

## Einleitung

Technologie spielt heute in fast allen Bereichen unseres Lebens eine wichtige Rolle. Dass wir uns damit auseinandersetzen, wie die uns umgebende Technik funktioniert, ist daher naheliegend. Die wesentlichen Gründe hierfür lassen sich mit den Schlagwörtern *Sicherheit, Selbstständigkeit, Teilhabe, Fähigkeit zur kritischen Bewertung, Relevanz, Akzeptanz* und *Zukunftsfähigkeit* zusammenfassen.

*Sicherheit:* Wenn man versteht, wie technische Geräte und Systeme funktionieren, kann man sie sicherer verwenden und mögliche Gefahren vermeiden.

*Selbstständigkeit:* Wenn man versteht, wie technische Geräte und Systeme funktionieren, kann man sie selbstständig bedienen und ggf. reparieren. Das kann Zeit und Geld sparen und dazu beitragen, dass man unabhängiger ist.

*Teilhabe:* Wer kein Verständnis dafür hat, wie Technologie funktioniert, könnte ausgeschlossen werden oder Schwierigkeiten haben, an wichtigen Informationen und Möglichkeiten des gesellschaftlichen Lebens teilzuhaben.

*Fähigkeit zur kritischen Bewertung:* Wenn man versteht, wie Technologie funktioniert, kann man sie kritisch beurteilen und entscheiden, ob und wie man sie nutzen möchte. Man kann sich bewusst machen, welche Auswirkungen sie hat und ob sie für einen selbst und andere nützlich oder schädlich ist.

*Relevanz:* Technologien müssen praktikabel, effizient und alltagstauglich sein.

*Akzeptanz:* Technologien müssen gesellschaftlich anerkannt sein und unterstützt werden.

*Zukunftsfähigkeit:* Technologie entwickelt sich ständig weiter und wird immer wichtiger in unserem Alltag. Wer versteht, wie sie funktioniert, wird in der Lage sein, sich anzupassen und von ihr zu profitieren, auch wenn sich die Technologien verändern.

Wenn wir heute umgangssprachlich und verallgemeinernd von Technologie sprechen, sind dabei meist elektrische Geräte in Verbindung mit Computertechnik gemeint. Solche Geräte enthalten oft Sensoren, um beispielsweise die Temperatur, die Geschwindigkeit oder die Lichtstärke zu messen. Das geschieht nicht selten, ohne dass die Nutzerinnen und Nutzer etwas davon bemerken. Die Sensoren sind dann im Gerät von außen nicht sichtbar verbaut und liefern Daten, die für die Funktionsweise des Geräts wichtig sind.

Insgesamt lässt sich sagen, dass wir ständig bewusst oder unbewusst mit elektronischen Sensoren die verschiedensten Größen messen und davon viele unserer Handlungen beeinflusst werden. Die Funktionsweise von Sensoren oder Teilaspekte davon finden sich daher in den Rahmenlehrplänen der MINT-Fächer vieler Bundesländer wieder.

Die Arbeitsgruppe Physik des Lehrerfortbildungnetzwerkes T<sup>3</sup> Deutschland stellt mit dieser Reihe Vorschläge für die unterrichtliche Bearbeitung der Thematik zur Verfügung. Jeder Beitrag befasst sich mit der elektrischen Messung *einer* nicht-elektrischen Größe.

Im Mittelpunkt steht jeweils ein einfaches Experiment, mit dessen Hilfe die Lernenden die gesuchte nicht-elektrische Größe indirekt durch die Messung von Stromstärke oder Spannung bestimmen. Abhängig von der unterrichtlichen Schwerpunktsetzung können dann der Versuch selbst, das Messprinzip (Physik / Chemie), das Kalibrieren des „Sensors“ (Mathematik) und / oder die Ausgabe der Messwerte mithilfe einer selbst erstellten Software (Informatik) weiter thematisiert werden. Jeder Beitrag enthält hierfür Anregungen, die auf den Kontext zugeschnitten sind. Die Autoren haben bei der jeweils vorgeschlagenen experimentellen Umsetzung einfachen, im Unterricht leicht umsetzbaren Varianten den Vorzug gegeben. Dabei entspricht das Messprinzip nicht immer dem der Sensoren, die in den meisten realen Anwendungen benutzt werden.

Arbeitsgruppe Physik, T<sup>3</sup> Deutschland / Österreich / Schweiz

Autoren: Hildegard Urban-Woldron, Ralph Schimmack, Michael Roser, Roland Seidel, Benedikt Bannenberg, Stefan Christoph, Mirco Tewes

## Prinzip des indirekten Messens naturwissenschaftlicher Größen über das Messen elektrischer Größen

Prinzipiell funktionieren Sensoren durch die Umwandlung von naturwissenschaftlichen Größen in elektrische Signale.

Als Sensor wird eine Einrichtung benutzt, dessen elektrische Eigenschaften von der zu messenden naturwissenschaftlichen Größe abhängig sind (*Messprinzip*). Besteht in einem Messintervall eine reproduzierbare eindeutige Zuordnung *elektrischer Größe* → *Messgröße*, dann ist der Sensor für die Messung geeignet. Daraus folgt, dass jede Messgröße ihre eigene Art von Sensor erfordert.

Der Sensor liefert zunächst ein von der Messgröße abhängiges analoges Spannungssignal. Dieses muss, will man nicht händisch arbeiten, in einem digitalen Endgerät der eigentlichen Messgröße zugeordnet werden.

Hierfür wird das analoge Spannungssignal zunächst mithilfe eines Analog-Digital-Wandlers in ein digitales Signal umgewandelt, welches an das digitale Endgerät weitergeleitet wird. Mittels einer konkret zum benutzten Sensor passenden Auswertesoftware, wo die häufig lineare Zuordnungsvorschrift hinterlegt ist (Kalibrierung), lässt sich die gesuchte nicht-elektrische Messgröße bestimmen.

Die Messgröße kann dann mit einem Anzeigegerät dargestellt und zur Steuerung oder Regelung technischer Geräte, Anlagen und Prozesse innerhalb eines Systems verwendet werden.

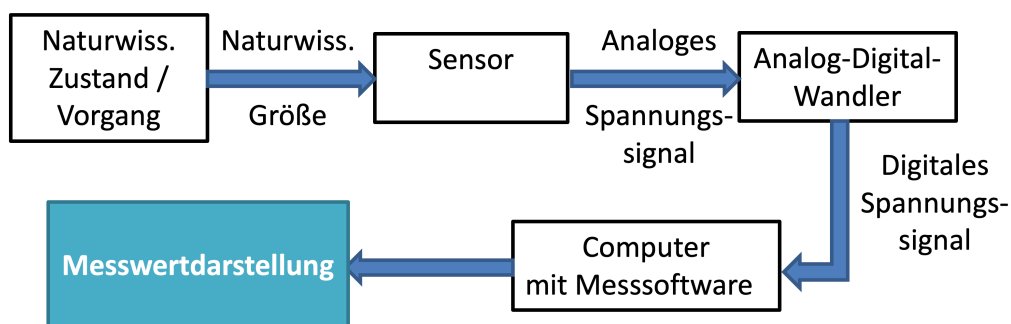


Abb.1: Vereinfachtes Flussdiagramm zum Messen mit Sensoren

### Beispiel 3: Bau eines Beleuchtungssensors

#### Thematische Schwerpunkte

- Grundprinzip des indirekten Messens von naturwissenschaftlichen Größen durch die Ermittlung der Lichtstärke (in LUX) mit Hilfe der direkten Messung der elektrischen Spannung bei einem Fotowiderstand
- Funktionsweise eines lichtempfindlichen Fotowiderstands.
- Kalibrierung des Sensors.
- Programmieren einer „Messsoftware“, die die elektrische Größe ausliest und die Messgröße ausgibt.
- Funktionsweise der Straßenbeleuchtung oder Rollos in Haushalt

#### Zielgruppe

- Wahlpflichtkurs (Differenzierungskurse), AGs, Projekt-Kurse im Fach Physik
- regulärer Fachunterricht Physik (wenn Thema im Curriculum eingebettet ist)
- als Kontext im Physikunterricht: zum Beispiel Halbleiterphysik

#### Aufbau / Geräte

Beim Aufbau einer elektrischen Schaltung für die Herstellung eines Beleuchtungssensors ist es von besonderer Bedeutung, auf Streulicht zu achten und gegebenenfalls den Versuch in einem abgedunkelten Raum durchzuführen.

Es ist wichtig, dass der Lichtsensor und der Fotowiderstand gleich weit von der Lichtquelle positioniert werden (siehe Abbildung 3).

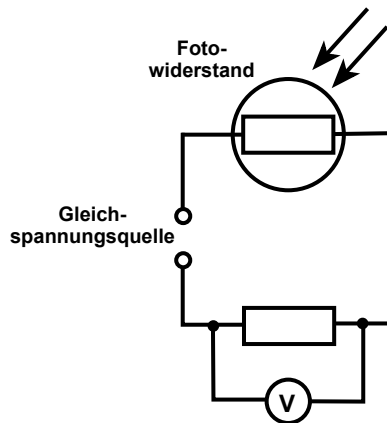


Abb. 2: Versuchsskizze

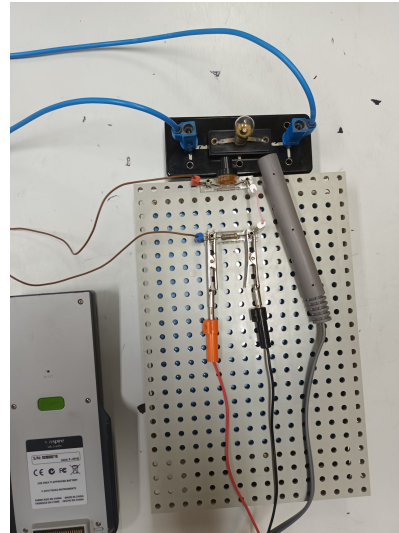


Abb. 3: möglicher Versuchsaufbau

- digitales Messwerterfassungssystem mit Spannungs- und Lichtsensor
- Gleichspannungsnetzgerät (hier 3 Volt)
- Fotowiderstand
- Widerstand (zum Beispiel 1,8 k $\Omega$ )
- Kabel

### Einstellungen

- Spannung an der Gleichspannungsquelle (für Fotowiderstand): 3 V

### Grundlagen zum Fotowiderstand

Ein Fotowiderstand, auch Fotowiderstand oder LDR (Light Dependent Resistor) genannt, ist ein lichtempfindlicher elektrischer Widerstand. Je mehr Licht auf den Fotowiderstand fällt, desto geringer wird sein Widerstand. Im Vergleich zu anderen lichtempfindlichen elektronischen Bauteilen, wie zum Beispiel Fotodioden, reagieren Fotowiderstände sehr langsam.

Fotowiderstand aus Cadmiumselenid:

Eine dünne Schicht des lichtempfindlichen Halbleitermaterials wird durch Sintern eines Pulvers auf einen keramischen Träger aufgebracht. Die elektrischen Anschlüsse

bestehen aus zwei kammartig angeordneten Metallflächen, die einander gegenüberliegen. Die Struktur der lichtempfindlichen Schicht hat dadurch die Form eines Mäanders, durch das der Fotostrom quer zur Bewegungsrichtung fließt.

Die gesamte Anordnung ist mit Anschlussdrähten versehen und mit transparentem Kunstharz überzogen oder vergossen. Hermetisch dichte Metallgehäuse mit Sichtfenster und Glasdurchführungen sind ebenfalls üblich.

Fotowiderstände bestehen häufig aus einer Schicht aus Cadmiumsulfid (CdS) oder Cadmiumselenid (CdSe), die etwa die gleiche Farbempfindlichkeitskurve wie das menschliche Auge oder Fotofilme aufweist.

Für den Infrarotbereich werden Materialien wie Bleisulfid (spektrale Empfindlichkeit bei Wellenlängen von 0,3 bis 3,5  $\mu\text{m}$ ) und Indiumantimonid (Wellenlänge 4,5 bis 6,5  $\mu\text{m}$ ) verwendet.

Bei Halbleitern, die für LDRs geeignet sind, wird nicht der interne photoelektrische Effekt ausgenutzt, sondern Übergänge zu Störstellen. Wird eine Störstelle durch Licht ionisiert, wirkt sie für einige Millisekunden wie eine Dotierung und erhöht die elektrische Leitfähigkeit. Die relativ lange Zeit, die benötigt wird, um die Störstelle wieder zu neutralisieren, führt zu einer hohen Empfindlichkeit, aber auch zu einer langsamen Reaktion. Wegen der Störstellen ist die Photoleitfähigkeit nicht nur vom Grundmaterial, sondern auch von der Mikrostruktur und von Verunreinigungen abhängig. Der verwendete Halbleiter muss nicht amorph sein.

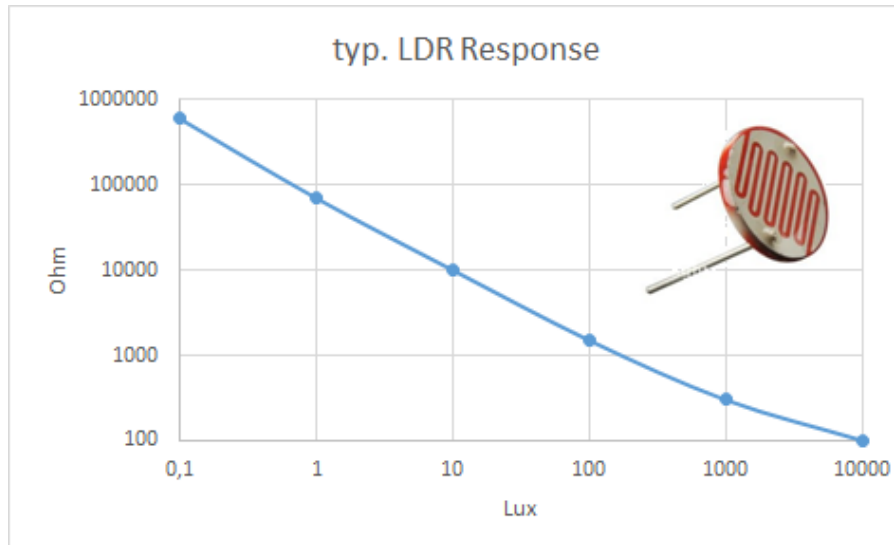


Abb. 4: beispielhafte Widerstandswerte eines Fotowiderstands (des Typs LDR Response)

### Kalibrieren des Sensors im linearen Bereich

(1) Feststellen des linearen Bereichs: Messbereich des Sensors: Messung der elektrischen Größe für verschiedene Kalibrierpunkte mit bekanntem Wert der Messgröße

hier: bekannte Beleuchtungsstärke → Spannung

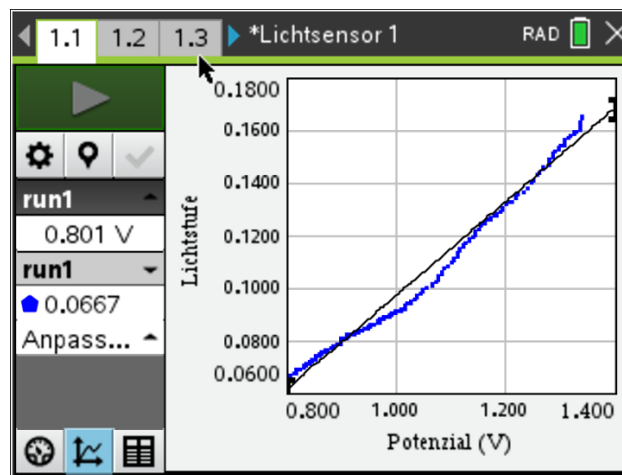



Abb. 5: linearer Bereich: 0,06 bis 0,16 ( $mW/cm^2$ )

(2) Ermitteln der Zuordnungsvorschrift elektrische Größe → Messgröße

hier:  $Lichtstärke(U) = \left(0.18 \frac{1}{V} \cdot U - 0.08\right) \frac{mW}{cm^2}$

(3) Software: Anzeige der Messgröße (TI Basic)



```
1.1 1.2 1.3 *Lichtsensor 1 RAD [ ] X
lichtstaerke1 2/2
Define lichtstaerke1()=
Prgm
Disp "Spannung:",meter.potenzial," V"
Disp "Lichtstufe:",f(meter.potenzial)," [ ]"
EndPrgm
```

Abb. 6: Anzeige der Messgröße (TI Basic)

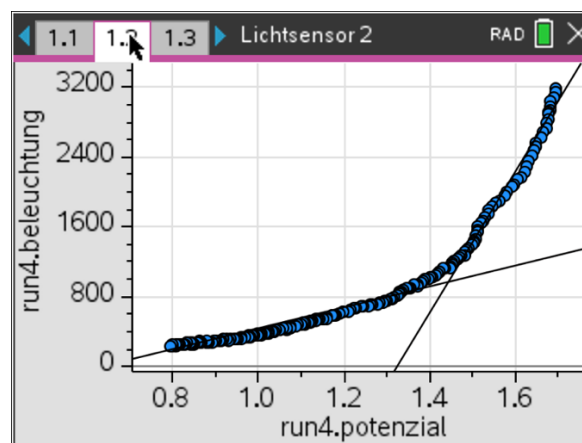
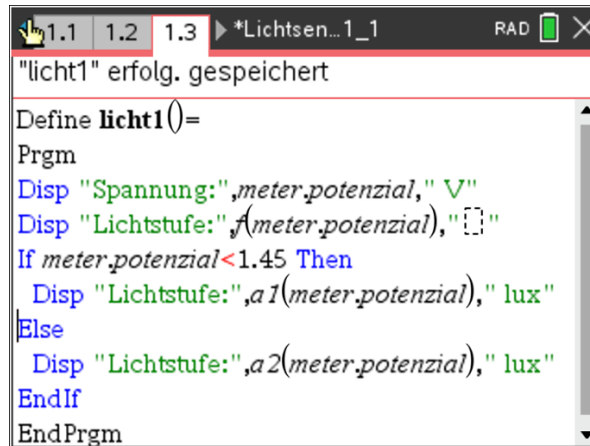


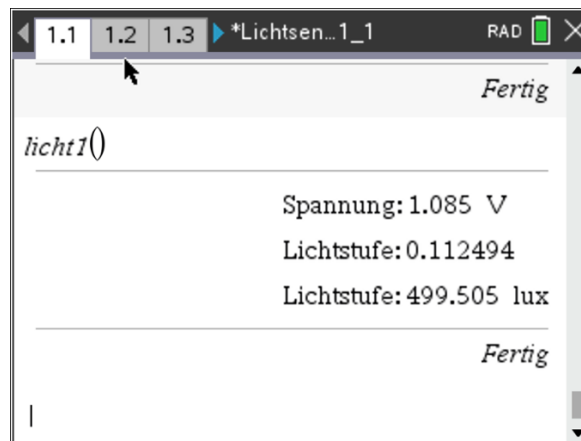
Abb. 7: Alternative: Kalibrierung mit Luxmeter





```
"licht1" erfolg. gespeichert  
Define licht1()=  
Prgm  
Disp "Spannung:",meter.potenzial," V"  
Disp "Lichtstufe:",a(meter.potenzial)," "  
If meter.potenzial<1.45 Then  
Disp "Lichtstufe:",a1(meter.potenzial)," lux"  
Else  
Disp "Lichtstufe:",a2(meter.potenzial)," lux"  
EndIf  
EndPrgm
```

Abb. 8: Anzeige der Messgröße (TI Basic)





```
1.1 1.2 1.3 ▶ *Lichtsen...1_1 RAD    
Fertig  
licht1()  
-----  
Spannung: 1.085 V  
Lichtstufe: 0.112494  
Lichtstufe: 499.505 lux  
-----  
Fertig  
|
```

Abb. 9: Ausführung des Programms Beleuchtungssensor