

## Physik mit Herz – Ein Lehr-Lern-Labor zur Biophysik

Markus Elsholz\*, Friederike Appold, Thomas Trefzger

Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Emil-Hilb-Weg 22, 97074 Würzburg

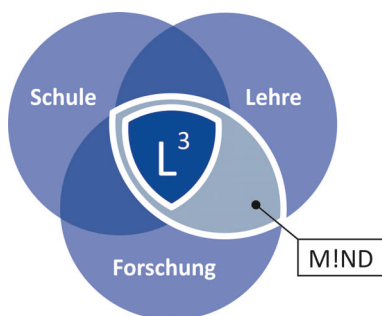
\*markus.elsholz@physik.uni-wuerzburg.de, friederike.appold@physik.uni-wuerzburg.de  
thomas.trefzger@physik.uni-wuerzburg.de

### Kurzfassung

Die Lehr-Lern-Labore  $L^3$  des mathematisch-informationstechnologischen und naturwissenschaftlichen Didaktikzentrums (M!ND-Center) der Universität Würzburg sind vitale Austausch- und Begegnungsorte für Lehrkräfte, Fachdidaktiker, Fachwissenschaftler, Studierende und Schüler. Der Beitrag stellt in Kürze das Konzept des M!ND-Centers vor und beschreibt exemplarisch die Experimentierstationen des  $L^3$  *Biophysik* zum Themenkomplex elektrische Dipole, Felder und Potentiale anhand des Elektrokardiogramms (EKG).

### 1. M!ND-Center

Das M!ND-Center ist ein Lehr- und Forschungsverbund aller Didaktiken der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultäten der Universität Würzburg. Hier treffen sich auf einer Fläche von mehr als 1000 m<sup>2</sup> Wissenschaftler/innen, Lehramtsstudierende, Lehrkräfte und Schüler/innen um sich auszutauschen, interdisziplinär zu forschen und voneinander zu lernen. Das M!ND-Center sieht sich an der Schnittstelle zwischen fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Forschung, Lehre und Schule verankert. Kernelement dieser Schnittmenge ist das Lehr-Lern-Labor  $L^3$ .



**Abb. 1:** Das M!ND-Center ist Schnittstelle von Schule, Lehre und Forschung (fachdidaktisch und fachwissenschaftlich)

### 2. Lehr-Lern-Labor $L^3$

Im Lehr-Lern-Labor  $L^3$  entwickeln Studierende zusammen mit Fachdidaktikern und Fachwissenschaftlern Experimentierumgebungen und Vermittlungskonzepte zu aktuellen wissenschaftlichen Themengebieten und erproben und evaluieren diese bei Durchführungen mit Schulklassen vor Ort in den Lehr-Lern-Laboren des M!ND-Centers. Das  $L^3$  wird von Schüler/innen im Klassenverbund besucht, die beim selbstständigen Experimentieren in Kleingruppen

von Lehramtsstudierenden intensiv betreut werden. Die damit verbundene Erhöhung des Praxisbezugs während des Studiums führt in der subjektiven Einschätzung der Studierenden zu einer Zunahme ihrer Unterrichtskompetenz [1]. Für die fachdidaktische Forschung ergibt sich die einmalige Möglichkeit, Lehr-Lern-Prozesse unter Laborbedingungen zu studieren und sukzessive zu optimieren.

### 3. Lehr-Lern-Labor Biophysik

Kontextorientierung gilt als gewinnbringende Vorgehensweise bei der Vermittlung physikalischer Inhalte [2]. Zudem wurde nachgewiesen, dass insbesondere der Kontext „menschlicher Körper“ das Interesse von Mädchen an physikalischen Inhalten signifikant steigert – und von den Jungen ohne wesentlichen Interessensverlust angenommen wird [3]. Zum dritten bietet sich an bayerischen Gymnasien seit kurzem die Möglichkeit, Biophysik als Lehrplanalternative zu Physik in der elften Jahrgangsstufe zu unterrichten.

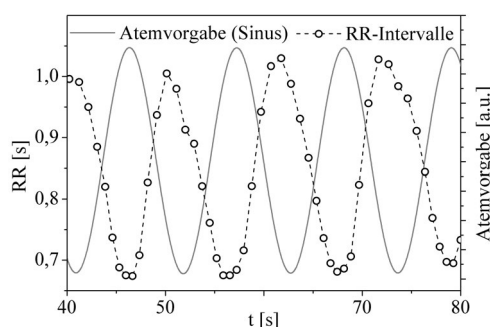
Im Rahmen eines Promotionsvorhabens wird daher derzeit am M!ND-Center ein  $L^3$  *Biophysik* aufgebaut und die Motivation der Schüler/innen für die Wahl der Lehrplanalternative ebenso erhoben wie die Lehrerkompetenz in diesem Bereich und die Effekte der Kontextorientierung auf die Unterrichtsgestaltung bzw. den Lernerfolg.

Es existieren bereits Experimentierstationen zu dem Thema *bildgebende Verfahren* (Röntgen bzw. Computertomografie und Magnet-Resonanztomografie). Durch die Unterstützung der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung wird es für Schüler/innen in Kürze möglich sein, am M!ND-Center CT- und MRT-Aufnahmen zu erzeugen und mit diesen Verfahren zu experimentieren.

Im Folgenden werden die Experimentierstationen zum Thema Elektrokardiogramm (EKG) vorgestellt.

### 3.1. Erste Station: Herztrommel

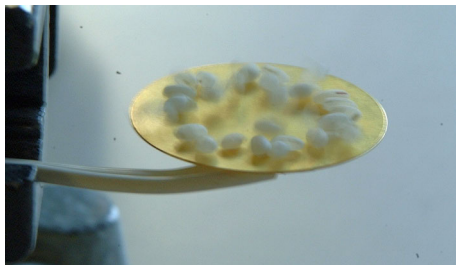
Die erste Station bietet einen spielerischen Einstieg in das Thema und stellt einen direkten Bezug zum eigenen Körper her. Daraus erwächst die Motivation für eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten. Die Schüler/innen berühren mit ihren Händen zwei leitende Elemente und hören kurz darauf eine Trommel im Takt ihres eigenen Herzens schlagen. Auf einem Monitor sehen sie die Folge der RR-Intervalle, also der zeitlichen Abstände zwischen aufeinander folgenden Herzkontraktionen. Sie beobachten, dass sich diese Zeitwerte über die Atmung beeinflussen lassen: Tiefe, möglichst sinusförmige Atemzüge führen zu einer (phasenverschobenen) sinusförmigen Antwort (Abb. 2) in der RR-Zeitreihe – die beiden physiologischen Rhythmen sind gekoppelt [4].



**Abb. 2:** Bei sinusförmiger Atemvorgabe „antwortet“ die Herzrate mit sinusförmiger Modulation

### 3.2. Zweite Station: Tanzende Reiskörner

Die zweite Station vermittelt das Prinzip der elektromechanischen Kopplung: Muskeln reagieren auf elektrische Reize mit mechanischer Kontraktion. Als Modellsystem dient ein Piezokristall, an den mit einem Frequenzgenerator sinusförmige Wechselspannung angelegt wird. Die Schüler/innen legen Reiskörner auf die Scheibe und suchen nach der Resonanzfrequenz des Kristalls, um die Schwingungen über das Tanzen der Reiskörner sichtbar zu machen (Abb. 3).



**Abb. 3:** Reiskörner machen die Schwingungen eines Piezo-Kristalls sichtbar

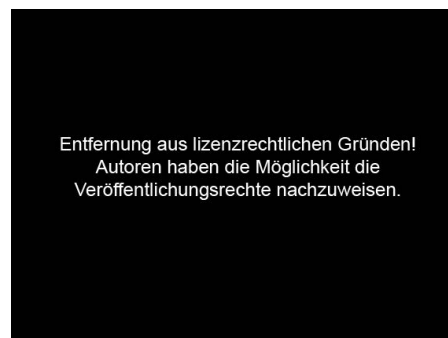
An einem einfachen Kristallmodell kann anschließend nachvollzogen werden, wie im Gegenzug mechanische Einwirkung in piezoelektrischen Materialien über die Trennung von Ladungsschwerpunkten zur Ausbildung einer Spannung zwischen den Grenzflächen führt.

### 3.3. Dritte Station: Strom? Reizend!

Mittels eines Reizstromgerätes erfahren die Schüler/innen die elektromechanische Kopplung am eigenen Leib: Die gereizten Muskeln (z.B. am Unterarm) reagieren mit mechanischer Kontraktion. Die Begriffe Frequenz und Intensität werden an dieser Station im Wortsinn begreifbar und die Herzaktion kann bereits näherungsweise als koordinierte Muskelkontraktion in Folge elektrischer Stimulation verstanden werden.

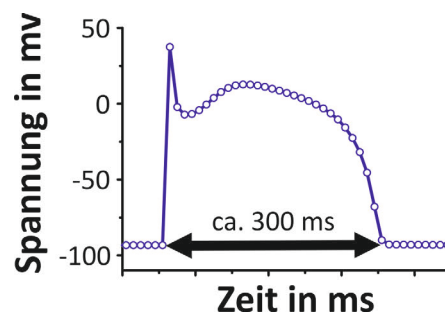
### 3.4. Vierte Station: Aktionspotential

Als Quelle der elektrischen Stimulation des Herzens wird der Sinusknoten (Abb. 4) eingeführt: Eine Region spezialisierter Herzmuskelzellen im rechten Vorhof. Sie fungieren als Taktgeber der Herzaktion. Die Erregung breitet sich von dort über das Reizleitungssystem bis in die Herzspitze aus. Dort geht sie auf die Arbeitsmuskulatur über und wandert in dieser wellenfrontartig von der Herzspitze zur Herzbasis, wodurch die koordinierte Kontraktion der Ventrikel gesteuert wird.



**Abb. 4:** Die elektrische Erregung des Herzens entsteht im Sinusknoten (1) und geht (zuerst an der Herzspitze, 2) an den verzweigten Enden des Reizleitungssystems (blau) auf das Arbeitsmyokard über.

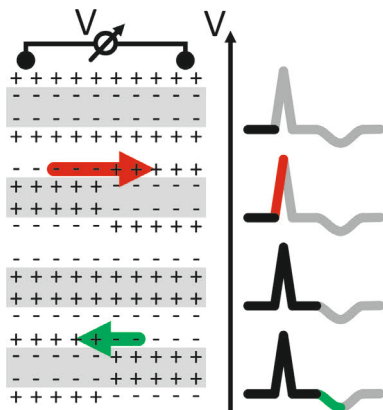
Die Erregung einer Herzmuskelzelle wird durch Ionenströme durch die Zellmembran der Myokardzellen hervorgerufen. Anhand eines Zellmodells [5] simulieren die Schüler/innen diese Ionenströme am Rechner (im Aufbau) und verstehen deren Rolle für das Zustandekommen des Aktionspotentials (Abb. 5), also des Spannungsverlaufs zwischen Zellinnerem und dem Außenbereich während eines Erregungszyklus.



**Abb. 5:** Aktionspotential einer Myokardzelle.

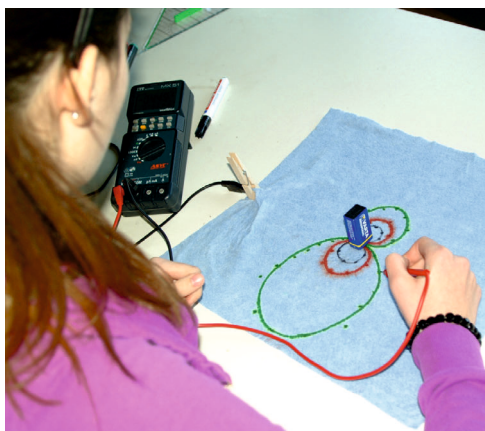
### 3.5. Fünfte Station: Elektrogramm

Als Vorstufe zum EKG wird das Elektrogramm einer einzelnen Herzmuskelfaser diskutiert (Abb. 6). Die Verbindung zwischen dem Dipolfeld der Erregung und dem gemessenen Spannungsverlauf wird hergestellt: Erregte Muskelzellen sind im extrazellulären Bereich negativ geladen. Auf der Ebene einzelner (idealisierter, linearer) Muskelfasern korrespondiert daher jede momentane Erregungskonfiguration mit einem (Summen-)Dipolvektor, der parallel zur Faser von erregten zu nicht-erregten Bereichen zeigt. Die Addition der einzelnen Faservektoren im realen Herzmuskel führt zu einem zeitabhängigen dreidimensionalen Summendipolvektor, mit dem die momentane Erregungssituation des gesamten Herzens beschrieben werden kann.



**Abb. 6:** Elektrogramm einer idealisierten linearen Muskelfaser.

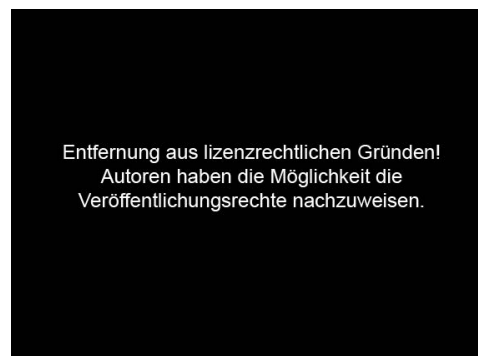
Als Modell dieses (Herz-)Dipols dient den Schüler/innen eine 9V-Blockbatterie. Diese wird mit ihren Kontakten auf ein angefeuchtetes Stofftuch gestellt und die Äquipotentiallinien werden mit einem Multimeter gemessen (Abb. 7). Der „Herzdipol“ wird als Ursache elektrischer Potentiale im Körper erkannt und das EKG-Messprinzip als Registrierung einer Potentialdifferenz zwischen zwei Orten auf der Körperoberfläche wird deutlich.



**Abb. 7:** Das Beispiel der Äquipotentiallinien eines statischen Dipolfeldes dient der Hinführung zum Konzept der EKG-Messung auf der Körperoberfläche.

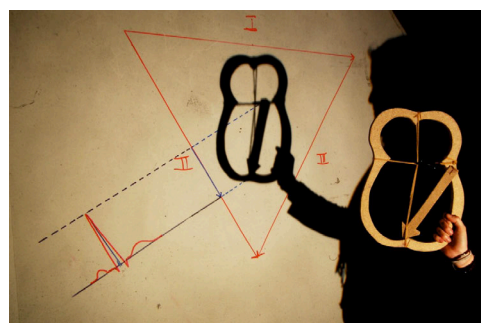
### 3.6. Sechste Station: EKG-Messung

Die Werte der EKG-Kurve ergeben sich anschaulich als Projektionen des Dipolvektors auf die Verbindungslinie der Messpunkte. So wird z. B. das Signal in der Ableitung II nach Einthoven zwischen rechter Hand und linkem Fuß gemessen (Ableitungen I und III analog, siehe Abb. 8). Im gesunden Herzen durchläuft die Spitze des Dipolvektors während einer Herzaktion eine charakteristische Bahn mit drei Schleifen, die zu einer Messkurve mit drei charakteristischen Elementen führt: P-Welle (Vorhofkontraktion, grün), QRS-Komplex (Ventrikelkontraktion, rot) und T-Welle (Erregungsrückbildung, blau).



**Abb. 8:** Die EKG-Kurve ergibt sich als „Projektion“ des Dipolvektors auf die Verbindungslinie der Abgreifpunkte.

Mit einem einfachen Modell vollziehen die Schüler/innen das Zustandekommen der EKG-Kurve nach (Abb. 9). Ein dreidimensionaler Vektor wird im Lichtstrahl des Overhead-Projektors auf die Wand projiziert (entspricht der Projektion des Dipolvektors in die Körperebene). In einem zweiten Schritt ergibt sich die momentane Amplitude der EKG-Kurve als Projektion des Vektorschattens auf eine Seite des Einthoven-Dreiecks.



**Abb. 9:** Die Vektorprojektion wird anhand eines einfachen Modells veranschaulicht.

Zum Abschluss messen die Schüler/innen ihr eigenes EKG, verwendet wird dazu der EKG-Sensor der Firma Pasco. Die Morphologie der gemessenen Kurve wird mit einem idealtypischen Verlauf verglichen und alle charakteristischen Elemente werden identifiziert, die mittlere Herzrate wird ermittelt. Nach kurzer sportlicher Betätigung wird die Messung wiederholt und Unterschiede zur ersten Messung werden herausgearbeitet.

#### 4. Ausblick

Neben dem Bereich Medizinphysik sieht der Lehrplan in Bayern noch die Themengebiete *Auge und Ohr*, *Typische Untersuchungsmethoden der Biophysik*, *Neuronale Signalleitung und Informationsverarbeitung*, *Photosynthese* und *Grundlagen der Biomechanik* vor. Auch diese Themenfelder sollen im L<sup>3</sup> *Biophysik* zukünftig abgebildet werden. Schüler/innen können das L<sup>3</sup> einerseits im Klassenverbund für die Dauer eines Schultags besuchen. Natürlich stehen die Geräte des L<sup>3</sup> auch Schüler/innen zur Verfügung, die umfangreichere Fragestellungen über einen längeren Zeitraum untersuchen möchten.

#### 5. Literatur

- [1] Völker, Matthias; Trefzger, Thomas (2010): Lehr-Lern-Labore zur Stärkung der universitären Lehramtsausbildung. In: Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2010, <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/173> (Stand: 5/2011)
- [2] Kuhn, Jochen; Müller, Andreas; Müller, Wieland; Vogt, Patrik (2010): Kontextorientierter Physikunterricht. In: PdN-PhiS 2010, 5/59, 13-25
- [3] Häußler, Peter; Bünder, Wolfgang; Duit, Reiniers; Gräber, Wolfgang; Mayer, Jürgen (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Leibniz Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel
- [4] Angelone, Alfonso; Coulter, Norman A. (1964): Respiratory sinus arrhythmia: a frequency dependent phenomenon, In: Journal of Applied Physiology, 19(3), 479-482
- [5] Cortassa, Sonia, Aon, Miguel; O'Rourke, Brian; Jacques, Robert; Tseng, Hsiang-Jer; Marbán, Eduardo; Winslow, Raimond L. (2006): A Computational Model Integrating Electrophysiology, Contraction, and Mitochondrial Bioenergetics in the Ventricular Myocyte; In: Biophysical Journal, 91, 1564-1589