

Sonographie - Ein neuer Versuch für das Humanmedizinerpraktikum

Thomas Waitzhofer, Michael Plomer, Georgi Rangelov

Ludwig-Maximilians-Universität München, Physikalische Praktika, Edmund-Rumpler-Str. 9, 80939 München.
thomas.Waitzhofer@physik.uni-muenchen.de; michael.plomer@physik.uni-muenchen.de;
georgi.rangelov@physik.uni-muenchen.de;

Kurzfassung

Im Zuge einer adressatenspezifischen Veränderung des Physikpraktikums wurde an der LMU ein Versuch zur Sonographie eingeführt. Die inhaltlich aufeinander aufbauenden Teilversuche führen von den physikalischen Grundlagen hin zu medizinisch relevanten Anwendungen. Im letzten Teilversuch sollen die Studierenden einen Tumor in einem Brustmodell identifizieren. Dabei müssen sie die entsprechende Sonde, die Messmethode und die Geräteeinstellungen selbst wählen. Dieser Versuch wurde – ähnlich wie die restlichen Praktikumsversuche – sehr offen gestaltet, so dass die Studierenden die erarbeiteten Grundlagen selbstständig anwenden müssen.

Die begleitende Evaluation des Praktikums zeigte, dass die Studenten den Versuch als medizinisch sehr relevant einstufen. Weiter wurde festgestellt, dass die physikalischen Zusammenhänge gut verstanden werden konnten.

1. Einleitung

Die Sonographie ist in der modernen Medizin nicht mehr wegzudenken und begegnet den Medizinstudierenden bereits während des Studiums. Die für das Verständnis notwendige Physik wird im traditionellen Physikpraktikum für Mediziner mit Versuchen zur Entstehung und Ausbreitung von Schallwellen erarbeitet. An der LMU konnte in einer fächerübergreifenden Arbeit gezeigt werden, dass adressatenspezifische Experimente im Physikpraktikum einen echten Mehrwert für das Studium der Humanmedizin darstellen [1]. Aus diesem Grund ist an der LMU ein weiteres fachspezifisches Experiment zum Thema Ultraschall entstanden.

2. Organisation des Physikpraktikums für Mediziner in München

An der LMU findet das Physikpraktikum für Mediziner im 3. und im 4. Semester statt. Die beiden Praktikumsteile beinhalten dabei jeweils fünf Versuche pro Semester zu verschiedenen Themenbereichen der Physik und schließen mit einer Klausur ab. Die Versuche finden wöchentlich, in fünf aufeinanderfolgenden Wochen, am Anfang des Semesters statt. Dabei werden die Studenten in Praktikumsgruppen aufgeteilt. Eine Praktikumsgruppe besteht aus ca. 20 Teilnehmern und zwei Betreuern, die den Studenten Hilfestellung geben und die erfolgreiche Durchführung des Versuchs testen. Die einzelnen Versuche dauern jeweils 3 Stunden, in denen der Versuch in Zweiergruppen durchgeführt und ausgewertet wird. Für die einzelnen Experimente stehen den Studenten Versuchsanleitungen zur Verfügung. Sie sollen die für den Versuch benötigten theoretischen Grund-

lagen erklären, die Geräte und den Versuchsaufbau vorstellen und den Ablauf des Versuches anhand einer Versuchsdurchführung schildern. Die Versuchsanleitung zum Ultraschallversuch finden sich unter [2].

3. Technische Daten

Der Grundaufbau des Versuchs wurde von einer Lehrmittelfirma bezogen. Er besteht im Wesentlichen aus einem Ultraschallgerät, drei verschiedenen Sonden und einigen Testkörpern. Die Internetseite der Firma ist unter [4] zu finden.

3.1. Das Ultraschallgerät

Das Gerät ist ein Ultraschallmesssystem, ausgelegt für den Betrieb mit einem PC oder einem Oszilloskop. Im hier beschriebenen Versuch wird das Echoskop zusammen mit einer vom Hersteller mitgelieferten Software benutzt. Das Gerät kann auf zwei verschiedene Arten betrieben werden:

- a) Eine reine Reflexionsmessung mit nur einer Ultraschallsonde.
- b) Eine Durchschallungsmessung mit zwei Ultraschallsonden. Dabei dient eine der beiden Sonden als Sender, die andere als Empfänger.

In diesem Versuch wird nur in Reflexion gemessen. Die folgenden Nummerierungen finden Sie in Abb. 1. Bei der Reflexionsmessung wird nur eine einzige Ultraschallsonde an der Buchse (1) in der Spalte B des Geräts angeschlossen. Das Gerät erkennt selbstständig die Frequenz der Sonde. Die Ultraschallsonde fungiert nun als Sender und Empfänger gleichzeitig. Die Sendeleistung kann mit dem Drehknopf (2) reguliert werden. Das Signal kann

anschließend mit dem Drehregler (3) zusätzlich verstärkt werden (Empfangsverstärkung).

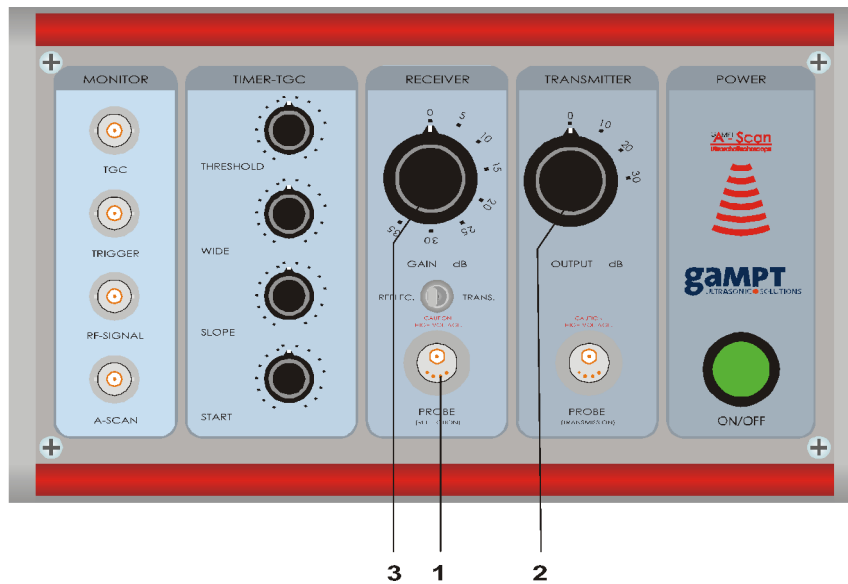


Abb.1: Bedienfeld des Ultraschallgeräts (Schematische Darstellung)

3.2. Die Ultraschallsonden

Bei den Ultraschallsonden handelt es sich um piezoelektrische Ultraschallgeber. Sie werden als 1 MHz, 2 MHz und 4 MHz Sonden angeboten. Der Schallimpuls der Sonde ist nicht fokussiert. Die axiale Auflösung der Sonden wurde in Acryl bei der 4 MHz Sonde mit 0,7 mm bestimmt und verhält sich direkt proportional zur Frequenz der Sonde. Das laterale Auflösungsvermögen der Sonden kann mit dem zur Verfügung stehenden Versuchsaufbau nicht gemessen werden. Es wird vom Hersteller mit ca. 9 mm bei der 1 MHz Sonde angegeben. Die Sonden sind an der Vorderseite wasserdicht vergossen. Die Anpassungsschicht der Sonden ist auf die in den Versuchen verwendeten Materialien (Wasser und Acryl) angepasst.

4. Sonographie

Der neu entwickelte Versuch ersetzt einen Versuch zum Thema Schwingungen und Wellen. Dabei werden die Themenbereiche Entstehung und Ausbreitung von Schallwellen, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Frequenz/Periodendauer, Wellenlänge, Schallimpulse und Impulsformen, Reflexion, Absorption und Streuung behandelt. Diese Inhalte werden im neuen Versuch – im Gegensatz zum alten Versuch – in einem medizinisch relevanten Rahmen behandelt. Dabei sollen die einzelnen Teilversuche auf die wichtigste medizinische Anwendung des Ultraschalls, dem B-Bild Verfahren, hinführen.

Der genaue Ablauf des Versuchs wird im Folgenden dargestellt.

4.1. Puls-Echo-Messung mit Ultraschall (A-Bild)

Im ersten Teilversuch sollen die Studenten den Umgang mit den Geräten und der Software erlernen. Deshalb wurde hier eine sehr geschlossene Aufgabenformulierung gewählt. Die Studenten sollen mit einer Ultraschallsonde eine Puls-Echo-Messung an einem Testkörper (Abb.2) durchführen und dadurch die Schallgeschwindigkeit im Testkörper (Acrylblock) bestimmen. Diese lässt sich aus der bekannten Bewegungsgleichung mit Berücksichtigung des Laufweges berechnen.

$$v = \frac{2 \cdot l}{t} \quad (1)$$

Dabei ist l die Länge des Testkörpers und t die gemessene Laufzeit des Impulses. Im Testkörper befinden sich Bohrungen (Abb.2). Diese Bohrungen werden vermessen und auf erste Schwächen der Impuls-Echo-Messung im Hinblick auf Artefakte (hier Schallschatten) hingewiesen.

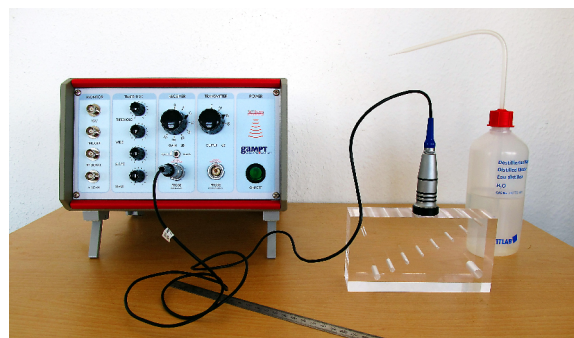


Abb.2: Versuchsaufbau zum ersten Teilversuch.

4.2. Schallschwächung in Medien

Die Intensität des Ultraschalls nimmt in einem Medium mit zunehmender Eindringtiefe ab.

Dies kann durch folgende Formel beschrieben werden:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\beta x} \quad (2)$$

Dabei ist β der materialspezifische Schallschwächungskoeffizient. In diesem Teilversuch bestimmen die Studenten diesen von Acryl (Abb.3). Dazu werden zwei Acrylzylinder verschiedener Längen durchschallt und die Amplituden (Spannung) der dadurch erhaltenen Impulse verglichen. Der Schallschwächungskoeffizient β mit der Einheit [1/cm] lässt sich aus den erhaltenen Werten durch Umformen der Gleichung (2) wie folgt bestimmen:

$$\beta = \frac{2 \cdot \ln\left(\frac{A_{l_1}}{A_{l_2}}\right)}{l_1 - l_2} \quad (3)$$

Dabei sind A_{l_i} die beiden Amplituden zu den jeweiligen Längen l_i in [cm].



Abb.3: Versuchsaufbau zum 2. Teilversuch.

4.3. Frequenzabhängigkeit der Auflösung einer Ultraschallsonde

In diesem Teilversuch soll die axiale Auflösung der im Experiment verwendeten Sonden bestimmt werden. Diese hängt im allgemeinen von der Frequenz der Sonden ab und nimmt mit steigender Frequenz zu. Die Studenten vermessen dazu die Impulsbreite eines reflektierten Impulses auf halber Höhe und bestimmen somit die Auflösung (Abb.4).

In der Medizin hängt die Wahl der Sonden also einerseits von der Tiefe der zu untersuchenden Schichten, andererseits vom erwünschten Auflösungsvermögen ab. Die Studenten lernen also in den beiden Teilversuchen, dass die Wahl einer Ultraschallsonde in der Medizin immer mit einem bestimmten Kompromiss zwischen Auflösung und der Eindringtiefe verbunden ist.

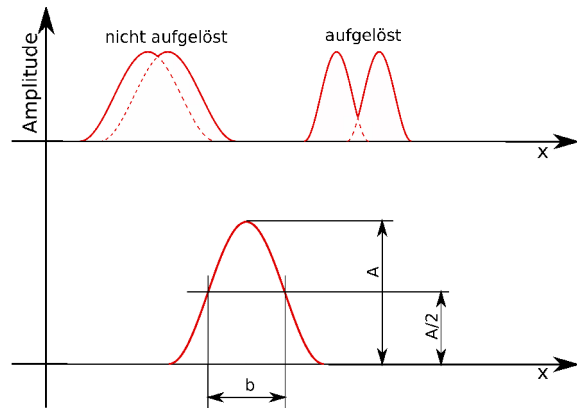


Abb.4: Bestimmung der Auflösung einer Ultraschallsonde

4.4. Reflexionskoeffizienten an einer Grenzschicht

Zum Verständnis eines Ultraschallbilds ist eine Beschäftigung mit den Vorgängen bei der Ausbreitung von Ultraschallwellen an Grenzschichten unerlässlich. Um auch hinter einer Grenzschicht auf dem Ultraschallbild noch was zu erkennen ist, muss auch Transmission stattfinden. Dies ist an den meisten Grenzschichten im menschlichen Körper der Fall, da für den Reflexionskoeffizient $R \ll 1$ gilt. An einer Gewebe-Knochen Grenzschicht ist dies nicht mehr gegeben. Hier kommt es zu einer Totalreflexion. Man kann also mit einer Ultraschallsonde keine Bereiche im menschlichen Körper vermessen, die sich hinter Knochen befinden.

Damit die Reflexionsgesetze im Experiment behandelt werden können, wurde an der LMU in Zusammenarbeit mit der Lehrmittelfirma ein Teilversuch dazu entwickelt. Die Studenten sollen in diesem Teilversuch den Reflexionskoeffizienten an einer Acryl-Messing Grenzschicht bestimmen (Abb.5). Dazu wird ein aus Acryl und Messing kombinierter Zylinder vermessen und die Amplitude der Reflexion an der Acryl-Messing Grenzschicht bestimmt. Da man den Absolutwert der ausgesandten Amplitude nicht kennt und auch Absorption stattfindet, muss zum Vergleich ein weiterer Zylinder vermessen werden. Dieser besteht ganz aus Acryl und hat die gleiche Länge wie die Acrylkomponente des kombinierten Zylinders. Es wird also hier eine Acryl-Luft Grenzschicht vermessen. Mit Hilfe der so erhaltenen Amplituden lässt sich der Reflexionskoeffizient R dann wie folgt bestimmen:

$$R = \frac{I_{AM}}{I_{AL}} = \left(\frac{A_{AM}}{A_{AL}} \right)^2 \quad (4)$$

Hier sind mit A die Reflexionsamplituden der Acryl-Messing, sowie der Acryl-Luft Grenzschicht gemeint. Die Absorption kürzt sich aufgrund der gleichen Längen der beiden Acrylkomponenten. Der

Reflexions-koeffizient von Acryl-Luft kann als $R_{AL} \approx 1$ angenommen werden.



Abb.5: Versuchsaufbau zum 4. Teilversuch

4.5. Medizinisch relevante Teilversuche

Die medizinisch relevanten Teilversuche werden am Schluss des Versuchstags durchgeführt. Zuerst soll das B-Bild¹ an einem Testobjekt betrachtet werden (Abb.6). Anschließend werden die in den vorigen Versuchen gelernten Grundlagen vertieft. Erst ganz am Ende der Versuche können die Studenten frei experimentieren und an einem Brustphantom das bisher Gelernte anwenden (Abb.7).

Für die beiden letzten Teilversuche wurde eine offenere Aufgabenstellung gewählt. Die Studenten müssen beispielsweise die Sonden und die Einstellungen am Gerät selbst wählen. Die offene Aufgabenstellung hat mehrere Vorteile. Der Betreuer kann noch am Versuchstag überprüfen, in wie weit die Studenten das Thema Ultraschall verstanden haben. Weiter werden die Studenten dazu aufgefordert, sich nochmals sehr intensiv mit dem Gelernten auseinander zu setzen und das gerade erlernte Wissen zu vertiefen und zu elaborieren. Da es sich bei diesen Versuchen um die medizinischen Anwendungen handelt, kann davon ausgegangen werden, dass die Studenten bei – durch die Offenheit der Aufgabenstellung – auftretenden Problemen die Motivation nicht verlieren. Dies fördert die grundlegenden Lernziele und auch die allgemeine Experimentierfähigkeit.

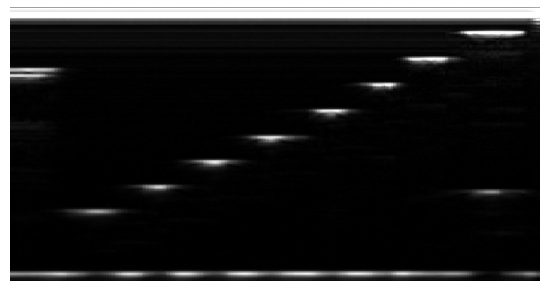


Abb.6: Ultraschallbild eines Testkörpers mit reflektierenden Bohrungen.

¹Das B-Bild ist das aus der medizinischen Diagnostik bekannte Schnittbild; dabei steht B für Brightness, da die vom Gerät gemessenen Amplituden in Graustufen umgewandelt werden.

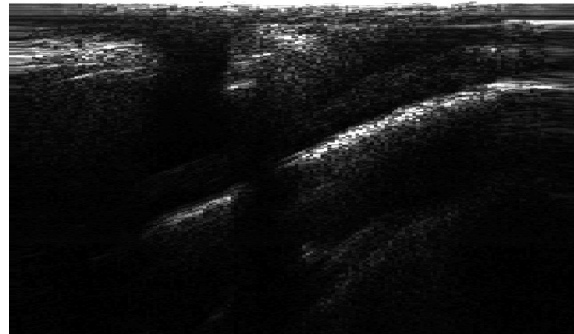


Abb.7: Ultraschallbild des Brustphantoms mit zwei Tumoren. Die Tumore sind oben links und oben in der Mitte zu sehen. Die Linie von links unten nach rechts oben stellt die Reflexion an der Rückwand des Brustmodells dar. Deutlich zu erkennen ist auch der Schallschatten unter dem Tumor in der Mitte.

5. Evaluation

Zum Physikalischen Praktikum an der LMU findet begleitend eine Evaluation statt. In einigen Fragen wird dabei auf die medizinische Relevanz der im Praktikum stattfindenden Experimente eingegangen. In Abbildung 8 wurde der Mittelwert dieser Fragen zu den Experimenten gebildet. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen dem alten Versuch (STW) und dem neu Eingeführten (SON).

Es wird auch deutlich, dass generell bei allen neuen adressatenspezifischen Versuchen (SON, SIG = Elektrische und Akustische Signale, ZEL = Grundlagen Zellulärer Erregbarkeit) die Darstellung des medizinischen Bezugs im Praktikum positiv gesehen wird. Auf der Nominalskala im Fragebogen sind die Werte 1 und 2 (1 = gar nicht, 2 = eher nicht) negativ und die Werte 3 und 4 (3 = eher schon, 4 = total) positiv belegt.

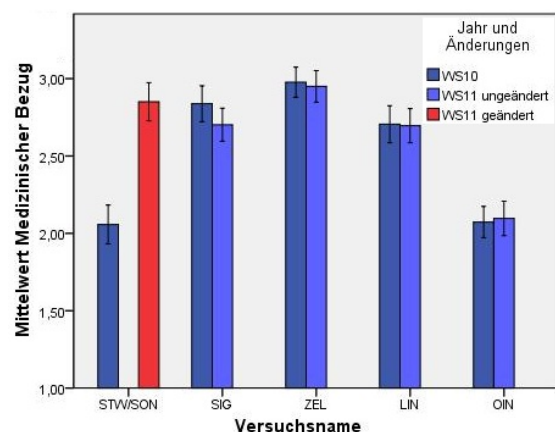


Abb.8: In dieser Graphik wird die Beurteilung des medizinischen Bezugs der Versuche im Humanmedizinerpraktikum im Wintersemester 09/10 mit der im Wintersemester 10/11 verglichen. Der geänderte Versuch ist rot dargestellt.

Sehr erfreulich ist auch, dass trotz der Änderung zu einem adressatenspezifischen Versuch hin, die

physikalischen Zusammenhänge besser vermittelt werden konnten. Das zeigt Abbildung 9: Der Mittelwert liegt beim Versuch STW bei 2,6. Dieser Wert ist bei der im Fragebogen gewählten Skala als neutral anzusehen. Beim Versuch SON liegt der Mittelwert von 2,92 deutlich höher im positiven Bereich der Skala. Es haben also hier deutlich mehr Studenten angegeben, die physikalischen Zusammenhänge gut verstanden zu haben.

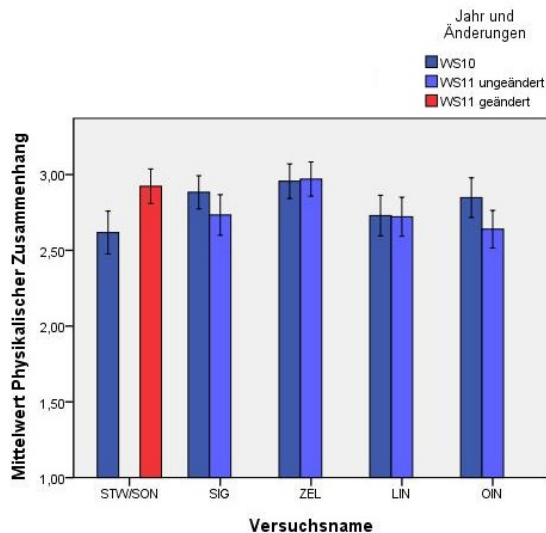


Abb.9: In dieser Graphik wird die Beurteilung der Studenten zum Verständnis der physikalischen Zusammenhänge im Versuch aus dem Wintersemester 09/10 mit der im Wintersemester 10/11 verglichen. Der geänderte Versuch ist rot dargestellt.

6. Zusammenfassung

In den Physikpraktika für Mediziner werden sehr häufig klassische physikalische Versuche, ohne medizinischen Bezug durchgeführt. Dadurch empfinden die Studenten physikalische Praktika

sehr oft als unwichtig und lästig. An der LMU München wurde daher ein anderer Weg gewählt. So wurden die klassischen Versuche nach und nach durch neue adressatenspezifische Versuche ersetzt. Die Motivation konnte dadurch gesteigert werden. Der Zuwachs an fächerübergreifendem Wissen macht weiterhin deutlich, dass adressatenspezifische Experimente im Physikpraktikum einen echten Gewinn für das Studium der Humanmedizin darstellen [1].

Mit einem Versuch über Ultraschall wurde an der LMU ein weiterer fachspezifischer Versuch aus der Medizintechnik eingeführt. Die Studenten stuften ihn in der Evaluation als sehr stark medizinisch relevant ein. Auch das Verständnis der physikalischen Zusammenhänge wurde dadurch nicht beeinträchtigt, sondern sogar verbessert. Weiterhin konnte wie auch schon bei anderen Versuchen [3] gezeigt werden, dass durch eine gezielt eingesetzte offene Aufgabenstellung den Erwerb von Methoden wissenschaftlichen und selbständigen Arbeitens fördert.

7. Literatur

- [1] Plomer, M. : Physik physiologisch passend praktiziert. Logos Verlag Berlin 2011.
- [2] Ludwig-Maximilian-Universität: Versuchsanleitungen. <http://www.praktikum.physik.uni-muenchen.de/humanmed/versuche/index.html> - Version: 2011. Zugangsdaten erhalten Sie unter georgi.rangelov@physik.uni-muenchen.de
- [3] Obermeier S. et al.: Methoden wissenschaftlichen Arbeitens - ein erreichbares Lernziel im Physikpraktikum für Mediziner. In: PhyDid-B: Beiträge zur Frühjahrstagung, Hannover 2011.
- [4] Homepage der Lehrmittelfirma GAMPT: www.GAMPT.de