

## 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 Lehrerfortbildungsnetzwerkes 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.

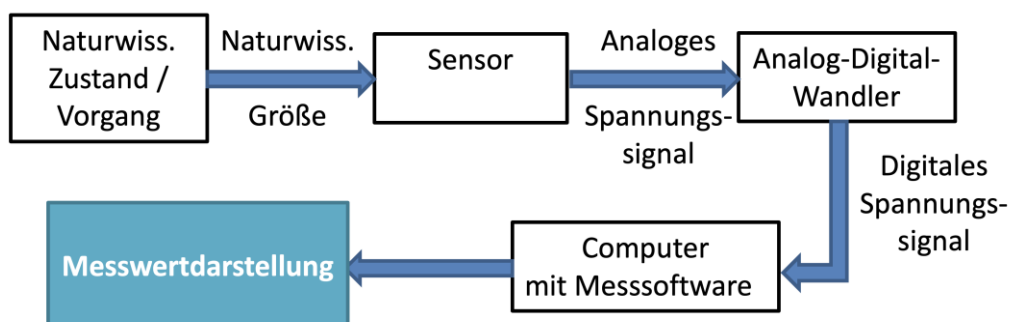


Abb. 1: Vereinfachtes Flussdiagramm zum Messen mit Sensoren

## Beispiel 2: Bau eines digitalen Längenmessers

### Thematische Schwerpunkte

- Grundprinzip des indirekten Messens von naturwissenschaftlichen Größen durch die Ermittlung von elektrischen Größen mit Hilfe der direkten Messung des elektrischen Stroms durch ein selbstgemaltes Graphitband.
- Bestimmung des elektrischen Widerstands mithilfe der eingestellten konstanten Spannung und der gemessenen Stromstärke.
- Abhängigkeit des elektrischen Widerstands des Graphitbandes von Länge.
- Bestimmung der Länge eines digitalen Maßbandes.
- Tabellenkalkulation zur Bestimmung des elektrischen Widerstands aus der gemessenen Stromstärke bei verschiedenen Längen und der eingestellten konstanten Spannung.

### Zielgruppe

- Wahlpflichtkurs (Differenzierungskurse), AGs, Projekt-Kurse im Fach Physik oder Chemie
- regulärer Fachunterricht in Chemie und Physik (wenn Thema im Curriculum eingebettet ist)
- als Kontext im Physikunterricht: zum Beispiel Stromstärke- und Spannungsmessung oder Widerstandsbestimmung in Abhängigkeit von der Länge (Bau eines digitalen Lineals)

### Aufbau / Geräte

Mithilfe eines weichen Graphitbleistifts soll eine Fläche auf kariertem Papier gezeichnet werden. Im Anschluss soll ein elektrischer Stromkreis mithilfe eines Stromstärkesensors aufgebaut werden. Die Krokodilklemmen werden verwendet, um den Stromkreis zu schließen. Im weiteren Verlauf des Experiments wird der Abstand zwischen

den Krokodilklemmen variiert und die elektrische Stromstärke bei konstanter Spannung gemessen.

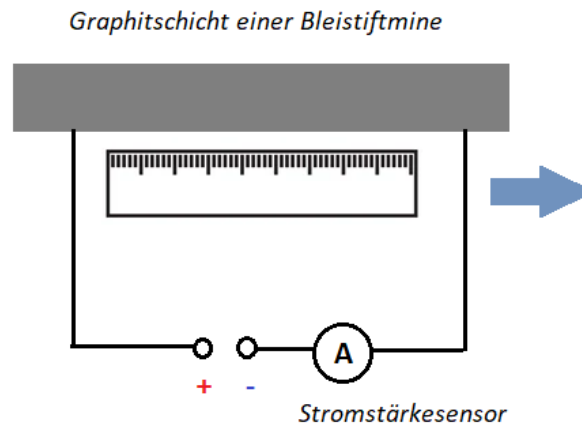


Abb. 2: Versuchsaufbau

- digitales Messwerterfassungssystem mit Stromstärkesensor
- leitfähiges Graphitband mit einem Bleistift gemalt (zum Beispiel mit einer Länge von 5 cm)
- Gleichspannungsnetzgerät (12 Volt)
- Kabel
- Krokodilklemmen

## Einstellungen

- Länge des Graphitbandes: ungefähr 5 cm
- Spannung an der Gleichspannungsquelle: 12,8 V
- gemessene Stromstärke  $I = 1,22 \dots 0,23 \text{ mA}$

## Indirekte Abhängigkeit des elektrischen Widerstands der leitfähigen Graphitschicht von der Länge der Graphitschicht

Der Bleistiftmine besteht aus Graphit als Pigment, Ton als Bindemittel sowie Fetten und Wachsen als Imprägniermittel. Bei Minen von Feinminenstiften wird ein Polymergerüst

anstelle von Ton verwendet. Eine durchgehende Verbindung zwischen den elektrisch leitfähigen Füllstoffen des Bleistifts ist notwendig, um eine optimale Leitfähigkeit der Graphitschicht und somit einen niedrigen elektrischen Widerstand zu gewährleisten. Die Leitfähigkeitseigenschaften einer elektrisch leitenden Graphitschicht eines Bleistifts erlauben eine indirekte Messung von Widerständen, ähnlich wie bei klassischen Schieberegler. Dabei führt die Messung der Stromstärke entlang der gemalten Graphitschicht zu einer Widerstandsvergrößerung. Der spezifische Widerstand ist eine Materialkonstante des jeweils verwendeten Materials und ermöglicht präzise Messergebnisse. In einem begrenzten Längenbereich der aufgetragenen Graphitschicht (ungefähr 5 cm) zeigt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Länge der Graphitschicht und dem elektrischen Widerstand (vergleiche Diagramm). Innerhalb dieses Bereichs ist der Einsatz der Graphitschicht als digitales Lineal denkbar. Im vorliegenden Kontext soll die Länge einer Graphitschicht mittels indirekter Widerstandsmessung bestimmt werden.

### Kalibrieren des Sensors im linearen Bereich

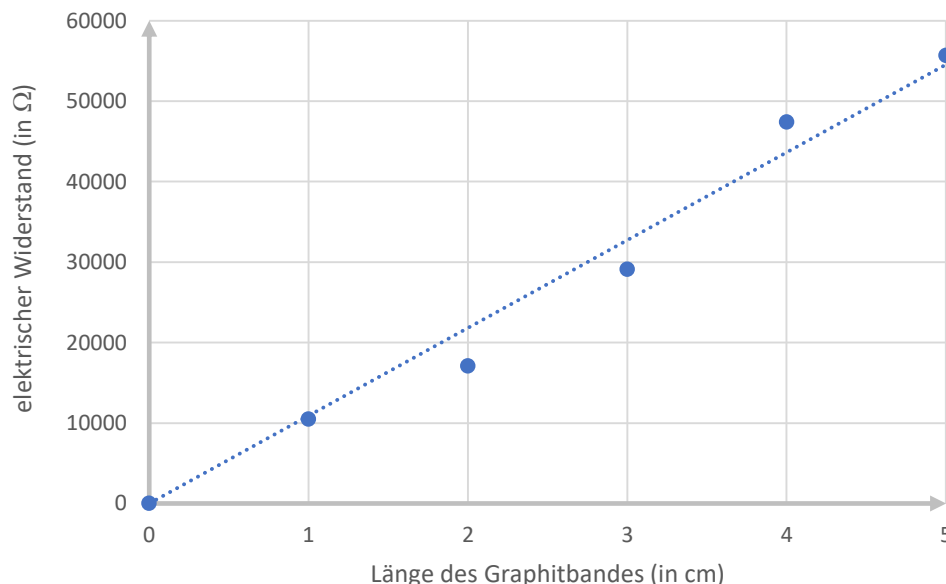


Abb. 3: Länge der Graphitschicht gegen den elektrischen Widerstand  
(linearer Bereich bei einer Länge von 5 cm)

Ermittlung des linearen Bereichs: Bestimmung des Messbereichs des Sensors und anschließende Messung der elektrischen Größe für verschiedene Kalibrierpunkte mit bekanntem Wert der Messgröße. In diesem Fall wird die bekannte Länge des Graphitbands genutzt, um die elektrische Stromstärke durch das Band zu bestimmen. Mit Hilfe der konstanten Spannung (hier 12,8 V) kann nun der Widerstand bestimmt werden:

$$R = \frac{U}{I}$$

(1) Feststellen des linearen Bereichs: Messbereich des Sensors

Messung der elektrischen Größe für verschiedene Kalibrierpunkte mit bekanntem Wert der Messgröße

hier: *bekannte Länge* → *Widerstand des Graphitbandes*

(2) Ermitteln der Zuordnungsvorschrift Messgröße → elektrische Größe

hier:  $R(l) = 10905 \frac{\Omega}{\text{cm}} \cdot l$

(3) Ermitteln der Umkehrfunktion *elektrische Größe* → *Messgröße*

hier:  $l(R) = 0,00009 \frac{\text{cm}}{\Omega} \cdot R$

### **Programm zum Auslesen, Berechnen und Anzeigen der Messgröße**

Die Programmierung verläuft ähnlich, wie in Beispiel 1 (Prinzip einer elektronischen Waage).