Entdeckung von Dipolfeldern mithilfe des EKGs

Autor: Dr. Hans-Otto Carmesin, Athenaeum Stade / Universität Bremen

Das Elektrokardiogramm (EKG) macht die elektrischen Vorgänge im Herzen sichtbar und ist ein Standardverfahren der medizinischen Messtechnik. Das EKG ist auch für das Lernen günstig, denn Interessenstudien zeigen, dass den eigenen Körper betreffende Themen auch für den Physikunterricht besonders motivierend[5] sind. Hier zeige ich, wie Schülerinnen und Schüler[6] im Physikunterricht mithilfe des EKGs elektrische Feldlinien und Äquipotentiallinien eines Dipols entdecken. Zur Aufzeichnung des EKGs wird der FX-9860GII, das EA-200 und der EKG-Sensor von Vernier verwendet. Die Einheit umfasst 3 Unterrichtsstunden.

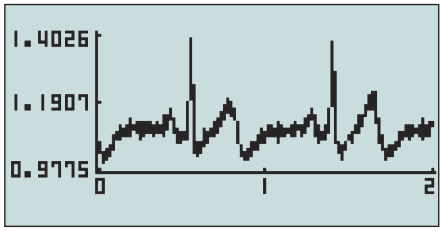

Abbildung 1:
Abszisse: Zeit in Sek.. Ordinate: Spannung ungefähr in mV. Man erkennt deutlich das periodische Signal. Als Maß für die Signalstärke wählen wir die maximale Spannungsdifferenz: 1,4 mV – 1 mV = 0,4 mV.

Erste Messung

Bei allen hier dargestellten Versuchen sind zwei Dinge unbedingt zu beachten:

- Aus Sicherheitsgründen darf auf gar keinen Fall eine indirekte oder direkte elektrische Verbindung zwischen einem Kontaktpflaster und einem Netzgerät bestehen, da dabei kurze Überspannungen nicht auszuschließen sind. Daher werden alle verwendeten Geräte ausschließlich mit Batterien betrieben.
- Zum Schutz der Persönlichkeitssphäre muss die Versuchsperson ein Junge sein, der sich freiwillig zu den Versuchen bereit erklärt. Die Versuche sind von einem weiteren Jungen durchzuführen, damit die Lehrkraft keinen Schüler berühren muss.

Es wird die Spannung zwischen zwei Punkten der Haut gemessen. Dazu wird in den beiden Ellenbogenbeugen je ein Kontaktpflaster befestigt; mit der roten und grünen Klemme werden sie mit dem Sensor verbunden. Dieser wird an Kanal 1 des EA-200 gesteckt. Das EA-200 wird über das Datenkabel mit dem FX-9860GII verbunden. Im FX-9860GII werden folgende Einstellungen in der E-CON2-Anwendung getätigt: F1 (Setup EA-200) F1 (Wizard) F2 (Vernier-Sensor) ▼ EXE (Auswahl des EKG-Sensors), 2 EXE 1 F1 (Messdauer 2 Sekunden). Abschließend zum Start der Messung EXE. Als Ergebnis erhalten wir das EKG als Graphen (s. Abb. 1). Dabei ist der Vernier-Sensor bezüglich der Spannungseinheit nicht genau kalibriert.

Spielerische Versuche

Nach der ersten Messung dürfen die Schüler eigene Versuche durchführen. Sie entdecken, dass das EKG leicht durch Muskelanspannung gestört werden kann. Daran erkennen sie, dass die elektrischen Signale ebenso aufgezeichnet werden, wie die Signale, die den Herzmuskel zur Kontraktion anregen. Wird die Position der Kontaktpflaster variiert, beobachten sie unterschiedliche Spannungsbeträge. Bei ihren Versuchen staunen die Schüler, dass auch ein deutliches Signal gemessen wird, wenn beide Kontaktpflaster an der linken Schulter und an der linken Ellenbogenbeuge befestigt sind.

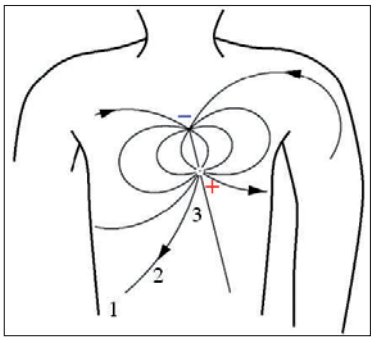

Abbildung 2:
Die Schüler vermuten einen elektrischen Dipol in der Herzgegend. Sie skizzieren die elektrischen Feldlinien. Ihr Kontrollversuch ergibt U_{12} = 0,5 mV und U_{13} = 2,5 mV und bestätigt so deutlich die Hypothese.

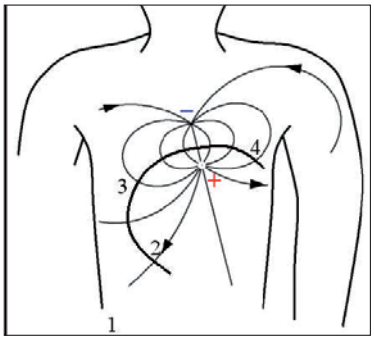

Abbildung 3:
Die Schüler vermuteten, dass die Äquipotentiallinie senkrecht auf den Feldlinien steht. Sie brachten eine Elektrode im Punkt 1 an, während sie die andere bei den Punkten 2, 3 und 4 anhefteten. Sie maßen Spannungen von 1,1 mV ± 0,2 mV und bestätigten so ihre Hypothese.

Die Äquipotentiallinien

Bei diesem Versuch wird zunächst eine Elektrode in größerer Entfernung vom Herzen befestigt. Um das Feld und die Lage des Dipols genauer zu untersuchen, sollen die Schüler eine Linie finden, auf welcher der zweite Messpunkt immer zur gleichen Spannung führt. Sie vermuten, dass die Linie senkrecht zu den Feldlinien verlaufen muss. (s. Abb. 3).
Die im Versuch gefundene Linie konstanter Spannung ist somit eine Äquipotentiallinie.

Darstellung der Äquipotentiallinien

Zur Darstellung von Äquipotentiallinien gehen wir zunächst auf die bekannte potentielle Energie einer Ladung q im Feld einer Ladung Q im Abstand r zurück:
$E_{pot} = Q \cdot q/(4\pi\varepsilon_0 r)$.
Wir bestimmen das Potential durch Division durch q : $V = Q/(4\pi\varepsilon_0 r)$.

Das Potential $V(\vec{r})$ an einem Ort $\vec{r}$, das ein Dipol mit den Ladungen ± Q und den Ortsvektoren $\vec{r}_1$ bzw. $\vec{r}_2$ verursacht, ist somit:

$$V(\vec{r}) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}_1|} - \frac{1}{|\vec{r}-\vec{r}_2|}\right)$$

Mit dem FX-9860GII lässt sich das Äquipotentiallinienbild darstellen (s. Abb. 4). Dazu benötigt man ein Programm[7].

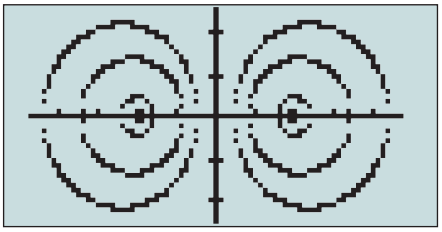

Abbildung 4:
Äquipotentiallinien: Längeneinheit 2 cm. Ladungen (Rechtecke) Q = ± 11 pC bei (±4cm|0). Potentiallinien für V = ± 10 mV, ± 2,5 mV und ±1,25 mV.

Defibrillator

Allein in Deutschland sterben jährlich 100.000 Menschen dadurch, dass das Herz aus dem Rhythmus gerät[8]. Dabei kann geholfen werden, wenn innerhalb weniger Minuten wirksam gehandelt wird. Hierfür gibt es seit einigen Jahren Geräte, die Laien bedienen können und dürfen: Defibrillatoren. Es werden zwei Elektroden auf die Brust geklebt, dann erstellt das Gerät das EKG, analysiert es und bietet bei Bedarf einen Stromstoß an, der das Herz wieder zum geordneten Schlagen anregt.

[5] H. Muckenfuß: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Cornelsen, Berlin 1995, S. 84. [6] Im Folgenden ist mit der männlichen Form umfassend auch die weibliche gemeint. [7] Das Programm, sowie eine detailliertere Fassung des Beitrages kann unter www.casioschulrechner.de/de/materialdatenbank heruntergeladen werden. [8] M. Paschkewitz-Kloss: Herzspezialist: Nicht allein auf Defibrillator verlassen. Badische Neueste Nachrichten, Ettlingen 31.01.2009.