

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 T³ 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, T³ 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.

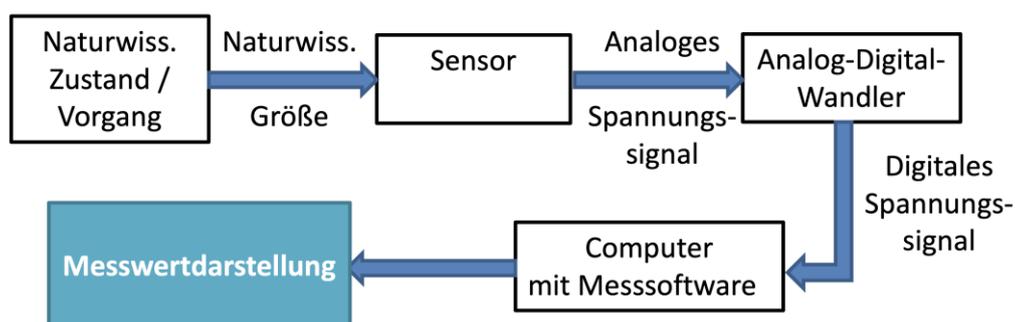


Abb. 1: Vereinfachtes Flussdiagramm zum Messen mit Sensoren

Beispiel 1: Prinzip einer elektronischen Waage**Thematische Schwerpunkte**

- Grundprinzip des indirekten Messens naturwissenschaftlicher Größen über das Messen elektrischer Größen ...
 - ... am Beispiel des Messens der Masse eines Körpers
 - ... mithilfe des Messens der Stromstärke durch ein leitfähiges Filament / ... mithilfe des Messens des Spannungsabfalls
- Abhängigkeit des elektrischen Widerstands des leitfähigen Filaments von der Masse eines angehängten Körpers
- Kalibrieren eines Sensors im linearen Bereich
- Programmieren einer „Messsoftware“, die die elektrische Größe ausliest und die Messgröße ausgibt
- ggf. Grundprinzip AD-Wandler

Zielgruppe

- Wahlpflichtkurs / AG / Projekt
- regulärer Fachunterricht, wenn Thema im Curriculum
- als Kontext im Physikunterricht, z. B. Stromstärke- und Spannungsmessung oder Leitungsvorgänge

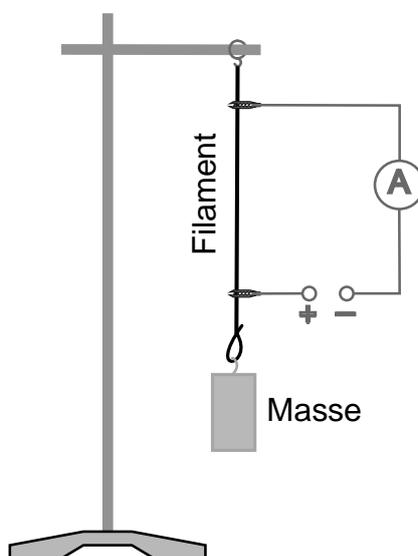
Aufbau / Geräte

Abb.2: Aufbau

- Messwerterfassungssystem mit Stromstärkesensor, alternativ: Widerstand mit parallel geschaltetem Spannungssensor
- Körper verschiedener Masse (Kalibriermassen)
- Leitfähiges Filament fester Länge (z. B. 50 cm), hier wurde Filament mit Graphit als Leitfähigkeitsadditiv benutzt
- Gleichspannungsnetzgerät
- Kabel
- Stativ

Einstellungen

- Länge ca. 50 cm
- Spannung 12 V
- $I = 0,2 \dots 1,27 \text{ mA}$
- $m = 0,1 \dots 1,2 \text{ kg}$

Abhängigkeit des elektrischen Widerstands des leitfähigen Filaments von der Masse eines angehängten Körpers

In leitfähigem Filament für den 3D-Druck wird dem Kunststoff (Thermoplast, Polymer) ein leitfähiger Stoff zugesetzt. Für diese sogenannten Füllstoffe werden zum Beispiel Ruß, Graphit oder Carbonfasern verwendet. Die leitfähigen Füllstoffe müssen im Filament durchgehende Pfade bilden. Je mehr solcher Pfade vorhanden sind, desto besser leitet das Filament bzw. desto niedriger ist sein elektrischer Widerstand.

Die Leitungseigenschaften elektrisch leitender Filamente ermöglichen es, dass diese ähnlich wie klassische Dehnungsmessstreifen zur indirekten Messung von Kräften verwendet werden können. Zugkräfte bewirken eine minimale Verringerung des Filamentquerschnitts, was aber nicht wie bei metallischen Leitern zu einer Verringerung der Leitfähigkeit führt. Die Leitfähigkeit steigt, da sich die Abstände der Füllstoffpartikel verringern und dadurch mehr geschlossene Leitungspfade entstehen. In einem begrenzten Kraftbereich kann der Zusammenhang zwischen Kraft und Widerstand bzw. Leitfähigkeit als linear angesehen werden. In diesem Bereich ist eine Nutzung des Filaments in einem Kraftsensor denkbar. In dem hier dargestellten Kontext soll über die indirekte Messung der Gewichtskraft die Masse eines am Filament hängenden Körpers bestimmt werden.

Hinweise / Alternativen

Der Versuch ist im Allgemeinen nicht ideal reproduzierbar. Das heißt, dass die Zugkräfte die Materialstruktur so verändern, dass bei einer Wiederholung des Versuchs nicht dieselben feststellbar sind. Dennoch eignet sich der Aufbau, um das grundsätzliche Vorgehen einer digitalen Massebestimmung zu demonstrieren.

Alternativ kann statt des leitfähigen Filaments ein in Salzlösung getränkter Textilgummi verwendet werden. Die Einschränkungen bzgl. der Reproduzierbarkeit gelten hier in ähnlicher Weise. Ein Dehnungsmessstreifen kann alternativ oder ergänzend benutzt werden und liefert reproduzierbare Messwerte.

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 Masse* → *Stromstärke durch das Filament*

Linearer Bereich: 0,1 bis 0,5 kg

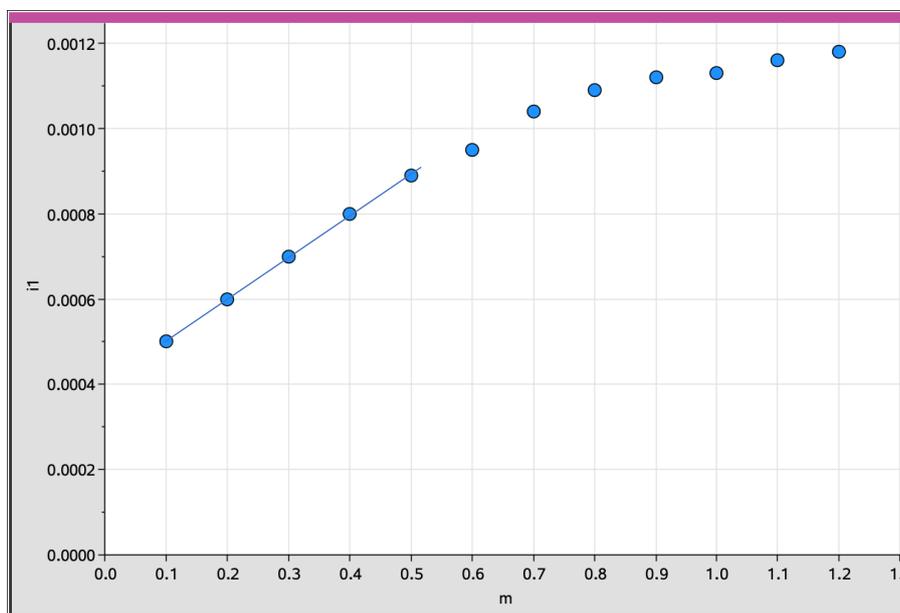


Abb.3: Beispielmessung: I in Abhängigkeit von m

(2) Ermitteln der Zuordnungsvorschrift Messgröße → elektrische Größe

hier: $I(m) = 0,00097 \frac{\text{A}}{\text{kg}} \cdot m + 0,000407 \text{ A}$

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

hier: $m(I) = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{A}} \cdot I + 0,4 \text{ kg}$

Programm zum Auslesen, Berechnen und Anzeigen der Messgröße

Der aktuelle Messwert der Stromstärke (*meter.stromstärke*) wird hier mit einem Stromstärkesensor erfasst. Die Messapplikation *Vernier DataQuest™* muss hierfür im Hintergrund ausgeführt werden. Bei jedem Start des Programms wird die Stromstärke aktuell ausgelesen und die Masse des angehängten Körpers berechnet und angezeigt.

Beispiel mit *TI Basic*:

```
Define waage()=  
Prgm  
Disp "Waage"  
Disp "Stromstärke: ",meter.stromstärke," A"  
Disp "Masse: ",1030*meter.stromstärke+0.4," kg"  
EndPrgm
```

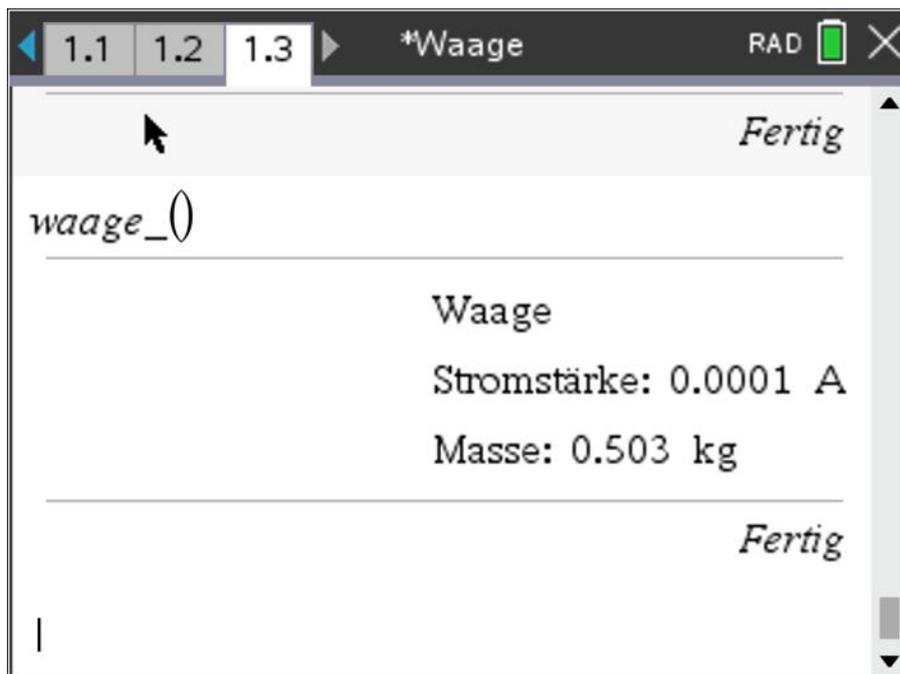


Abb.4: Ausführen des Programms „Waage“