

Methoden wissenschaftlichen Arbeitens – ein erreichbares Lernziel im Medizinerpraktikum

Sabine Obermeier, Michael Plomer, Georgi Rangelov, Karsten Jessen

Ludwig-Maximilians-Universität München, Physikalische Praktika, Edmund-Rumpler-Str. 9, 80939 München.
sabine.k.obermeier@physik.uni-muenchen.de, michael.plomer@physik.uni-muenchen.de;
georgi.rangelov@physik.uni-muenchen.de; karsten.jessen@physik.uni-muenchen.de;

Kurzfassung

An der LMU wurde ein adressatenspezifischer Versuch zur Elektrizitätslehre („Grundlagen zellulärer Erregbarkeit“) entwickelt. Während die Durchführung der ersten Teilversuche geschlossen formuliert ist, werden die Studierenden im letzten Teilversuch mit einer sehr offenen Aufgabenstellung konfrontiert. Das Variieren des Modells sowie die Planung der Messung bleibt ihnen dabei weitgehend selbst überlassen. Eine begleitende Evaluation unter den Studierenden zeigt, dass diese Aufgaben relativ selbständig gelöst werden, und dass offene Aufgabenstellungen auch in einem Grundpraktikum sinnvoll eingesetzt werden können.

1. Einleitung

Eine Analyse der Lernziele für ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin verweist unmittelbar auf die physiologischen und medizintechnischen Anwendungen der Physik. Diese Ausrichtung geht bisweilen zu Lasten von Lernzielen wie dem Erwerb experimenteller Fähigkeiten und Methoden wissenschaftlichen Arbeitens, da oft geschlossene Versuchsanleitungen mit kleinschrittigen Handlungsanweisungen verwendet werden. Gerade das Erlernen des letztgenannten Zieles wird jedoch von Dozenten im klinischen Abschnitt verstärkt gefordert, und könnte durch offene Aufgabenstellungen sinnvoll unterstützt werden.

An der LMU wurde ein Versuch entwickelt, der versucht, beiden Anforderungen gerecht zu werden. Dieser Versuch wird im Folgenden vorgestellt, und die Ergebnisse der begleitenden Evaluation werden diskutiert.

2. Ablauf des Physikpraktikums für Mediziner in München

Das Medizinstudium an der LMU beinhaltet im dritten und vierten Semester Vorlesungen und Praktika der Physik. Die Studierenden müssen alle Versuche des Praktikums besuchen und erfolgreich absolvieren. Die Studierenden erhalten zu jedem Versuch ein Skript, welches alle wichtigen physikalischen Aspekte enthält. Mithilfe dessen müssen sich die Studierenden auf den jeweiligen Versuch vorbereiten. Dies wird durch kurze freie Vorträge durch die Studierenden zu Beginn eines jeden Versuchstages überprüft.

Während der Praktikumsdurchführung arbeiten die Studierenden in Gruppen zu maximal zehn Zweier-Teams, die von zwei Betreuenden unterstützt werden. Die einzelnen Teilversuche werden von jedem

Studierenden separat protokolliert und im Anschluss an den entsprechenden Teilversuch am Arbeitsplatz ausgewertet. Für jeden Versuch mit Auswertung stehen den Studierenden vier Unterrichtsstunden zur Verfügung.

3. Grundlagen zellulärer Erregbarkeit

Der neu entwickelte Versuch ersetzt einen Versuch zum Thema Stromkreise. Dabei werden die Begriffe Spannung, Strom, Widerstand und deren Messung, sowie der Widerstand metallischer Leiter und die Kirchhoffschen Gesetze behandelt. Diese Inhalte befanden sich auch im alten Versuch Stromkreise, allerdings werden diese im neuen Versuch in medizinisch relevanten Experimenten behandelt. Als roter Faden diente dabei die Physiologie von Nervenzellen. Der genaue Ablauf des Versuchs wird im Folgenden dargestellt.

3.1 Elektrischer Widerstand von metallischen Leitern

Im ersten Teilversuch wird mittels eines Multimeters der Widerstand von vier Drähten bestimmt, die verschiedene Längen und Dicken aufweisen (Abb. 1). Dies soll den Studierenden einen einfachen Einstieg ermöglichen, da noch keine Spannungsquelle als separates Gerät verwendet wird.

Die Studierenden sollen nun aufgrund der gemessenen Widerstandswerte und der Längen der Drähte Rückschlüsse auf den Querschnitt der einzelnen Drähte ziehen, indem sie Proportionalitätsüberlegungen entsprechend der Formel $R = \rho \cdot l / A$ anstellen. Die Ähnlichkeit eines solchen metallischen Leiters mit einer dünnen, langgezogenen Nervenzelle, und die daraus resultierenden geometrischen Abhängigkeiten des Längs- oder Innenwiderstands der Nervenzelle werden thematisiert.

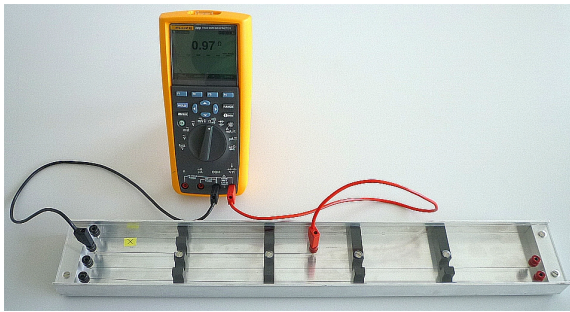


Abbildung 1: Vergleich der Widerstände unterschiedlicher Drähte.

3.2 Ohmscher Widerstand

Durch Messung von Spannung und Strom wird der Widerstand in einem einfachen Stromkreis bestimmt (Abb. 2).

Die Studierenden nehmen jeweils drei Wertepaare von Spannung und Strom auf, bestimmen den Widerstandswert mit Messunsicherheit und vergleichen ihr Ergebnis mit dem direkt am Multimeter gemessenen Wert. Auf eine graphische Auswertung wird aus Zeitgründen verzichtet.

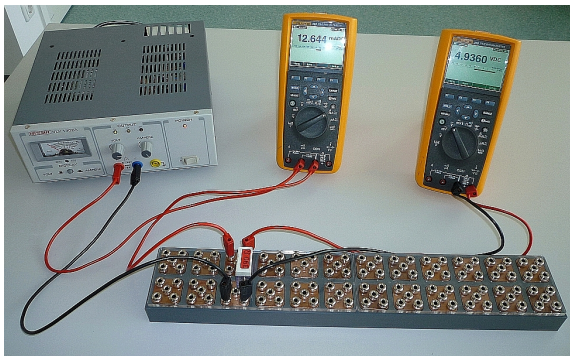


Abbildung 2: Messung von Spannung und Strom am einfachen Stromkreis auf einem Steckbrett.

3.3 Spannungsabhängigkeit von Ionenkanälen

In Anlehnung an die Physiologie sollen die Studierenden nun die Leitfähigkeit der Ionenkanäle einer Zellmembran simulieren. Eine ausführlichere Darstellung der physiologischen Gegebenheiten findet man in [1].

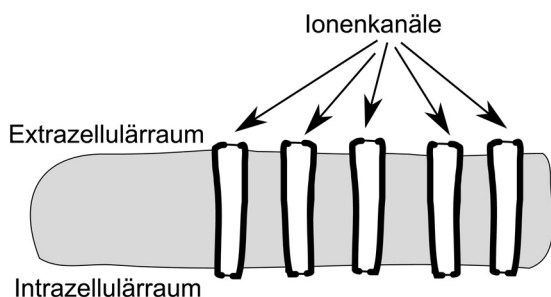


Abbildung 3: Stark vereinfachtes Modell einer Zellmembran.

Die Ionenkanäle verbinden Intra- und Extrazellulärraum einer Nervenzelle (Abb. 3) und können sich sowohl im offenen als auch im geschlossenen Zustand befinden. Dies hängt unter anderem von der anliegenden Spannung ab, denn bestimmte Kanäle öffnen sich erst ab einem bestimmten anliegenden Spannungswert. Die Offenwahrscheinlichkeit unterliegt in Abhängigkeit von der Spannung der Wahrscheinlichkeitsverteilung in Abb. 4. Aufgrund dieses Verhaltens besitzt die Gesamtheit der Ionenkanäle einen spezifischen elektrischen Widerstand, der im Allgemeinen zeit- und spannungsabhängig ist [1].

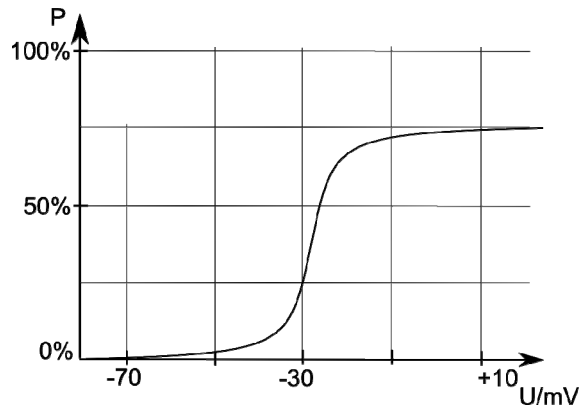


Abbildung 4: Offenwahrscheinlichkeit eines Ionenkanals in Abhängigkeit von der Spannung.

Den Studierenden stehen für den Nachbau der vereinfachten Zellmembran eine Spannungsquelle, zwei Multimeter, eine lange Steckplatte, einige Widerstände sowie Kurzschlussstecker zur Verfügung. Der Widerstand von Intra- sowie Extrazellulärraum wird in diesem Teilversuch vernachlässigt und im Experiment durch Kurzschlussstecker simuliert. Geöffnete Ionenkanäle werden durch einen Widerstand dargestellt, während für geschlossene Kanäle kein Bauteil eingebaut wird.

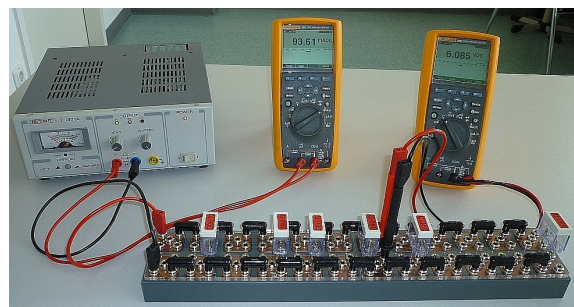


Abbildung 5: Einfache Simulation einer Membran mit unterschiedlicher Anzahl von geöffneten Ionenkanälen. Die schwarzen Kurzschlussstecker stellen die Leitfähigkeit von Intra- und Extrazellulärraum dar, die Widerstände die geöffneten Ionenkanäle.

Anhand einer vorgegebenen Tabelle variieren die Studierenden die Anzahl der verwendeten Widerstände und messen verschiedene Wertepaare für U und I . Durch diese Vorgabe wird die Offenwah-

scheinlichkeit der Kanäle nachempfunden. Abschließend werten die Studierenden ihre Messdaten graphisch anhand einer U - I -Kennlinie aus (Abb. 6).

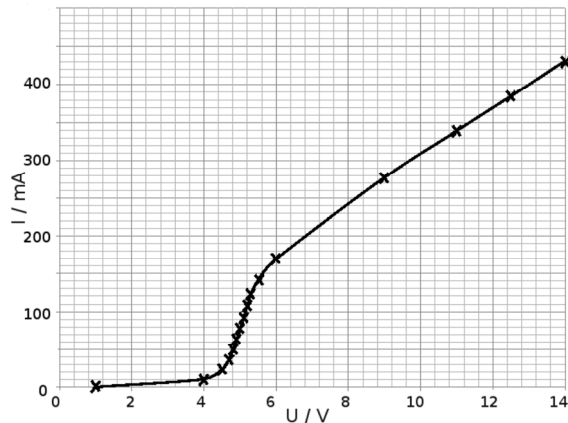


Abbildung 6: U - I -Kennlinie einer Modell-Membran.

Aus messtechnischen Gründen wurde die Dimensionierung von Bauteilen und anliegender Spannung nicht entsprechend der physiologischen Vorgaben gewählt (vgl. Abb. 4).

3.4. Elektronische Erregungsausbreitung – dünne Nervenzelle

Aufbauend auf dem vorhergehenden Teilversuch wird ein vereinfachtes Modell für die elektronische Erregungsausbreitung erarbeitet. In dieser Variante wird im Gegensatz zum vorangehenden Teilversuch die Spannungsabhängigkeit von Ionenkanälen nicht berücksichtigt.

Der Widerstand des Intrazellulärums wird wegen seiner Ähnlichkeit zu einem elektrischen Leiter durch einen Widerstand R_i , die Leitfähigkeit der Membran durch die Widerstände R_M simuliert.

Die am Widerstand R_M abfallende Spannung kann in diesem Modell annähernd durch $U(x) = U_0 \exp(-x/\lambda)$ beschrieben werden, wobei die charakteristische Länge der Ausbreitung mit λ bezeichnet wird.

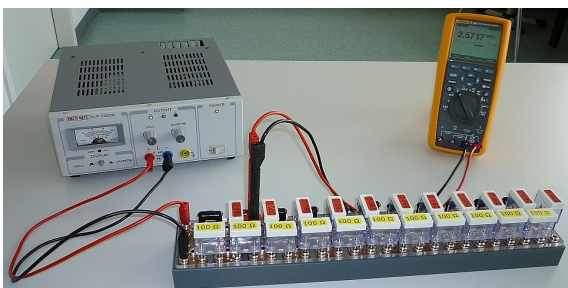


Abbildung 7: Bestimmung der Erregungsausbreitung am Modell einer Nervenfaser.

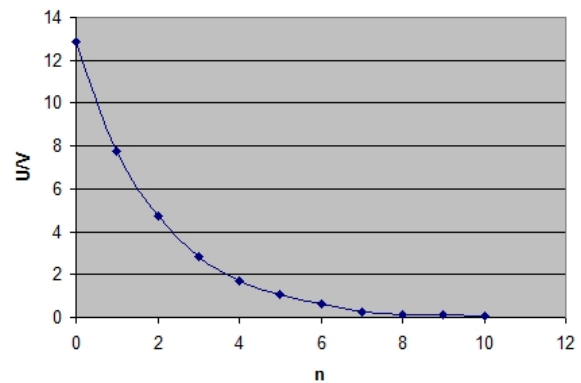


Abbildung 8: Aufgenommene Depolarisationskurve.

Die Studierenden bauen mit vorgegebenen Bauteilen eine entsprechende Schaltung auf (Abb. 9) und messen die an den einzelnen Membranwiderständen n abfallenden Spannungen U_n . Die Messwerte werden im Anschluss graphisch ausgewertet (Abb. 8), um damit die Längskonstante zu bestimmen. Der bestimmte Wert von $\lambda = (1,0 \pm 0,1)$ mm ist den Studierenden als typischer Wert aus der Physiologie bekannt.

Im gesamten Versuch wird auf die Verwendung von Wechselspannung verzichtet und die Membrankapazität vernachlässigt (Abb. 9). Eine ausführliche Beschreibung des kompletten Modells findet sich in [1,2].

In den bisher beschriebenen Teilversuchen haben die Studierenden die Bedienung der Geräte, verschiedene physiologisch relevante Aspekte und eine vereinfachte elektrische Schaltung für die elektronische Erregungsausbreitung kennen gelernt. Die zu verwendenden Bauteile sowie die Arbeitsanweisungen von Durchführung und Auswertung waren dabei stets relativ detailliert ausformuliert und vorgegeben.

Im letzten Teilversuch wird den Studierenden die Möglichkeit gegeben, das soeben gelernte selbständig anzuwenden. Der letzte Teilversuch wurde daher sehr offen beschrieben, so dass den Studierenden nur das Ziel vorgegeben wurde, die entsprechenden Aufbauten sowie die Messung jedoch selbständig geplant werden mussten:

3.5. Physiologische Anwendungen

Simulieren Sie mit den vorhandenen Bauteilen eine sehr dicke Nervenfaser und ein myelinisiertes Axon.

1. Begründen Sie die Wahl der verwendeten Bauteile.
2. Schätzen Sie λ anhand Ihrer Messung für die dicke Nervenfaser ab.
3. Wie stark ist die Depolarisation in beiden Fällen entlang der Schaltung insgesamt abgesunken?

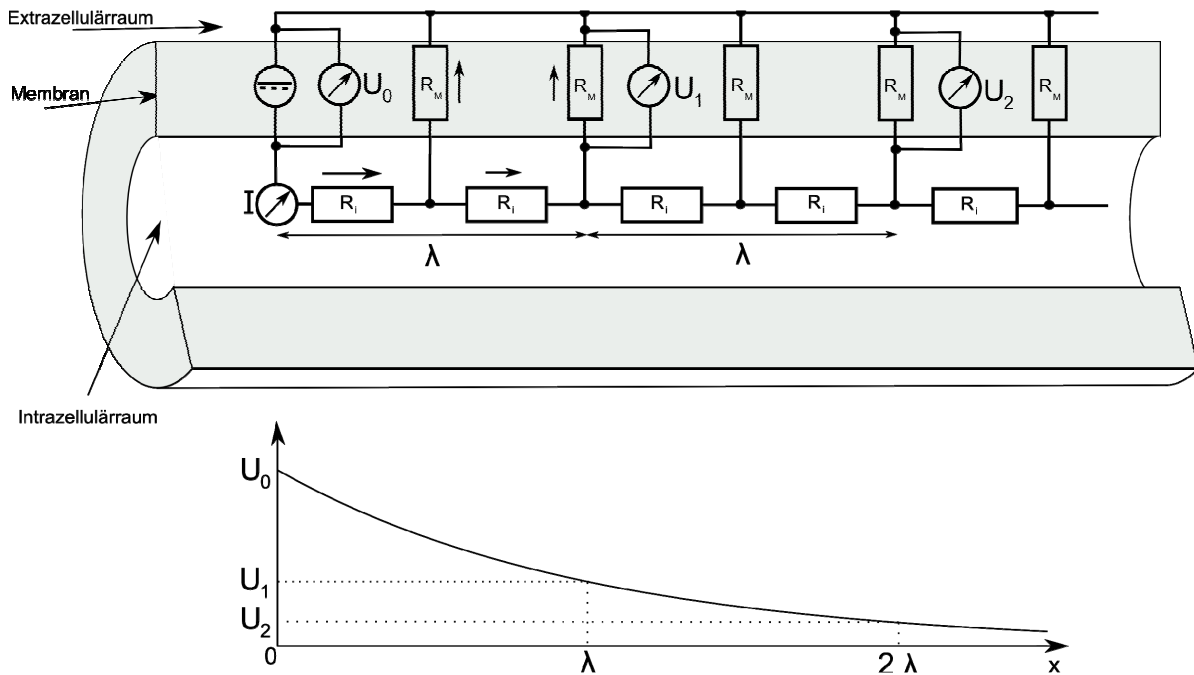


Abbildung 9: Oben: Schnitt durch eine Nervenzelle mit Ersatzschaltbild. Unten: Abhängigkeit der Depolarisation U vom Abstand zur Stromelektrode mit Membranwiderständen R_M und Innenwiderstand R_i .

4. Welche der beiden Varianten erhöht den Wert für λ effektiver?

Dabei stehen den Studierenden neben der bereits verwendeten Spannungsquelle, den beiden Multimetern, der Steckplatte, den Kabeln und Kurzschlusssteckern verschiedene Widerstände zur Verfügung: 51Ω (grün), 100Ω (gelb), 390Ω (rot) und $10k\Omega$ (blau).

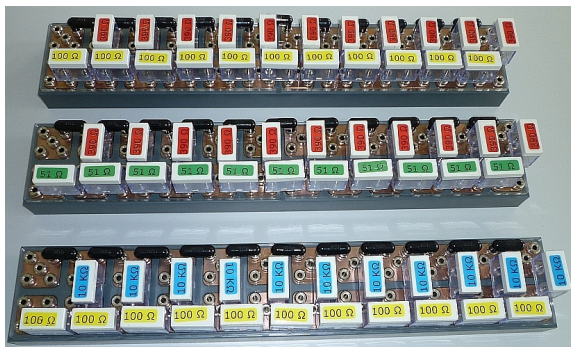


Abbildung 10: Oben: typische Nervenfaser (Teilversuch 4). Mitte: dicke Nervenfaser. Unten: myelinisierte Nervenfaser.

Für die Abnahme des Widerstands einer dicken Nervenfaser sollen die Studierenden Wissen aus dem ersten Teilversuch anwenden und den Widerstand R_i entsprechend erniedrigen. Eine doppelte Querschnittsfläche legt die Verwendung des 51Ω Widerstands nahe (Abb. 10 mittig). Die Zunahme der Membranfläche mit dem Radius und das daraus folgende Absinken des Membranwiderstands werden in diesem Teilversuch vernachlässigt.

Bei einem myelinisierten Axon wird die Membran der Nervenfaser abschnittsweise von einer isolierenden Schicht umgeben und damit der Membranwiderstand sehr stark erhöht. Entsprechend wird für diese Variante ein $10k\Omega$ Widerstand eingebaut (Abb.10 unten).

Sinnvollerweise sollten die Studierenden den Aufbau analog zum vorigen Teilversuch vermessen und in dasselbe Diagramm eintragen. Es empfiehlt sich denselben Spannungswert an der Spannungsquelle einzustellen. Ein möglicher graphischer Vergleich findet sich in Abb. 11.

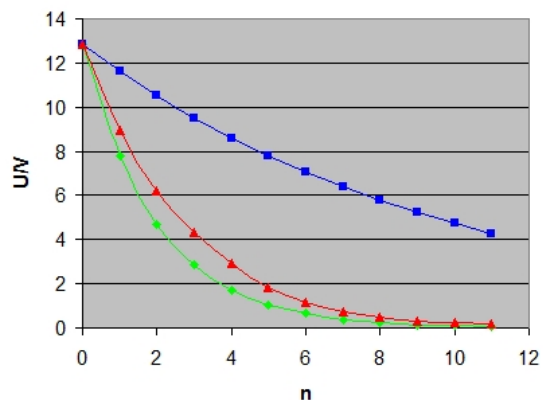


Abbildung 11: Abhängigkeit der Depolarisation U vom Abstand zur Stromelektrode. Rot: normale Nervenfaser, blau: myelinisiertes Axon, grün: dicke Faser.

Analog zu Teilversuch 4 wird für die dicke Faser $\lambda=1,3\text{mm}$ bestimmt. Die Messung zeigt, dass die Spannung am Ende der Schaltung auf 3% abgesunken ist.

Für das myelinisierte Axon sinkt die anliegende Spannung am Ende der Schaltung nur auf 58% der Ausgangsspannung ab. Auch wenn λ damit nicht explizit bestimmt werden kann, lässt sich aus einem Vergleich mit den Ergebnissen der dicken Nervenfasern schließen, dass Myelin die Längskonstante λ stärker erhöht.

4. Erfahrungen aus dem Praktikumsalltag

Vor Praktikumsbeginn wurden die Betreuenden hinsichtlich des Umgangs mit den offenen Aufgabenstellungen geschult. Sie waren angehalten, zunächst auf das in den vorigen Teilversuchen Erlernete zu verweisen und erst relativ spät konkrete Anweisungen zu geben. Zusätzlich erhielten die Betreuenden ergänzendes Material zur Physiologie von Nervenzellen, um über das komplette Modell informiert zu sein und die wichtigsten medizinischen Begriffe zu kennen.

Die Simulation der dicken Nervenfasern wurde von fast allen Studierenden selbständig bewältigt. Während für diesen Aufbau nur eine sinnvolle Bauweise möglich war, fanden sich für die Myelinisierung mehrere Varianten. Neben der zuvor beschriebenen Version simulierten einige Studierende eine „perfekte Isolierung“, indem sie alle Membranwiderstände aus der Schaltung entfernten. Andere äußerten die Überlegung, Myelin würde einen Teil der Ionenkanäle verschließen und entfernten daraufhin jeden zweiten, oder zwei von drei Membranwiderständen. Da die Längskonstante für Myelin mit einem Aufbau nicht bestimmt werden konnte, schlossen sich regelmäßig die Studierenden von zwei benachbarten Arbeitsplätzen zusammen, um gemeinsam einen doppelt so langen Aufbau zu realisieren und abbestimmen zu können.

Relativ häufig bauten die Studierenden erst die Schaltung für die dicke Nervenfasern auf und vergaßen beim Umbau zum Myelin hin als Innenwiderstand das zuvor verwendete Bauteil einzusetzen. Auch wenn dieser Aufbau einer dicken und zugleich myelinisierten Nervenfasers physikalisch richtig sein mag, ist dies aus physiologischer Sicht bedenklich. Um zu vermeiden, dass Studierende eine Fehlvorstellung entwickeln, Myelin würde die Innenwiderstände senken, mussten an dieser Stelle die Betreuenden gezielt eingreifen und den Sachverhalt diskutieren.

Die Betreuenden waren zum Teil nicht nur im Rahmen des Praktikums gefordert, sondern auch durch die Medizinstudierenden, die häufig das Gespräch mit ihnen suchten, um über physikalische Aspekte in

Physiologiebüchern zum Thema Nervenzelle zu diskutieren. Dies war für die Betreuenden eine Herausforderung, da sie viele der physiologischen Begriffe nicht kannten und erst den physikalischen Bezug herstellen mussten.

5. Evaluation

Am Ende des Versuchs „Grundlagen zellulärer Erregbarkeit“ wurden die Studierenden zu der offenen Aufgabenstellung schriftlich befragt. Die jeweils in Zweierteams arbeitenden Studierenden sollten als Team anhand mehrerer Fragen einschätzen, wie selbständig und mit wie viel Unterstützung der Betreuenden sie den letzten Teilversuch gelöst hatten.

Die verwendeten vier Items ergeben eine Skala mit zufriedenstellender interner Konsistenz (1 - sehr selbständig; 4 - sehr unselbständig; Cronbach $\alpha = 0,680$). Insgesamt wurden 202 Bögen verarbeitet (Rücklaufquote: 63%).

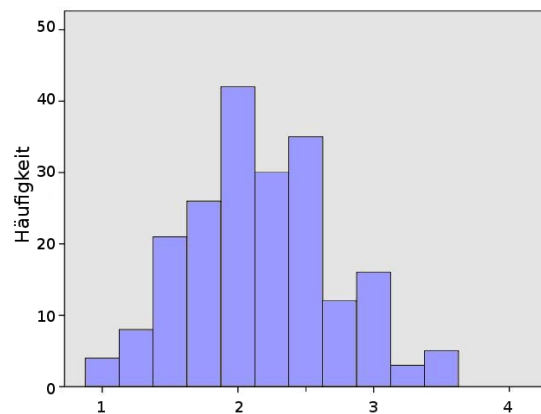


Abbildung 12: Verteilung für die Selbsteinschätzung zur Selbstständigkeit. 1 - sehr selbständig; 4 - sehr unselbständig.

Pro Fragebogen wurde der Grad der Selbstständigkeit anhand des Mittelwerts der vier Items bestimmt. Die entsprechende Verteilung ist in Abb. 12 abgedruckt. Der Mittelwert für alle Studierenden beträgt $M = 2,17$ mit einer Standardabweichung von $SD = 0,54$. Ein einseitiger t-test zeigt, dass der errechnete Mittelwert signifikant unterhalb der rechnerischen Mitte der Skala liegt ($t(201)=8,677$; $p<0,001$) und sich die Studierenden im Mittel als eher selbständig einschätzen.

6. Zusammenfassung

Im Physikpraktikum für Mediziner werden häufig kleinschrittige Versuchsanleitungen verwendet, um den meist fehlenden experimentellen Fähigkeiten der Studierenden gerecht zu werden. Allerdings lässt das Fehlen offener Aufgaben den Studierenden wenig

Freiraum, um selbst Experimente zu planen und damit wissenschaftliche Kompetenzen zu erlangen.

An der Ludwig-Maximilians-Universität München wurde ein neuer Versuch zur Elektrizitätslehre entwickelt, der sich durch einen inhaltlich stringenten Aufbau und einen transparent dargestellten medizinischen Bezug auszeichnet. Dieser enthält zunächst mehrere geschlossen formulierte Teilversuche und zum Abschluss einen sehr offen gehaltenen Versuch. Die Wahl der elektrischen Bauteile sowie die Planung der Messung bleibt den Studierenden selbst überlassen.

Die Erfahrungen aus dem Praktikumsalltag sowie die begleitende Evaluation haben gezeigt, dass die Studierenden diese offenen Aufgabenstellungen relativ selbständig lösen konnten und der Erwerb von Methoden wissenschaftlichen Arbeitens inner-

halb von gut durchdachten Experimenten auch im Rahmen des Physikpraktikums für Mediziner gefördert werden kann.

7. Literatur

- [1] Herman, I., *Physics of the Human Body: A Physical View of Physiology*. Springer Verlag, Berlin, 2007, 1. Auflage. Seite 720-742.
- [2] Schumacher, D., Theyßen, H., RC-Schaltungen als einfache Nervenmodelle. In: Ralle, B. (Hrsg.), MNU, Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht, Band 53(3). Dümmeler Verlag, Köln, 2000, 1. Auflage, Seite 164-170.