zweiten Schritt werden die untersuchten Sensorelemente verwendet, um selbst ein Gerät zu bauen; hier kann ein Alltagsbezug leicht hergestellt werden.
- Um möglichst viele verschiedene Sensortypen einsetzen zu können, bietet sich die Erstellung einer Wetterstation in Gruppenarbeit als Lernprodukt der Klasse an.

Es wäre unnötig und verwirrend, einen Überblick über alle verschiedenen Typen von Sensorelementen geben zu wollen. Das Kriterium für eine Auswahl ist, dass die Verschaltung und die Kalibrationskurve mit den Kenntnissen aus der Mittelstufe einfach verständlich sind. Außerdem sollen die Sensorelemente in ihrer Anschaffung preiswert sein. Wir beschränken uns daher zunächst hauptsächlich auf resistive Sensorelemente, wie in [8] beschrieben (relativieren dies aber von Anfang an dadurch, dass eine Schülergruppe einen Reedkontakt verwendet). Erst die letzte Unterrichtseinheit geht konsequent über resistive Sensoren hinaus. Verwendet werden:

- temperaturabhängige Widerstände mit negativer (negative temperature coefficient, NTC) und positiver (PTC) Temperaturabhängigkeit,
- Photowiderstände (light dependent resistors, LDR),
- druck- (kraft-) abhängige Widerstände (force sensitive resistors, FSR)<sup>1</sup>
- und zusätzlich Reedkontakte.

Reedkontakte unterscheiden sich von den anderen Sensorelementen in zwei Aspekten: Zum einen ist die physikalische Eingangsgröße (die Magnetfeldstärke) vom Menschen nicht direkt spürbar. Zum anderen funktionieren Reedkontakte als Schalter, es ergibt sich also zunächst keine kontinuierliche Ausgangsgröße. Die Kalibration einer kontinuierlichen Größe ist aber auch hier nötig, wenn ein Reedkontakt z. B. zur Windgeschwindigkeitsmessung über die Drehfrequenz eines Windrads verwendet wird.

## **Ablauf der Unterrichtsreihe**

Die Unterrichtsreihe umfasst insgesamt acht Unterrichtsstunden und gliedert sich thematisch in fünf Einheiten. Die zentrale Einheit „Bau einer Wetterstation“ wird separat ausführlich beschrieben. Zumindest für diese Einheit sollte mindestens eine Doppelstunde zum Experimentieren zur Verfügung stehen.

Arbeits- und Informationsblätter für alle Unterrichtseinheiten und eine Liste aller benötigten Teile können über die Web-Seite [www.schule.physik.uni-mainz.de](http://www.schule.physik.uni-mainz.de) bezogen werden.

### **UE 1: Kennenlernen verschiedener Sensorelemente (90 min.)**

Nach einem Einstieg in das Thema „Sensoren“ experimentieren die Schüler in Partnerarbeit mit jeweils den fünf oben bereits genannten Sensorelementen. Durch Beobachten des Widerstandswertes mit einem Multimeter finden sie heraus, auf welchen Umwelteinfluss die Sensorelemente

---

<sup>1</sup>Zur Kraftmessung können prinzipiell auch Dehnungsmessstreifen (DMS) verwendet werden, ihre Handhabung in der Praxis ist aber deutlich schwieriger als bei FSR-Widerständen.

reagieren, und ordnen ihnen Namen und Eigenschaften zu. Sie überlegen, in welchen Alltagsgeräten die kennengelernten Sensoren verbaut sein könnten. Ausgehend davon wird die allgemeine Definition für einen Sensor im Plenum besprochen.

Zunächst scheint es beim Herausfinden der Einflussgrößen, auf die die Sensoren reagieren, keine eindeutige Lösung zu geben. Wenn die Schüler sie mit der Hand berühren, könnten sie vermuten, dass Photowiderstände temperaturempfindlich sind oder temperaturabhängige Widerständen auf eine Kraft reagieren. Solche Schwierigkeiten sind gewollt, um den Unterschied zwischen eigentlicher Einflussgröße und sekundären Einflüssen deutlich zu machen. Im Vergleich dazu ist eine Unterscheidung zwischen NTC- und PTC-Widerständen nicht entscheidend. Es bietet sich an, nicht alle Schwierigkeiten gleich zu Beginn zu benennen, sondern abgestufte Hilfen (z.B. in Form von Hilfekärtchen) einzusetzen.

## **UE 2: Funktionsweise der kennengelernten Sensorelemente (45 min.)**

Die Eigenschaften von (dotierten) Halbleitern sind für die moderne Technik von zentraler Bedeutung und werden auch in resistiven Sensorelementen eingesetzt. Die Untersuchungen von Sensorelementen in der ersten Unterrichtseinheit stellen somit eine gute Basis dar, um die Grundlagen der Halbleiterelektronik zu vermitteln, weil die Schüler aus der vorangegangenen Unterrichtseinheit eine konkrete Anwendung der ansonsten eher alltagsfernen Konzepte vor Augen haben.

Mit einem Video (z.B. [9]) werden die Begriffe Loch, Elektronen- und Löcherstrom, Rekombination, Dotieren eingeführt und dann im Plenum geklärt. Mithilfe vorgefertigter Informationsblätter erarbeiten die Schüler dann die Funktionsweise der ihnen bekannten Sensorelemente. Auch der Reedkontakt wird hier thematisiert, um zu verdeutlichen, dass nicht alle Sensorelemente auf Halbleiterbasis funktionieren. Zur Sicherung hat sich ein Gruppengraffiti bewährt.

## **UE 3: Bau einer Wetterstation (90 min.)**

Die Schüler sind in dieser Unterrichtseinheit in der Rolle von Technikern, die für die Realisierung und Dokumentation einer Wetterstation verantwortlich sind. Sie arbeiten in Kleingruppen mit den bislang kennengelernten Sensoren jeweils an einer der Messgrößen Temperatur, Niederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit und Lichtintensität. Die Anforderungen sind dabei bewusst verschieden gewählt, so dass eine Binnendifferenzierung möglich ist. Für die Messung der ersten drei Größen wird eine Kalibrierung vorgenommen und eine Kennlinie erstellt, bei der Lichtintensitätsmessung wird die vorgegebene Kennlinie des LDR interpretiert und verifiziert. Zur Sicherung der Arbeitsschritte erstellen die Schüler ein Datenblatt, auf dem die wichtigen Daten ihrer Station notiert sind. Dieses dient als Hilfestellung zur Ausarbeitung einer Kurzpräsentation, in der die Schüler ihren Teil der Wetterstation der gesamten Klasse vorstellen, und wird abschließend von einer anderen Gruppe verwendet, um eine Messung durchzuführen. Dass die einzelnen Größen jeweils von mehreren Gruppen gemessen werden, muss nicht zu Konkurrenz zwischen den Kleingruppen führen – vielmehr ermöglicht es eine gegenseitige Überprüfung der Ergebnisse, wie es im Beruf als Techniker auch üblich ist.

Die Unterrichtseinheit sollte mit einer Doppelstunde beginnen, in der die Schüler experimentieren. In der dritten Stunde folgt zunächst ein Austausch der Kleingruppen, die mit dem gleichen Sensortyp experimentiert haben, untereinander; danach wird jeder Sensortyp von einer der Kleingruppen

in einer Kurzpräsentation vorgestellt. In der vierten Stunde nimmt jede Gruppe mit Hilfe des von einer anderen Gruppe erstellten Datenblatts eine Messung vor.

Die Experimente mit den vier verschiedenen Sensortypen werden im Anhang im Detail vorgestellt.

#### **UE 4: Test der Wetterstation (90 min.)**

Bei einer üblichen Klassengröße wird jedes Experiment zum Bau einer Wetterstation von zwei Gruppen parallel durchgeführt worden sein. In ihrer Rolle als Techniker besprechen diese beiden Gruppen jeweils zunächst ihre Messungen und die Präsentation, um dann die Kalibration ihres Sensortyps der gesamten Klasse vorzustellen. Wie im täglichen Leben geht es dabei um die Zusammenarbeit unter Kollegen und um das Produkt „Wetterstation“ und nicht um Konkurrenz unter den Gruppen.

In der zweiten Unterrichtsstunde werden dann die Rollen gewechselt, und jede Schülergruppe fungiert als „Tester“ oder „Kunde“, die eine Messung mit Hilfe der Kalibrationskurve einer anderen Gruppe vornimmt.

#### **UE 5: Alltagsgeräte mit weiteren Sensortypen (45 min.)**

Wie eingangs beschrieben, geht erst die letzte Unterrichtseinheit auf weitere Sensortypen und den Einsatz von Sensoren in Alltagsgeräten ein. Die Schüler recherchieren über den Einsatz von Sensoren in Geräten wie Rauchmelder, Füllstandmesser, Bewegungsmelder, Küchenwaage, Joystick, Fahrradtachometer, Einparkhilfe usw. Die Erkenntnisse werden im Klassenverband vorgestellt. Die Funktionsweisen der Geräte werden von den Schülern im Unterricht präsentiert.

### **Erfahrungen mit der Unterrichtsreihe**

Die Unterrichtsreihe zum Thema „Sensoren“ wurde im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Mainz ausgearbeitet und bereits erfolgreich in zwei 10. Klassen im Gymnasium zu St. Katharinen in Oppenheim getestet. Bei der Durchführung zeigte sich insbesondere, dass die Schülerinnen und Schüler an dem alltagsnahen Thema sehr interessiert waren, und dass sie motiviert im Unterricht mitgearbeitet haben. Die praxis- und alltagsnahe Herangehensweise an die Thematik hat sich damit sehr bewährt.

### **Literatur**

- [1] R. Girwidz, *Sensoren: Physik erleben, verstehen und anwenden*, Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 91 (2006), S. 4-6.
- [2] B. Watzka und H. Wiesner, *Didaktische Aspekte der Sensorik im Physikunterricht*, Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule, Heft 7/61 (2012), S. 5-7.
- [3] R. Girwidz (Hrsg.), *Sensoren*, Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 91 (2006).

- [4] H. Wiesner et al. (Hrsg.), *Sensoren*, Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule, Heft 7/61 (2012).
- [5] C. Kray et al., *Sensebox*, <http://sensebox.uni-muenster.de>, aufgerufen am 22. 9. 2015.
- [6] C. Joa-Giegerich, *Schülerlabor Sensoren – Schülerexperimentierlabor zum Thema Vielfalt der Sensoren*, Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Realschulen an der Universität Würzburg (2010), [http://www.physik.uni-wuerzburg.de/fileadmin/11010700/Didaktik/Zulassungsarbeiten/Sensoren\\_-\\_Joa-Giegerich\\_-\\_ohne\\_Kap.\\_8.1\\_und\\_8.2.pdf](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/fileadmin/11010700/Didaktik/Zulassungsarbeiten/Sensoren_-_Joa-Giegerich_-_ohne_Kap._8.1_und_8.2.pdf), aufgerufen am 22. 9. 2015.
- [7] S. Fick und W. Fick, *Unterrichtseinheit Sensoren und Automatisierungstechnik*, <http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/nwt/unterrichtseinheiten/einheiten/automat/>, aufgerufen am 22. 9. 2015.
- [8] U. Böhm und R. Girwidz, *Sensorik mit Widerständen*, Naturwissenschaften im Unterricht Physik, Heft 91 (2006), S. 7-11.
- [9] E. Hörner, *Halbleiter – einfach erklärt*, <https://www.youtube.com/watch?v=GjdWTYViJj8>, aufgerufen am 22. 9. 2015.

## Experimente zum Bau einer Wetterstation

### Experiment 1: Temperaturmessung mit einem temperaturabhängigen Widerstand

Bei diesem Experiment soll eine Kalibrierung vorgenommen werden, bei der das Resultat eine Grafik ist, die einen Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur und Widerstandswert angibt.

Das über Krokodilklemmen und Bananenkabeln an ein Multimeter angeschlossene Sensorelement wird in einer Plastiktüte in ein Wasserbad gelegt, siehe Abbildung 1. Zunächst wird mit Wasser und Eis eine möglichst geringe Temperatur erzeugt. Danach wird schrittweise erst Temperatur und Widerstandswert abgelesen und dann wenig warmes Wasser hinzugefügt, um die Kalibrationskurve aufzunehmen.

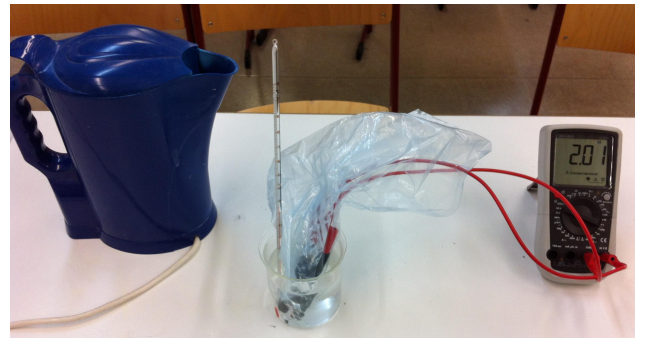


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Temperaturmessung [eigene Aufnahme]

### Experiment 2: Erfassung der Niederschlagsmenge mit einem Drucksensor

Die in einem Gefäß aufgefangene Wassermenge könnte prinzipiell über den statischen Druck mit Hilfe eines am Boden befestigten druckkraftabhängigen Widerstands (FSR) bestimmt werden. Dafür wäre jedoch sicherzustellen, dass Sensorelement und Kabel nicht mit Wasser in Berührung kommen. Zur Wiederholung der Konzepte des statischen Drucks würde sich eine solche Vorgehensweise eignen – allerdings ist die Behandlung dieses Themas z. B. im rheinland-pfälzischen Physiklehrplan nicht mehr vorgesehen. Daher wird hier ein Aufbau vorgestellt, mit dem die Gewichtskraft der Wassermenge in Beziehung zum Widerstand eines FSR gesetzt wird.

Versuchsaufbau und -durchführung: Der Versuchsaufbau besteht aus zwei frei gegeneinander verschiebbaren Plastikrohren, wobei das innere an einem Ende wasserdicht mit einem Deckel verschlossen ist, auf den eine Schraube montiert wurde. Das innere Rohr kann mit Wasser befüllt werden; das äußere Rohr dient als Führung, um das innere Rohr senkrecht zu halten. Unter der Schraube der Messapparatur (siehe Abb. 2 rechts) wird der Drucksensor mit Klebestreifen so montiert, dass er nicht mehr verrutschen kann und die Schraube mittig auf die Sensoroberfläche trifft. Durch Notieren der Wertepaare (Wassermenge, Widerstandswert) für verschiedene Wassermengen im Rohr wird die Kalibrationskurve aufgenommen.

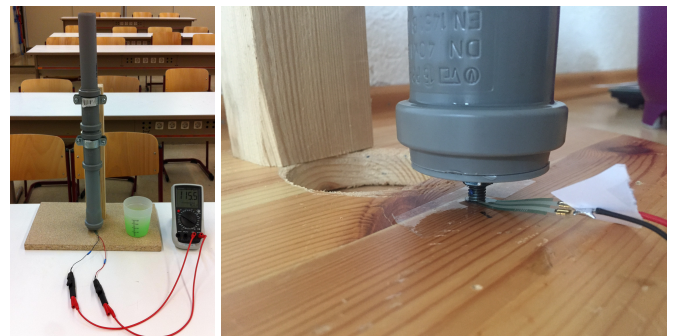


Abb. 2: Versuchsaufbau zur Messung der Niederschlagsmenge [eigene Aufnahme]

### Experiment 3: Windgeschwindigkeitsmessung mit dem Reedkontakt

Ein beliebiges Windrad aus dem Baumarkt oder Spielzeughandel und ein Föhn werden wie in Abbildung 3 gezeigt montiert. An der Halterung des Windrades wird der Reedkontakt so montiert, dass die Flügel an ihm vorbeilaufen; als Auslöser eignen sich z. B. zwei kleine Neodym-Magnete, die auf beiden Seiten eines Flügels so angebracht werden, dass sie sich gegenseitig halten und am Reedkontakt vorbeilaufen. Als Messgerät kann im einfachsten Fall ein Gerät wie z. B. ein Multimeter verwendet werden, das ein Signal ausgibt, wenn ein Kontakt vorliegt. Um den Aufbau einfach zu halten, wurde auf ein Impulsratenmessgerät verzichtet.

Die Windgeschwindigkeit kann durch den Abstand des Föhns zum Windrad variiert werden. Zur Messung der Drehfrequenz des Windrads wird die Zahl der Impulse in einer festgelegten Zeit notiert. Kalibriert wird der Aufbau dadurch, dass die Windgeschwindigkeit mit einem Handanemometer gemessen wird.

Wenn die Schüler feststellen, dass es nicht nötig ist, die Zahl der Impulse in eine Drehfrequenz umzurechnen, ist dies ein Zeichen dafür, dass sie das Prinzip der Kalibrierung verstanden haben. Zu beachten ist, dass die Bahngeschwindigkeit der Magnete nicht der Windgeschwindigkeit entspricht, dass hier also nicht wie bei der Geschwindigkeitsmessung beim Fahrrad über das Produkt von Umfang und Frequenz kalibriert werden kann.



Abb. 3: Versuchsaufbau zur Messung der Windgeschwindigkeit [eigene Aufnahme]

### Experiment 4: Erfassung der Lichtintensität mit einem Photowiderstand

In den Deckel eines Schuhkartons wird eine wiederverschließbare Öffnung geschnitten. In den Rand des Kartons werden zwei kleine Löcher gestanzt, durch welche die Anschlusskabel in das Kartoninnere gelangen können. Der Sensor wird unter der Luke wie in Abbildung 4 zu sehen zusammen mit dem Messaufnehmer eines Luxmeters platziert.

In diesem Versuchsteil soll eine vom Hersteller vorgegebene Kennlinie auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden, weil es schwierig ist, eine komplette Kalibrierungskurve eines LDR-Widerstands aufzunehmen (es sind Streuungen zwischen größt- und kleinstmöglichem Widerstandswert und die Ansprech- und Abklingzeit zu beachten). Die Kalibrierungskurve ist in doppeltlogarithmischer Darstellung gegeben, so dass sich dieses Experiment vor allem für an Mathematik interessierte Schülerinnen und Schüler eignet. Danach sollen verschiedene Zustände (wie Tag und Nacht oder sonnig und bewölkt) simuliert und die zugehörigen Widerstandswerte notiert werden.



Abb. 4: Versuchsaufbau zur Lichtintensitätsmessung [eigene Aufnahme]