

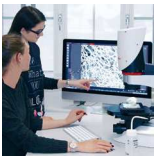
Das Berzelius Labor Journal

Band 1 / 2017 / Heft 2

Ultraschall

ISSN: 2571-5860

PH ^{SG}
Pädagogische Hochschule
St.Gallen



Das Berzelius Labor Journal

Das Berzelius Labor Journal bietet praktische und theoretische Beiträge für den naturwissenschaftlichen Unterricht auf Sek II-Niveau, für Maturaarbeiten und für Sonderveranstaltungen an.



Das Rezept der Kräutersulz für den ‚Appenzeller‘ bleibt geheim. Es ist unmöglich, so zumindest die Botschaft der Werbung, dieses Geheimnis zu lüften. Ein anderes Geheimnis in Zusammenhang mit den Löchern im Käse, vor allem beim Emmentaler Käse, scheint bereits gelöst. Wie und wo entstehen diese Löcher? Eine → [Studie](#) von Agroscope und Empa zeigt, dass die Lochbildung im Käse kein Zufall ist, sondern durch Käserinnen und Käser gezielt gesteuert werden kann.

Die Heupartikel gelangen beim traditionellen von Hand melken in den offenen Melkeimer in die Milch und stehen somit für die Lochbildung in ausreichender Anzahl „zur Verfügung“.

Moderne Melktechniken, vor allem mit Melkmaschinen, sind mittlerweile derart sauber, dass zu wenig „Keimstellen“ vorhanden sind, um eine genügende Lochbildung, was ein charakteristisches Merkmal diverser Käsesorten ist, zu bewirken. Aber nun kann der Käser oder die Käserin „manuell“ durch Heupartikelzugabe nachhelfen und so die Lochbildung im Käse beeinflussen.

Fasziniert von der Möglichkeit, Lage und Grösse der Löcher im Käse mit einem zerstörungsfreien Verfahren bestimmen zu können, machte ich mich sofort daran, dies mit einem Ultraschallechoskop umzusetzen. Während meiner Arbeit bin ich auf einen sprichwörtlich lebensnahen Zugang gestossen, der die Schülerinnen und Schüler (SuS) begeistert und motiviert.

Vielen solchen spannenden Fragen in der Physik bin ich im Rahmen meines Bildungssemesters an der Pädagogischen Hochschule St.Gallen im Institut Fachdidaktik Naturwissenschaften (IFN) begegnet.

Das Projekt Berzelius bietet eine breite Palette an → [Modulen](#) an, welche von Lehrpersonen für den Einsatz im Unterricht, bei Gruppenarbeiten oder in Sonderwochen ausgeliehen werden können. Fasziniert vom gesamten Projekt Berzelius und von den Möglichkeiten, die sich mir als Lehrperson bieten, bin ich neben meiner Haupttätigkeit

als „Appenzeller“ Gymnasiallehrer als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt Berzelius geblieben.

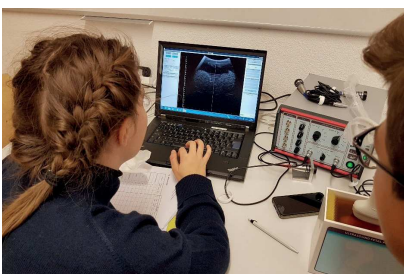
Es gibt viele Lehrpersonen auf der Stufe Sek II mit unerhört guten Ideen. Lasst uns davon wissen! Teilt uns diese Ideen mit – wir suchen die Zusammenarbeit! (H.S.)

Das Berzelius-Team besteht in erster Linie aus allen Sek II Lehrpersonen, die am Projekt mitwirken möchten, Workshops bestellen, neue Experimentiermodule mit Berzelius-Geräten entwickeln bzw. diese im Unterricht oder im Rahmen von Sonderwochen einsetzen möchten.

Die erfolgreiche Zusammenarbeit ermöglichen die Fachwissenschaftler, Fachdidaktiker und Sek II Lehrpersonen des Berzelius-Kernteam. Es wird ergänzt durch Masterstudierenden der PHSG. (N.R.)



Dipl. El. Ing. FH Harald Sprenger
Sek II Gymnasiallehrer und wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt Berzelius, PHSG.



Inhalt:

- S.3 Ultraschall - Kurze Geschichte
- S.5 MINT-sonic- Ultraschall mit Hertz und Verstand
- S.7 Beiträge aus dem Berzelius - Programm für die Sek II

Mitwirkende

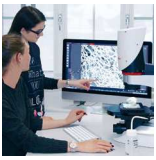
Dr. sc. ETH Mathias Kirf (M. K. K.; wiss. Mitarbeiter und Sek II Lehrer),
Prof. Dr. Florian Rietz (F. R.; PH-Dozent und Sek II Lehrer),
Prof. Dr. Nicolas Robin (N. R.; Institutsleiter, PH-Dozent),
Dipl. Ing. HTL Markus Roth (M. R.; Technischer Leiter),
Dipl. El. Ing. FH Harald Sprenger (H. S.; Sek II Lehrer, wiss. Mitarbeiter),
Eva Steingruber (E. S.; wiss. Sachbearbeiterin),
Dr. sc. nat. ETH Paul Vuilleumier (P. V.; Sek II Lehrer),
G. Wirtz (G. W.; wiss. Assistentin) und
Michael Zuber (M. Z.; Student PHSG)

Impressum

Berzelius – Hightech für die Sek II ist ein gemeinsames Projekt des Instituts Fachdidaktik Naturwissenschaften der PHSG und der Metrohm Stiftung.

Herausgeber: Kirf, M.; Rietz, F. & Robin, N. Themengestaltung: Sprenger, H.

www.berzelius.ch
berzelius@phsg.ch



Ultraschall – Kurze Geschichte

„Eavesdropping through 24 feet of steel!“ — Momentaufnahme aus der Geschichte der Ultraschalluntersuchung von Festkörpern.

Der Aufmacher „Eavesdropping through 24 feet of steel!“ der populärwissenschaftlichen amerikanischen Zeitung Popular Mechanics Magazine (Reiche, 1946) lud die Leserschaft in die neue Welt der zerstörungsfreien Materialuntersuchungen ein. Seit der Nachkriegszeit waren im Stahlbau, Schiffsbau und vor allem im Luftwesen zuverlässige Werkstoffprüfungsmethoden unabdingbar, um die qualitativen Anforderungen der Massenproduktion erfüllen zu können. Entwicklungs- und Qualitätsmängel hatten in den letzten Jahrzehnten die Gesellschaft, u.a. durch Zuganglücke aufgrund von fehlerhaften Stahlschienen, geprägt. Anfang des 20. Jahrhunderts wurden aufwändige invasive Methoden verwendet, bis zunehmend zerstörungsfreie Techniken wie z.B. Röntgenuntersuchungen auf Fehler wie Fremdeinschlüsse, Materialtrennungen, Wanddickenunterschiede oder Verlagerung innerer Teile entwickelt wurden (Berthold, 1939).

Eines der Probleme der Industrie bestand in den neuen Materialien, die für den Bau von Flugzeugen verwendet wurden. Um 1930 zeigte der russische Forscher Sergei Jakowlewitsch Sokolow (1897-1957), dass mittels Ultraschall Fehler in metallischen Gegenständen nachgewiesen werden konnten, indem Auffälligkeiten der durch das Metall übertragenden Ultraschallsignale analysiert wurden (Woloshyn, 1963). Diese neuen Erkenntnisse wurden zeitgleich in England, Deutschland und in den USA aufgenommen und führten zu technischen Innovationen, die die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung bis heute prägen.

In den USA wurde 1941 von Floyd Alburn Firestone (1898-1986) die Technologie des ersten „→ **supersonic reflectoscope**“ patentiert und für die interessierte Allgemeinheit in der

Science News Letter vom 23. Februar 1946 wie folgt erläutert:

„Using a quartz crystal covered with a film of oil to contact the object being tested, the reflectoscope radiates sound waves into the material being tested. The radiated waves reflect back to the instrument and are magnified on an oscilloscope screen. Flaws are detected by variations in the visible oscillations on the screen. The supersonic reflectoscope sends sound waves into the object being tested for periods as short as a millionth of a second. This produces only a few short length waves that may be easily read on the screen, and it permits the tester to quickly note flaws in materials being examined. In addition to testing the structure of solids such as iron, steel or aluminum, Dr. Firestone says the supersonic reflectoscope may be used to determine the level of liquids inside tanks.“

Diese Momentaufnahme ist von besonderer Bedeutung. Die Fachterminologie entwickelte sich, das „reflectoscope“ und die „reflectograms“ haben eine andere Bedeutung als die „reflectoscopes“ des 19. Jahrhunderts (Petersen, 2012: 203). Die Genese neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in ihren sozialen, technischen und institutionellen Gefügen wird sichtbar. (N. R.)



Das „Reflectoscope“ in Aktion. Das „Reflectoscope“ sendet Ultraschallwellen durch die Gussteile. Materialdefekte werden im Oszilloskop durch Signalspitzen (D, unten links) angezeigt. Ist das Gussteil in Ordnung, ist das Signal ungestört (oben rechts). Klemm, A. (1947). Instrumentation, Measurement, and Control. *Scientific American*, 176 (3), 122-128. Bildrechte sind dem S. A. nicht bekannt.

Zum Weiterlesen

Über die Entwicklung des ersten „supersonic reflectoscope“:

Firestone, F.A. (1946). The supersonic reflectoscope, an instrument for inspecting the interior of solid parts by means of sound waves. *The Journal of the acoustical society of America*, 2 17(3), 287-299.

Klemm, A. (1947). Instrumentation, Measurement, and Control. *Scientific American*, 176 (3), 122-128.

Reiche, B. (1946). Eavesdropping through 24 feet of steel! *Popular mechanics magazine*, May, 88-89.

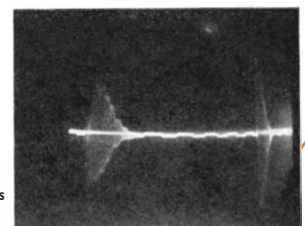
Woloshyn, I. (1963). Industrial ultrasonics in the U.S.S.R. *Ultrasonics*, 1(1), 14-26.

Über zerstörungsfreie Materialprüfungsmethoden vor 1950:

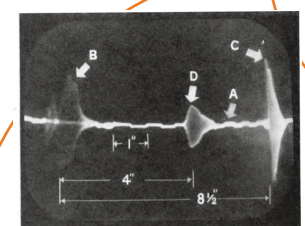
Berthold, R. (1939). Der Einfluß geometrischer Bedingungen auf die Güte von Röntgen-Schattenbildern. *Archiv für das Eisenhüttenwesen* 12(12), 597-602.

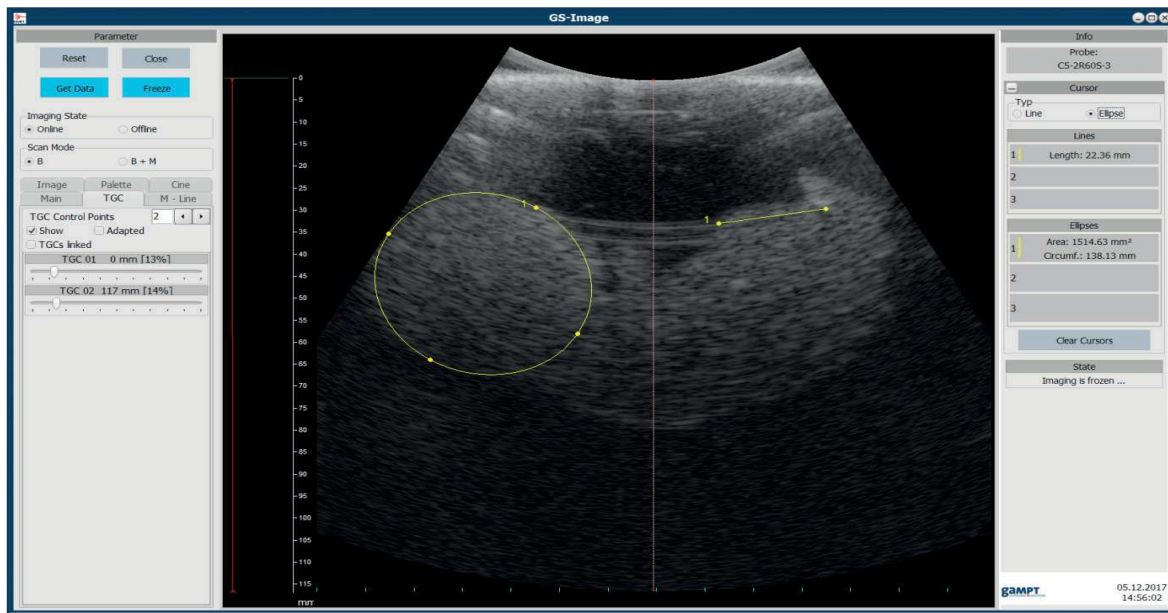
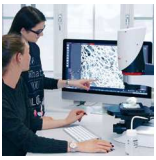
Krautkrämer, J.; Krautkrämer, H. (1986). *Werkstoffprüfung mit Ultraschall* (5., völlig überarb. Aufl. ed.). Berlin u.a.: Springer.

Petersen, J.K. (2012). *Handbook of surveillance technologies*. Third Edition. Boca Raton: CRC Press.



The Reflectoscope sends supersonic waves through the castings (left). A flaw's presence is revealed on oscilloscope screen by pip, D, on trace (lower right). If the piece is not defective, trace (upper right) is undisturbed





Zutaten (für 45 Min)

- → **Ultraschallechoskop**
- 2 Ein-Element-Ultraschallwandler
- 1 Arraywandler
- Ultraschallgel
- Phantome (z.B. Fötus)
- Metallzylinder (100 mm)
- Metallzylinder unbestimmter Länge
- Ev. Zusatzmaterial

So wird's gemacht

- Motivierender Einstieg mit Fötusphantom
- Erarbeitung der Prinzipien anhand von vier kurzen Versuchen
- Verknüpfung der Prinzipien anhand des Fötusphantoms
- Ev. weitere Anwendung in Zusatzversuchen

Kommentare

Gut geeignet zur Einführung, Wiederholung und Sicherung von:

- Medienabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit
- Bildgebende Verfahren
- Totalreflexion und Teilreflexion
- Konzept der Energieerhaltung
- Dämpfung
- Wellenlänge und Frequenz
- Schwingungen und Wellen

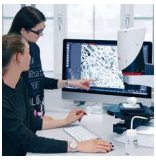
Zukunftsthema Ultraschall

Eine faszinierende, uns oft in sehr bedeutungsvollen Momenten des Lebens begegnende technische Erleichterung ist das bildgebende Verfahren mittels Ultraschall. Platzen zu Beginn der Entwicklung noch die Schwimmblasen der Fische, die unglücklicherweise während der militärischen Suche nach getauchten Booten in die energiereichen Pulse gerieten, ist die technische Anwendung heute stark verfeinert.

Selbst nicht mehr ganz junge Eltern erinnern sich sicherlich noch an die Magie der ersten Ultraschallaufnahmen des im Mutterleib neu entstehenden Lebens. Neben aller Emotionalität bietet das sinnvollerweise zerstörungsfreie Echtzeit-Messverfahren heutzutage den Zugang zu mächtigen Untersuchungsmöglichkeiten.

Wir möchten das enorme emotionale Ansprechpotential solcher Darstellungen nutzen, um innerhalb des Themas Schall grundlegende Prinzipien schallgestützter Mess- und Darstellungsverfahren aufzuzeigen und erlebbar zu machen. Zusätzlich werden grundlegende Prinzipien bildgebender Verfahren mit vermittelt.

Vorab mögen wir verraten, dass vor allem unsere Schülerinnen die Lektion als extrem spannend wahrgenommen haben - sie konnten sich ein ihnen wichtiges Verständnis selbst erarbeiten.
(H.S., M.K.K., F.R.)



MINT-sonic: Ultraschall mit Hertz und Verstand

Didaktische Möglichkeiten durch Echtzeit-Ultraschall-Messungen bei der Einführung in die Themen Schall sowie bildgebende Verfahren.

Was macht Berzelius anders?

Verborgene Konzepte mit modernen Geräten erlebbar und damit besser begreifbar machen.

Ausgangspunkt unserer Überlegungen ist der Wunsch, klassische Konzepte des Themenfeldes Schwingungen und Wellen auf hoch motivierende Art und Weise durch Echtzeit-Messungen für die Schülerinnen und Schüler (SuS) direkt erlebbar zu machen. Gleichzeitig sollen die Konzepte objektzentriert anhand eines übergeordneten, lebensbezogenen Phänomens verknüpft werden.

Das erste Bild

Die heutige Schülergeneration könnte anstatt Generation Z auch als Generation Bild&Video bezeichnet werden. Uns erschien es daher passend, mit ihrem ersten Bild zu beginnen.

Dies führte insbesondere bei den Schülerinnen zu einer aussergewöhnlich hohen Motivation, sich mit den Themen Ultraschall und bildgebende Verfahren intensiv auseinandersetzen zu wollen.

Akustische Augen – Mit Ohren sehen

Moderne, leistungsfähige Ultraschall-messsysteme wie das uns und Ihnen zur Verfügung stehende →GS200i (gaMPT, BRD) eröffnen durch ihre Flexibilität ein breites Anwendungsspektrum, ermöglichen einen schnellen Messaufbau und bieten eine fast intuitive Bedienung. Für die konkrete Lektionsgestaltung bedeutet dies eine Vielzahl unterschiedlicher Versuchsmöglichkeiten pro Lektion, eine schnelle Heranführung der SuS an die Phänomene sowie die Möglichkeit zur spontanen Umsetzung kreativer Schüler- (und Lehrer-) Ideen.

Ultraschall umfasst Schallwellen mit Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörvermögens (> 20 kHz). Sonare (**sound navigation and ranging**) z.B. zur

U-Boot-Suche arbeiten mit Frequenzen zwischen 20 kHz und 100 kHz. Weitere Informationen über die Prinzipien und den Einsatz von Ultraschall finden Sie → hier sowie auf → leifiphysik.de und → weltderphysik.de.

Mit 4 Konzepten zum Bild

Um das Entstehen einer Ultraschallabbildung nachvollziehen zu können, bedarf es des Verständnisses der Distanzmessung mittels Echo-Puls Verfahrens (→ Versuch 1), der Feststellung, dass meistens nur Teilreflexionen an den Oberflächenstrukturen stattfinden und deshalb auch tiefere Schichten betrachtet werden können (→ Versuch 2), der Phänomene Dissipation und Dämpfung (→ Versuch 3) sowie letztendlich der zur Schnittbild-erstellung notwendigen Eindeutigkeit der Ortszuordnung des Schallsignals, die mittels Arraywandler vereinfacht wird (→ Versuch 4).

Mit diesen vier einfachen Versuchen lassen sich die nötigen physikalischen Grundlagen auch schülerzentriert erarbeiten.

Augenmass: Mit Schall sehen

Im → ersten Versuch wird einzig die Distanzmessung mittels Ultraschall

betrachtet. Dass Schallimpulse mittels Wandler erzeugt, durch ein Material geschickt und am Ende mittels Empfänger detektiert werden können, ist den SuS gut zugänglich. Über den Zusammenhang $s = v \times t$ wird deutlich, dass bei gegebener Strecke s und gemessener Laufzeit t die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden kann. Aber ist diese nicht eine Konstante wie die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum?

Das selbstständige Einmessen der stark medienabhängigen Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Materialien unterstützt auch weniger abstrakt denkende SuS dabei, ein Gespür für die fundamentalen Zusammenhänge zu entwickeln.

Dies wird zusätzlich durch die ungewohnte, indirekte Darstellung der Messdaten erreicht: Der Schallpuls wird im sogenannten A-Mode (Amplitudendarstellung) im Koordinatensystem „Amplitude über s “ dargestellt (siehe Abb. 2) und daher nicht der Laufzeit, sondern einer berechneten Strecke zugeordnet.

Da alle Probestäbe zunächst dieselbe Länge aufweisen, wird bei falsch angezeigten Längen durch Nachdenken deutlich, dass sich die Laufzeit geändert haben muss, und dass diese Änderung dann bei der Kalibrierung durch

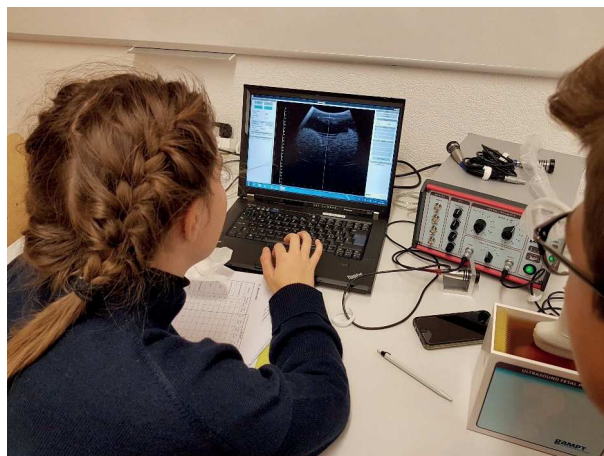
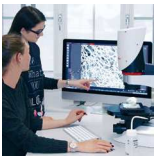


Abb. 1: Schüler beim Arbeiten mit dem Modul Ultraschall anlässlich der Technikwoche am Gymnasium St. Antonius in Appenzell.

Auf dem Ultraschallechoskop sind 2 Ein-Element-Wandler sichtbar, rechts im Vordergrund wird das Fötusphantom mittels Arraysonde geschallt. Am Computer erfolgt die Auswertung.



Anpassen der Schallgeschwindigkeit v kompensiert werden muss.

Erstaunlicherweise lassen sich viele SuS mit dem Hinweis begeistern, dass es sich lohnt, zunächst im Kopf die prozentuale Abweichung des Ist- vom Sollwert abzuschätzen, um dann v entsprechend zu verändern — ihr Handeln wird überlegt und zielführend, die SuS nehmen sich als kompetent war.

Teile des Ganzen

Wird nun vom Durchschallen des Objekts auf die Messung des reflektierten Schallsignals (→ **zweiter Versuch**) gewechselt, können weitere Effekte der schallbasierten Distanzmessung gut untersucht werden. Es fällt auf, dass neben dem Hauptsignal weitere periodische, sich abschwächende Signale gemessen werden können, z.B. bei 100 mm Probenlänge neben 100 mm (Hauptsignal) bei 200 mm, 300 mm, 400 mm, ... (siehe Abb. 2).

Ein Grossteil der SuS schafft es, diese Signale als weitere Echos des 3, 5, 7 bzw. n-fach reflektierten Schallpulses zu deuten.

Da die Amplituden-Abnahme klar ersichtlich ist, kann diese z.B. über Erfahrungen mit realen Echos (Hallohallohallo) mit Überlegungen zur Schallenergie verknüpft und gedeutet werden:

(1) Das Signal wurde mehrfach im Signalwandler detektiert.

(2) Das Signal schwächt sich mit zunehmender Reflexion ab.

(zu 1) D.h. dass sich das Signal aufspalten muss,

(zu 2) und es daher nicht zur Totalreflexion und vollständiger Wiedereinkopplung in den Signalwandler kommen kann, sondern mehrfache Teilreflexionen auftreten, die sich mit der Zeit abschwächen.

Verschallen

Es passt nun gut, durch den → **dritten Versuch** auf ein weiteres wichtiges Konzept aufmerksam zu machen. Werden unterschiedlich lange Stäbe eines Materials geschallt, fällt auf, dass es ebenfalls zu einer Abschwächung

des Hauptsignals kommt, bis ab einer bestimmten Länge kein eindeutiges Signal mehr empfangen werden kann. Mit der provokanten Frage: „Wo ist der Schall nun hin?“ kann so elegant auf die Ebene der Energieerhaltung gewechselt werden, um die Signalschwächungen als Phänomene von Dämpfung (Übertragung der Energie in das Medium) und Dissipation (Teilreflexion und Streuung) zu besprechen.

Und nun zurück zum Bild

Die erworbenen Erkenntnisse lassen sich sofort durch Übertragung auf das Ultraschallbild des → **Fötusphantoms** anwenden: „Wieso kann eine Ultraschallmessung nicht nur die Stirn, sondern auch den Hinterkopf des Fötus abbilden?“ — weil an diesen Grenzflächen nur Teilreflexionen auftreten, ein Teil des Schallpulses also im Medium weiterläuft.

Dennoch können beide Distanzen ermittelt werden — die empfangenen Schallpulse der Teilreflexionen haben eine unterschiedliche Laufzeit.

Der → **vierte Versuch** verdeutlicht, wie aus eigentlich „nur“ Distanzen messenden Ultraschallsignalen ein Bild berechnet wird: Wird das Fötusphantom sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung geschallt, sieht man die Schnittbilder der entsprechenden Achsen. Bei genauer Betrachtung fällt dabei auf, dass der obere Bildrand nicht gerade, sondern konkav ist. Ebenfalls ist die Oberfläche der Arraysonde, in der 64 Schallwandler nebeneinander angeordnet sind, konvex. Warum?

Die Form folgt hierbei der Funktion. Die konvexe Arraysonde ermöglicht ein fächerförmiges und damit breites Abtasten des Objektes.

Historisch wurden die ersten Ultraschallbilder über das mechanische Schwenken des Schallwandlers erzeugt, das Bild setzte sich also aus einzelnen, aufeinanderfolgenden Messungen zusammen. Die Ultraschallmessung ermittelte dabei die Distanz eines Objektes, aber erst zusammen mit dem Ausrichtungswinkel des Wandlers wurde der Ort des Objektes festgelegt und damit der Bildaufbau möglich.

Auch moderne Geräte aktivieren nur einzelne Schallwandler des konvexen Arrays nacheinander, der Grund liegt hierfür in der Physik:

Sendet und empfängt nur ein Wandler, so ist die Ortsbestimmung einfach. Bei parallelem Betrieb jedoch könnten mehrfach reflektierte Schallsignale nicht einer eindeutigen Quelle zugeordnet werden, d.h. der Winkel eines Objekts zur Sonde bliebe bei Parallelmessungen aufgrund der Streuung unbestimmt. Zudem wird erhöhte Interferenz vermieden.

Dass bildgebende Prinzip, dass ein Verknüpfen von Ortsinformationen zu höherdimensionalen Abbildungen führen kann, lässt sich abschliessend anhand der modernsten Anwendung des Sonogramms sichern, dem → **3D / 4D - Ultraschallbild** unserer Zeit.

(H.S., M.K.K., F.R.)

→ **Videos zur Bedienung des Gerätes**
→ **Arbeitsmaterialien**

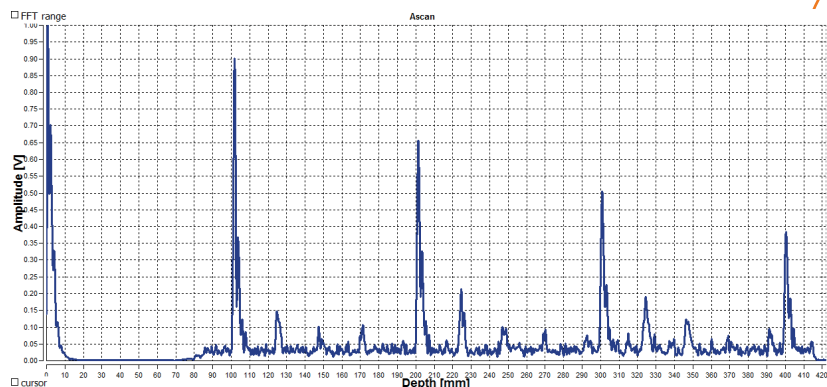
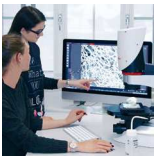


Abb. 2: Graph der Signalamplitude A über die kalkulierte Strecke s; Kupferzylinder 100 mm, 2 MHz Ein-Element-Ultraschallwandler.

Bei 100 mm (Hauptsignal), 200 mm, 300 mm und 400 mm sind die Longitudinalwellen sichtbar. Die Zwischensignale sind durch gleichzeitig auftretende Transversalwellen verursacht (→ **Versuch 2**).



Hightech bei Berzelius: Experimente im Einsatz

Vom 6. bis zum 10. November 2017 fand am Gymnasium St. Antonius in Appenzell die Technikwoche statt. Jeweils die 5. Klassen (Langzeitgymnasium) nehmen daran teil. Ziel ist es unter anderem, den angehenden Maturandinnen und Maturanden das technische Forschen und Denken näher zu bringen, um so den einen oder die andere für eine technische Studienrichtung zu motivieren. Um dieses Ziel zu erreichen eignen sich

die Experimentiermodule des Projekts Berzelius hervorragend.

In Appenzell war das Projekt Berzelius mit den Modulen: Highspeedkamera, Digitalmikroskop, XRF, Ultraschall, Photometrie und Beugung/Interferenz präsent. Mit ausgesprochen viel Elan und Wissensdurst arbeiteten die Schülerinnen und Schüler an den sechs Experimentierposten. Der Einsatz von sehr guten Labor- und Messgeräten

aus der Praxis sowie die Unterstützung durch das Berzelius-Team waren dabei eine grosse Hilfe und wurden von allen Seiten sehr geschätzt. Die abschliessenden Kommentare waren dann auch durchwegs positiv.

(H.S.)

Der → Berzelius Methoden- und Gerätepool stellt momentan folgende Experimentiermodule und Geräte zur Ausleihe bereit (bis drei Wochen Leihgabe: CHF 200.– (excl. MwSt.), jede zusätzliche Woche CHF 50.– (excl. MwSt.), → kostenfrei für Maturaarbeiten):

- → **Nanophotometrie**, Photometrie, UV- / Infrarot - / Raman- Spektroskopie, Röntgenfluoreszenzanalyse XRF, Reflektometrie, Refraktometrie, NEU: Radonmessgerät, Ultraschall
- Digitalmikroskopie, Lichtmikroskopie inkl. Mikrotom, Highspeedkamera, Wärmebildkamera
- Gaschromatografie GC, Ionenchromatografie IC, pH-Messung und Konduktometrie
- Interferenzbilder und Beugung, Ultraschallmessung, Dichtemessung, IR-Thermometer
- DNA-Analyse (PCR/Elektrophorese), Spiroergometrie, Mikrowellensynthese

Für Schulklassen werden folgende → Berzelius-Workshops angeboten:

- Lebensmittelanalytik, DNA-Fingerprinting, Mikroskopie
- Detaillierte Informationen und die Bestellformulare finden Sie auf → www.berzelius.ch

Sie haben Anregungen, Entwicklungsideen, Mitteilungen oder Fragen zu den Ausleihmöglichkeiten?

→ **Schreiben Sie uns!**

Wir freuen uns auf Ihre Ideen, Wünsche und Anregungen, wie wir die MINT-Kompetenzen unserer Schülerinnen und Schüler gemeinsam weiter stärken können.

berzelius@phsg.ch

Berzelius ist ein gemeinsames Projekt des [Instituts Fachdidaktik Naturwissenschaften](#) der PHSG und der [Metrohm Stiftung](#).



Die Berzelius-Webseite → www.berzelius.ch wird momentan weiter überarbeitet, denn in Zukunft soll sie nicht nur als statische Informations- und Ausleihplattform dienen. Viele öffentliche Diskussionen in aktuellen Medien berühren wissenschaftliche Fragen und Phänomene, die mit modernen Geräten und Modulen aus unserem Pool auf faszinierende und einfache Weise im Sek II Unterricht praktisch erarbeitet werden können. Wir möchten daher regelmässig solche aktuellen Bezüge auf unserer Webseite herausarbeiten.

