

# Physik-Praktika für Naturwissenschaftler\*innen

## Bewerbung um Mittel aus dem Innovationsfonds

*Dr. Christof Bartels, Prof. Dr. Günter Reiter*

*Leitung der Physikalischen Praktika für Naturwissenschaften und Medizin/Pharmazie, Studiendekan Physik  
Fakultät für Mathematik und Physik, Physikalisches Institut*

## Kurzzusammenfassung

Mit finanzieller Unterstützung der Studierendenvertretung unternimmt das Physikalische Institut eine grundlegende Modernisierung der Physik-Praktika für Studierende der Naturwissenschaften und der Medizin mit dem Ziel, die speziellen Anforderungen und Lernziele der verschiedenen Fachbereiche bestmöglich zu berücksichtigen. Die bisherigen Maßnahmen, die bereits zu einer deutlichen Verbesserung der Situation geführt haben, werden konsequent fortgeführt. Dafür bauen wir weitere neue Praktikumsversuche auf, die speziell für Studierende der jeweiligen Fachbereiche konzipiert sind.

## Reflexion / Evaluation

Das Physikalische Institut der Universität Freiburg hat vor zwei Jahren eine grundlegende Modernisierung der Physik-Praktika für Studierende der Naturwissenschaften und der Medizin/Pharmazie begonnen. Mit finanzieller Unterstützung aus dem Projektwettbewerb 2016 wurde das Lehrangebot um mehrere neue Versuche erweitert, die speziell für Studierende der verschiedenen Fachbereiche konzipiert sind. Nach den positiven Erfahrungen mit diesen neu aufgebauten Praktikumsversuchen wurde die Modernisierung im Jahr 2017 konsequent fortgeführt.

Die bewährte Idee, dass sich jeder neue Versuch einem physikalischen Phänomen, Messprinzip oder Gerät widmen soll, das fachspezifisch relevant und deshalb für die Student\*innen der jeweiligen Disziplin von Interesse ist, wurde bei der Gestaltung der neuen Versuche weiterhin berücksichtigt. Dabei sollen die Studierenden sich die physikalischen Grundlagen zunächst an einem vereinfachten isolierten Modell selbst erarbeiten, indem sie zunächst einen physikalischen Effekt an einem in seiner Reinform kennenlernen; in darauf aufbauenden Versuchsteilen wird die Komplexität dann Schritt für Schritt gesteigert, bis die ursprüngliche Fragestellung gezielt beantwortet werden kann.

Konkret wurden im vergangenen Jahr mithilfe der Mittel aus dem Projektwettbewerb Innovatives Studium 2017 die folgenden Praktikumsversuche neu aufgebaut bzw. modernisiert:

- **Ultraschall in der Sonografie [Molekulare Medizin]:** Die neuen Ultraschallgeräte ermöglichen eine ideale Hinführung zur bildgebenden Sonografie. Zunächst untersuchen wir die zugrundeliegenden physikalischen Phänomene wie Schallausbreitungsgeschwindigkeit, Reflexion von Schallwellen an Grenzflächen und das Echolotverfahren. Im zweiten Schritt verwenden wir die Bildgebung zur Untersuchung von offenen und geschlossenen Phantomen (Bild 1).
- **Schallwellen in festen Medien [Geowissenschaften]:** In einem leicht abgewandelten Aufbau untersuchen wir mit den neuen Ultraschallgeräten die Ausbreitung von Schallwellen in festen Medien. Dabei können verschiedene Wellentypen (P-Wellen, S-Wellen, Rayleigh-Wellen), die in der Seismik und Seismologie eine Rolle spielen, getrennt untersucht werden (Bild 2).
- **Optische Spektroskopie [Biologie, Chemie, Molekulare Medizin]:** Wir bauen ein Gitterspektrometer aus seinen einzelnen Komponenten auf und vergleichen seine Funktion mit dem kommerziellen Kompaktspektrometer. Die einfache Darstellung der Spektren am Computer ermöglicht die schnelle Untersuchung verschiedener Emissionsspektren, beispielsweise von Sonnenlicht, Halogen- oder

Gasentladungslampen. Die charakteristischen Spektren ermöglichen eine eindeutige Identifikation des strahlenden chemischen Elements (Bild 3).

- **Radiologie und bildgebendes Röntgen [Medizin, Molekulare Medizin, Pharmazie]:** Mithilfe des neuen Röntgengeräts messen wir zunächst die Absorption von Röntgenstrahlung an verschiedenen organischen und anorganischen Materialien. Danach untersuchen wir die Bildgebung mit Röntgenstrahlung an einfachen Modellen und charakterisieren die Abbildungsqualität (Bild 4).
- **Bragg-Reflexion von Röntgenstrahlung [Chemie, Geowissenschaften]:** Durch einen leicht modifizierten Aufbau mit drehbarem Kristall und Detektor untersuchen wir die Winkelabhängigkeit der Reflexion von Röntgenstrahlung und überprüfen die Bragg-Bedingung in einer Dimension. Aus der Lage der Maxima lässt sich die Gitterkonstante des untersuchten Einkristalls berechnen. Diese Analyse stellt die einfachste Form der allgemeinen Kristallstrukturanalyse dar (Bild 5).

Ein neuer Versuch zur Röntgenfluoreszenzspektroskopie [Chemie, Geowissenschaften] ist derzeit noch im Aufbau. Alle neu konzipierten Versuche verfolgen den oben beschriebenen Ansatz.

Damit stehen gegenüber dem „alten“ Physik-Praktikum nun zahlreiche neu gestaltete Versuche zur Verfügung, die jeweils gezielt in den Praktika für die verschiedenen Studiengänge zum Einsatz kommen. Beispielsweise besteht das Physik-Praktikum für Studierende der Biologie seit dem Sommersemester 2018 vollständig aus neu gestalteten Versuchen. Dabei stellt jeder Versuch einen Bezug zu einem biologischen Thema her:

1. Im Versuch „Elastizitätsmodul“ werden elastische Eigenschaften von verschiedenen Metallstäben untersucht und mit frischen und verholzten Bambushalmen verglichen. Ähnliche Versuche werden in der aktuellen Forschung in der *Plant Biomechanics Group* am Botanischen Garten der Universität Freiburg durchgeführt.
2. Im Versuch „Oberflächenspannung“ wird zunächst die Oberflächenspannung von Wasser gemäß ihrer Definition gemessen. Danach wird der Kapillaranstieg in engen Röhren untersucht, der für den Wassertransport in Pflanzen eine wichtige Rolle spielt. Außerdem kann die Benetzung von Oberflächen untersucht werden.
3. Im Versuch „Schall und Ultraschall“ behandeln wir den Zusammenhang zwischen physikalischen Kenngrößen wie Amplitude, Frequenz, Signalform und der physiologischen Wahrnehmung als Lautstärke, Tonhöhe und Klangfarbe. Wir untersuchen die Ausbreitung von Ultraschall und das Prinzip der Echoortung, mit dem sich beispielsweise Fledermäuse oder Delfine orientieren (Biosonar).
4. Im Versuch „Gleichstrom“ wird auf die Gefahren des Stroms für den Menschen eingegangen. Wir beginnen mit einfachen Stromkreisen, den Kirchhoffschen Regeln und dem Ohmschen Gesetz. Dann simulieren wir einen typischen Stromunfall – Kontakt mit der 230-Volt-Netzspannung mit einer Hand – an einem einfachen und ungefährlichen Modell. Wir diskutieren die möglichen Folgen eines solchen Unfalls.
5. Im Versuch „Wechselstrom“ untersuchen wir zunächst die besonderen frequenzabhängigen Eigenschaften eines Kondensators. Dann modellieren wir mithilfe eines Funktionsgenerators die physiologischen Aktionspotentiale und stellen sie am Oszilloskop dar. An einem stark vereinfachten Modell untersuchen wir die Reizleitung in Nervenzellen und messen die Längskonstante und die Reizleitungsgeschwindigkeit.
6. Im Versuch „Lichtmikroskop“ beginnen wir mit einfachen Abbildungen an einer einzelnen Linse. Dann wird ein Mikroskop einschließlich Köhlerscher Beleuchtung aus seinen Komponenten aufgebaut und charakterisiert. Dabei trennen wir klar zwischen Beleuchtungs- und Abbildungsstrahlengang. Wir betrachten verschiedene Präparate und diskutieren die Abbildungsqualität.
7. Im Versuch „Spektroskopie“ untersuchen wir die Beugung an Doppel- und Mehrfachspalten, bauen ein Gitterspektrometer aus seinen Komponenten auf und vergleichen es mit dem kommerziellen Kompaktspektrometer. Damit untersuchen wir verschiedene Emissionspektren. Aus den Spektrallinien

einer Gasentladungslampe identifizieren wir das strahlende Element – das ist quasi die einfachste Form der Spektralanalyse.

8. Im Versuch „Elektronen“ werden die Bahnen von Elektronen durch Fluoreszenzleuchten sichtbar gemacht. Wir untersuchen quantitativ, wie geladene Teilchen auf elektrische und magnetische Felder reagieren. Bei bekannter Elementarladung kann man so die Masse des Elektrons bestimmen. Ähnliche Techniken werden in Massenspektrometern eingesetzt, wie sie beispielsweise in der Biochemie weit verbreitet sind.
9. Im Versuch „Photoeffekt“ untersuchen wir den Zusammenhang zwischen Farbe und Photonenenergie und den Energieübertrag von Photonen auf Elektronen. Im ersten Teil verwenden wir eine Fotozelle, bei der die Elektronenenergie direkt gemessen werden kann. Im zweiten Teil verwenden wir eine selbstgebastelte organische Farbstoffsolarzelle, die Analogien zur Photosynthese aufweist.
10. Im Versuch „Radioaktivität“ untersuchen wir die radioaktive Strahlung, die von verschiedenen natürlichen und künstlichen Quellen ausgeht. Dabei gehen wir besonders auf die vier Prinzipien ein, mit denen man sich vor ionisierender Strahlung schützen kann: Aktivität begrenzen, Aufenthaltsdauer minimieren, Abstand halten, Abschirmung verwenden.

Das Praktikum für Studierende der Biologie ist damit vollständig wie geplant umgestaltet: Jeder Versuch widmet sich einem physikalischen Phänomen, das für die Studierenden der Biologie relevant ist. Dabei beginnen wir stets mit dem physikalischen Effekt in Reinform und schlagen dann den Bogen zu einer biologisch relevanten Anwendung.

Die Physik-Praktika für Studierende der Chemie, Geowissenschaften und Molekularen Medizin sollen bis Herbst 2018 ebenfalls vollständig umgestaltet sein und dann aus jeweils zehn neu konzipierten Versuchen bestehen, die alle einen Bezug zum jeweiligen Studienfach herstellen. Auch in den Praktika für Studierende der Medizin, Zahnmedizin und Pharmazie wurden neugestaltete Versuche implementiert, bei denen explizit der Bezug zu medizinischen und pharmazeutischen Fragestellungen berücksichtigt wurde. Zusätzlich zum oben beschriebenen neuen Versuch zur Röntgen-Bildgebung, bei dem das neue Röntgengerät eingesetzt wird, wurden ein neuer Modellversuch zum Elektrokardiogramm (EKG) und ein neuer Optik-Versuch zur Funktion des Auges eingeführt.

Aus den Evaluationen der vergangenen Praktika wissen wir, dass wir mit der Modernisierung auf dem richtigen Weg sind. Da die Neugestaltung Schritt für Schritt durchgeführt wurde, hatten wir in den vergangenen zwei Jahren Praktika mit sowohl alten als auch neuen Versuchen, die einen direkten Vergleich zulassen. In den Evaluationen haben wir getrennt nach der Verständlichkeit gefragt. Die Angaben folgen einer sechsstufigen Likert-Skala von „sehr verständlich“ (1) bis „nicht verständlich“ (6).

	Alte Versuche		Neue Versuche		Differenz
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\Delta\mu$
Praktikum für Studierende der Biologie	4,1	$\pm 1,2$	2,4	$\pm 1,0$	-1,6
Praktikum für Studierende der Chemie	4,6	$\pm 1,1$	2,0	$\pm 0,9$	-2,7
Praktikum für Studierende der Geowissenschaften	4,7	$\pm 1,5$	2,7	$\pm 0,8$	-2,0
Praktikum für Studierende der Molekularen Medizin	5,2	$\pm 1,1$	2,2	$\pm 0,9$	-3,0
Insgesamt	4,6	$\pm 1,2$	2,3	$\pm 0,9$	-2,3

*Tabelle 1: Kombinierte Ergebnisse der Evaluationen in Hinblick auf die Verständlichkeit der alten und der neuen Versuche. Evaluation auf einer sechsstufigen Likert-Skala von „sehr verständlich“ (1) bis „nicht verständlich“ (6). Die Einträge geben jeweils Mittelwert  $\mu$  und Standardabweichung  $\sigma$  an; in der letzten Spalte die Differenz  $\Delta\mu$  der Mittelwerte der alten und neuen Versuche.*

Die kombinierten Ergebnisse der Evaluationen, getrennt nach den Studienfächern, sind in Tabelle 1 dargestellt. Für alle Studienfächer wird die Verständlichkeit der alten Versuche mit  $\mu \geq 4,1$  bewertet, die Verständlichkeit der neuen Versuche mit  $\mu \leq 2,7$ . Die Verbesserung der Verständlichkeit  $\Delta\mu$  beträgt zwischen 1,6 und 3,0 Stufen. Im Mittel über die Studienfächer Biologie, Chemie, Geowissenschaften und Molekulare Medizin wurde eine Verbesserung von  $\mu = 4,6$  auf  $\mu = 2,3$  erzielt ( $\Delta\mu = -2,3$ ). Die Modernisierungen haben offenbar zu einer deutlichen Verbesserung der Verständlichkeit geführt.

Unser primäres Ziel war ein verbesserter Lernerfolg. Da es im Physikpraktikum keine abschließenden Klausuren gibt, konnten wir den Lernerfolg nicht objektiv untersuchen. Allerdings haben wir die Teilnehmer\*innen an den verschiedenen Physik-Praktika in den abschließenden Evaluationen nach ihrer eigenen Einschätzung gefragt, inwiefern die Lernziele erreicht wurden. Dabei formulieren wir fünf Aussagen der Form „Ich habe gelernt...“ und verwenden eine sechsstufige Likert-Skala von „stimme voll zu“ (1) bis „stimme gar nicht zu“ (6).

	1 = stimme voll zu	2	3	4	5	6 = stimme gar nicht zu	$\bar{x}$
Ich habe gelernt, Versuche aufzubauen und Experimente durchzuführen.	■	■	■	■	■		2,38
Ich habe gelernt, Messwerte korrekt abzulesen und im Laborheft zu dokumentieren.	■	■	■	■	■		1,90
Ich habe gelernt, meine Messwerte korrekt auszuwerten und in Diagrammen darzustellen.	■	■	■	■	■		2,07
Ich habe gelernt, Unsicherheiten korrekt abzuschätzen bzw. statistisch auszuwerten.	■	■	■	■	■		2,32
Ich habe gelernt, auch unter Zeitdruck übersichtliche Versuchsprotokolle zu erstellen.	■	■	■	■	■		2,21

*Tabelle 2: Kombinierte Ergebnisse der Evaluationen aus den Praktika für Studierende der Biologie, Chemie, Geowissenschaften und Molekulare Medizin in Hinblick auf das Erreichen der Lernziele. Angaben auf einer sechsstufigen Likert-Skala von „stimme voll zu“ bis „stimme gar nicht zu“. Die Säulen geben die Verteilung der Antworten an, die letzte Spalte den daraus berechneten Durchschnittswert.*

Die Ergebnisse dieses Teils der Evaluationen, kombiniert über die verschiedenen Studienfächer, sind in Tabelle 2 dargestellt. Man erkennt, dass für alle formulierten Lernziele die große Mehrheit der Teilnehmer\*innen eine eher zustimmende Antwort ( $\leq 3$ ) gibt, also das Erreichen der Lernziele positiv einschätzt. Da die Evaluationen in dieser Form erst seit 2016 durchgeführt werden, kann die Frage, ob sich der Lernerfolg gegenüber dem alten Physik-Praktikum tatsächlich verbessert hat, mit unseren Mitteln nicht abschließend beantwortet werden. Allerdings zeigt die Selbsteinschätzung deutlich, dass die Mehrheit der Studierenden mit dem Lernerfolg im neuen Physik-Praktikum zufrieden ist.

**Insgesamt stellen die Modernisierungen eine deutliche Verbesserung der Studienbedingungen gegenüber dem alten Physik-Praktikum dar. Davon profitieren viele Studierende (bis zu 1000 pro Jahr) aus den verschiedenen naturwissenschaftlichen Studiengängen. Die etablierten Modernisierungen werden über mehrere Jahre hinaus wirksam bleiben. Die Modernisierung der Physik-Praktika wäre ohne die finanzielle Unterstützung im Rahmen der Projektwettbewerbe Innovatives Studium 2016 und 2017 in dieser Form nicht möglich gewesen.**

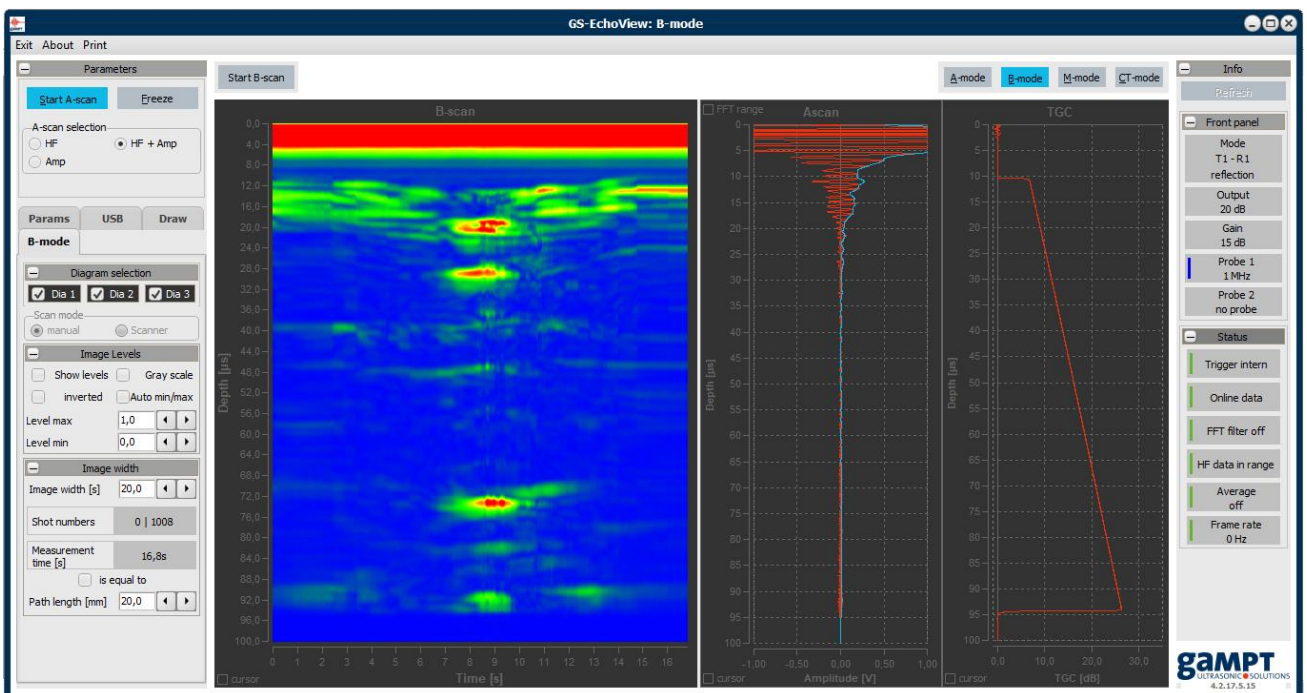
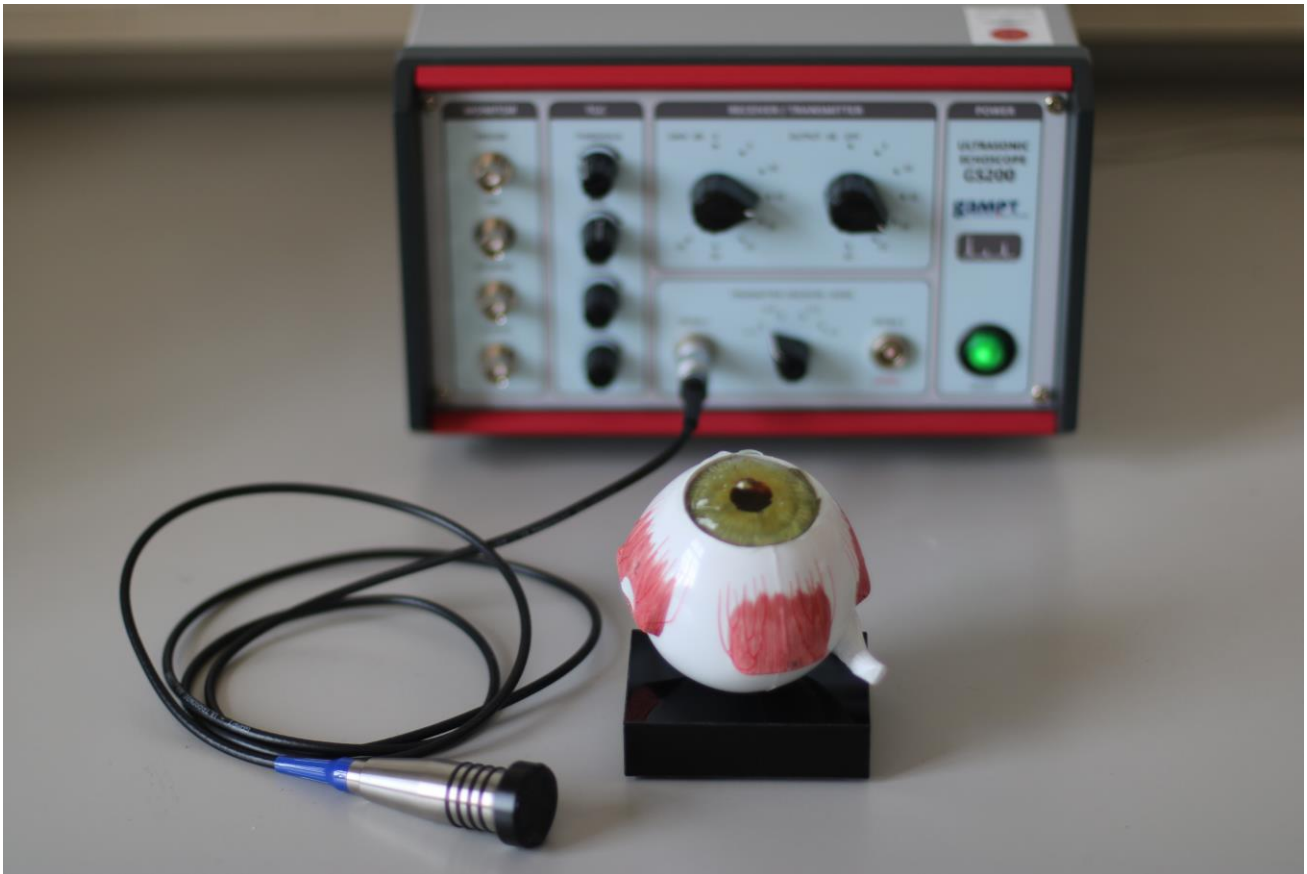


Bild 1: Das neue Ultraschallgerät mit einer 1-MHz-Sonde als Sender und Empfänger, Untersuchungen am Augenmodell. Eine „von Hand“ erzeugte Bildgebung in der Darstellung am Computer [Molekulare Medizin].

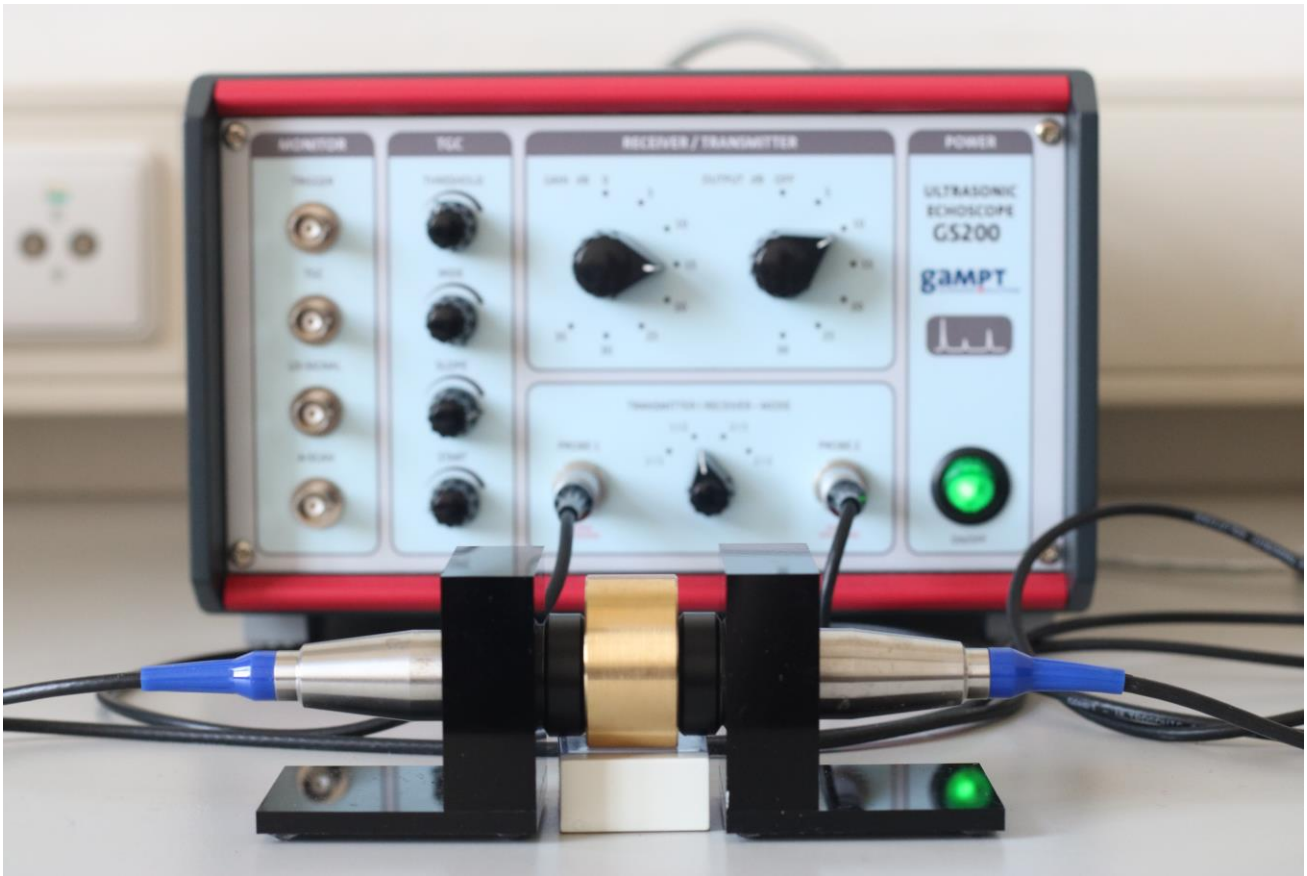
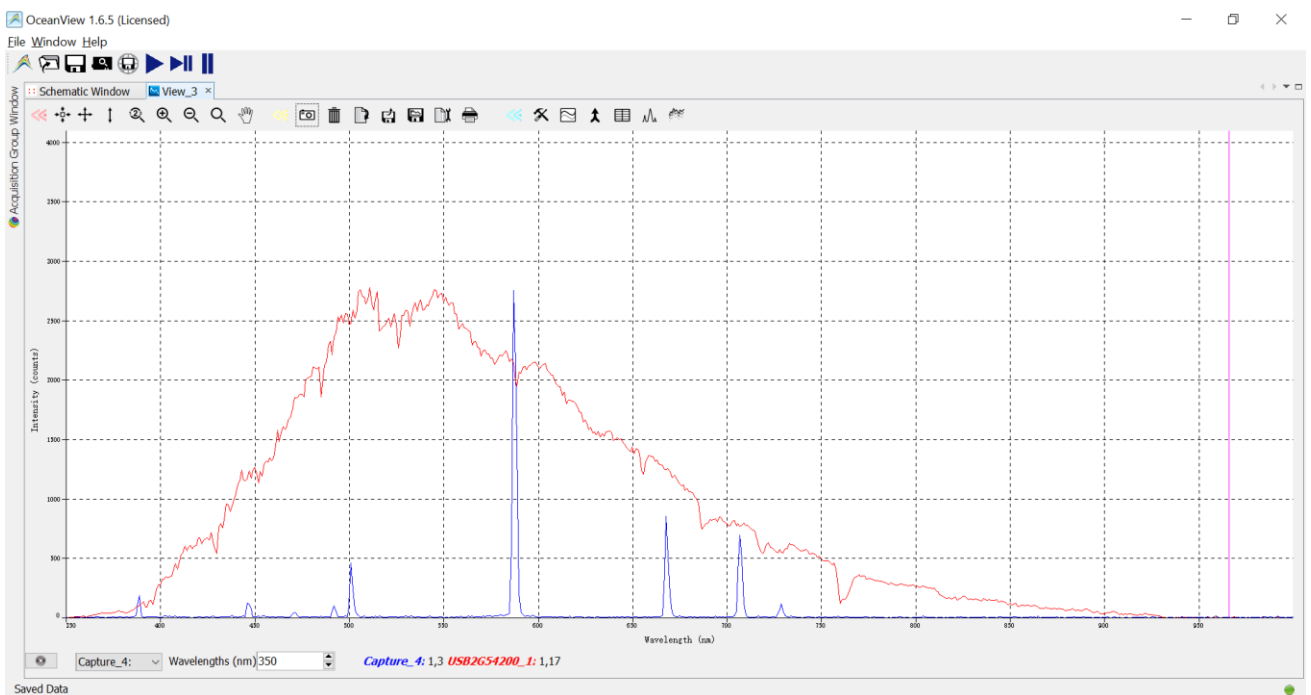
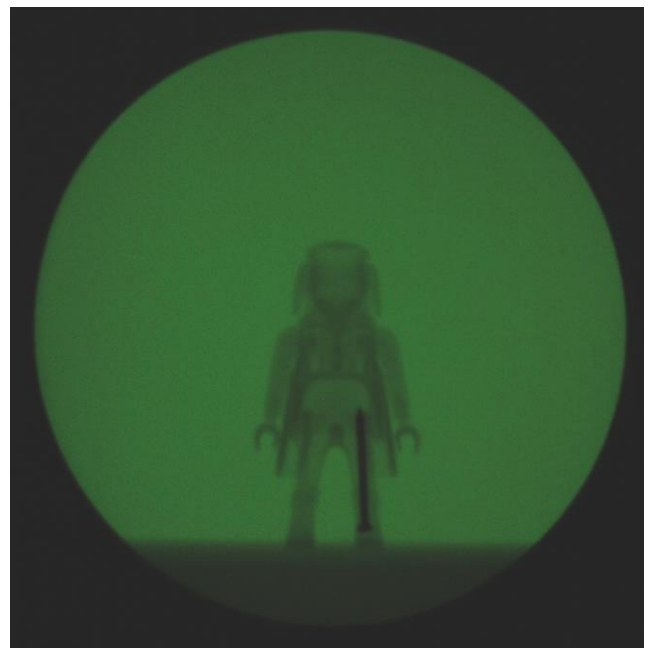


Bild 2: Messung der Schallgeschwindigkeit in Festkörpern, hier an einem Messing-Zylinder, aus der Laufzeit zwischen Sender- und Empfängersonde. Darstellung der detektierten Pulse am Computer; aus solchen Messungen lassen sich die Geschwindigkeiten der P- und S-Wellen berechnen [Geowissenschaften].



**Bild 3:** Das neue USB-Kompaktspektrometer mit einer Glasfaser als Lichtleiter. Spektren des Sonnenlichts (rot) und einer Helium-Lampe (blau) in der Darstellung am Computer [Biologie, Chemie, Molekulare Medizin].



*Bild 4: Das neue Röntgengerät im Aufbau für die Bildgebung, links von der Mitte die Röntgenröhre, ganz rechts der Fluoreszenzschirm. Ein Playmobil-Männchen als Objekt. Die Röntgenaufnahme des Männchens zeigt einen Nagel im Bein [Medizin, Molekulare Medizin, Pharmazie].*



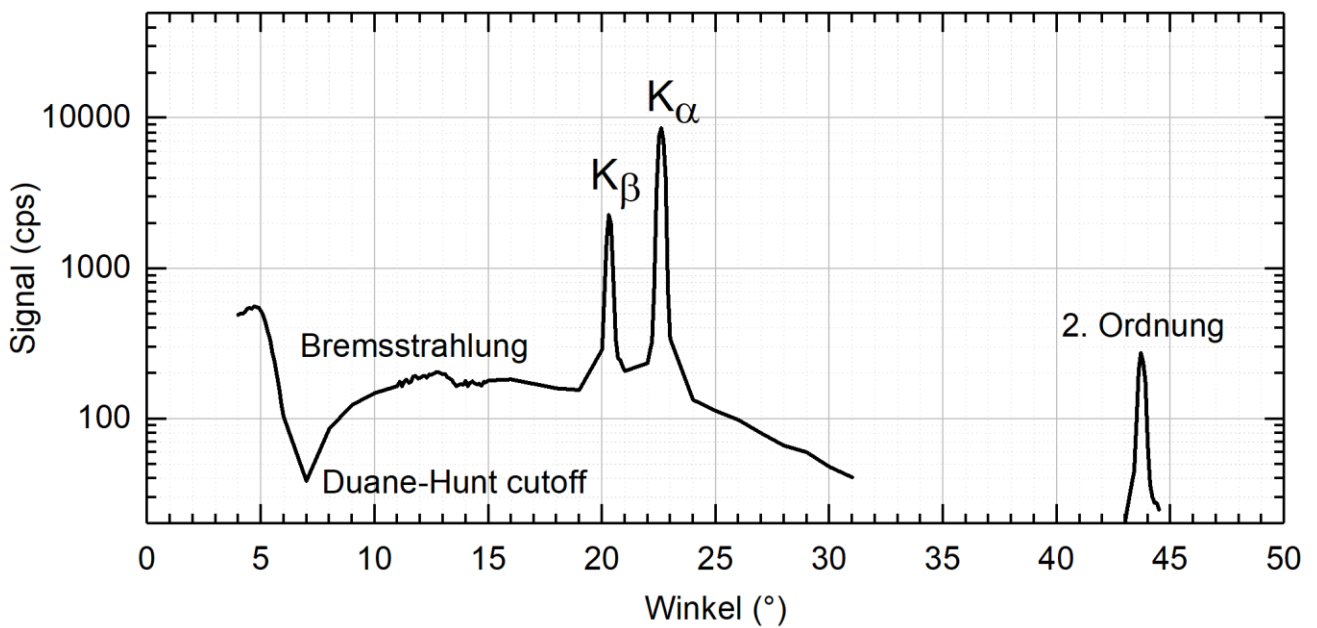


Bild 5: Eindimensionale Kristallografie am Röntgengerät mit simultan drehbarem Detektor und Einkristall, hier Lithiumfluorid. Bragg-Spektrum mit den charakteristischen Peaks  $K_{\alpha}$  und  $K_{\beta}$ , aus deren Lage die Gitterkonstante des Einkristalls bestimmt werden kann [Chemie, Geowissenschaften].