

Wichtige Informationen zum Versuch

Allgemeine Hinweise:

Diese Versuchsanleitung soll Ihnen gleichzeitig als Protokoll dienen. Die Anleitung ist so angelegt, dass Sie jeden Ihrer Schritte sowie alle Messwerte und Rechnungen an der gegebenen Stelle festhalten können. Heften Sie gegebenenfalls „Schmierzettel“ hinten an.

Alle Aufgaben sind so angelegt, dass Sie sich mit Ihrer Partnerin/Ihrem Partner austauschen und Überlegungen diskutieren.

Werden Sie darum gebeten, eine Vermutung anzustellen, geht es nicht primär um die „richtige“ Antwort; Sie sollen tatsächlich Ihre eigene Vorhersage notieren. Vermutungen werden in der Regel zu einem späteren Zeitpunkt in den Versuchsteilen noch einmal aufgegriffen und überprüft, sodass Ihnen am Ende auch die korrekte Antwort bekannt ist.

Symbole in der Anleitung:

	<u>Sicherheitshinweis:</u> Dieser ist sorgfältig zu lesen und <u>unbedingt zu befolgen</u> .
	Umbauanweisung
	Infobox
	Kontrollbox

Ziele des Versuchs:

Die Versuche sollen Ihnen Einblicke in die physikalischen Grundlagen der Sonographie ermöglichen. Während der Durchführung werden Sie

- I. Entfernungen mit Hilfe des Puls-Echo-Prinzips bestimmen
- II. die Schallgeschwindigkeit in einem Medium (Wasser) bestimmen
- III. das Reflexionsverhalten von Schallpulsen an verschiedenen Flächen und Körpern untersuchen

I. Zur Erinnerung

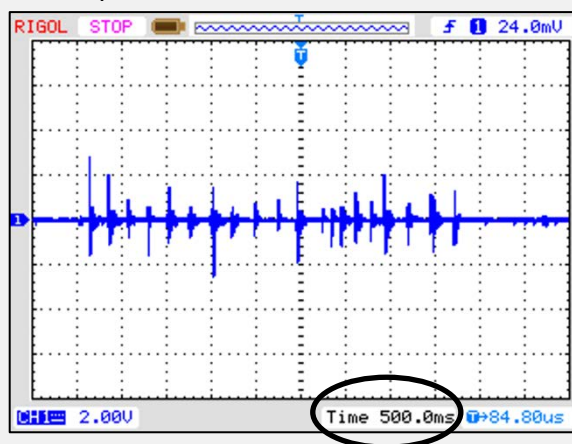


Schall, dessen Frequenz oberhalb der für den Menschen wahrnehmbaren liegt, wird Ultraschall genannt. Typischerweise wird die obere Grenze des Hörbereichs bei 20 kHz angegeben.

In der e-learning-Einheit haben Sie bereits kennengelernt, dass mit Hilfe eines Schallpulses und Echos Entfernungen zwischen Schallquelle und Reflexionsfläche bestimmt werden können. Dieses Verfahren wird unter anderem in der medizinischen Diagnostik (im Bereich der Ultraschalluntersuchung) verwendet. Hier wird allerdings neben der Entfernung zur Reflexionsfläche (auch Eindringtiefe bezeichnet) auch die Intensität des Echos zur Bildgebung herangezogen.

Die in einer Zeitspanne aufgenommenen Messwerte zu einem zeitlich veränderbaren Ereignis oder zusammenhängender Ereignisse können in einem Zeit-Messwert-Diagramm dargestellt werden.

EKG's, Fieberkurven, Sonogramme, Oszillogramme und viele mehr sind solche Diagramme. Im Oszillogramm entspricht eine Kästchenbreite einer bestimmten Zeitspanne. Diese wird Zeitbasis genannt. Der eingestellte Wert der Zeitbasis kann im Display unten rechts abgelesen werden. Diesem Wert entspricht die Breite eines Kästchens.



Vervollständigen Sie nachfolgende „Je..., desto...“-Regel zum Zusammenhang zwischen dem Abstand zweier Spitzen und der Zeitspanne, die zwischen den Ereignissen liegt.

Je mehr Kästchen zwischen zwei Spitzen liegen, desto ...

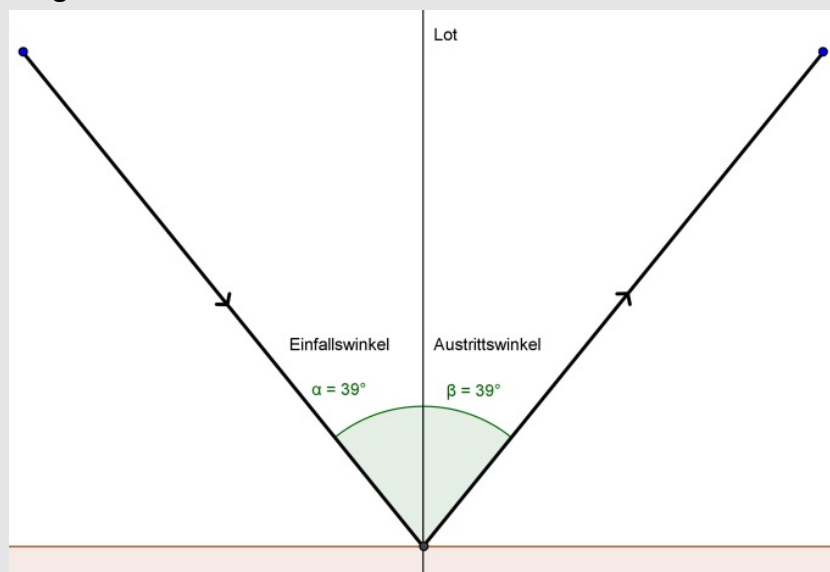


Durch diesen Versuch werden Sie sich mit dem Themenfeld des Schalls beschäftigen. In der Vorlesung Physik für Mediziner wurde dieses Themenfeld bereits behandelt.

Physikalisch ist Schall eine mechanische Schwingung, die sich als Welle ausbreitet. Damit Schall entstehen kann, muss ein Medium (Luft, Wasser, Feststoff etc.) durch äußere Einwirkung in Schwingung versetzt werden. Dabei schwingen Moleküle des Mediums um ihre Ruhelage. In der Realität nimmt die Amplitude (Auslenkung aus der Ruhelage) einer mechanischen Schwingung aufgrund von Reibung mit der Zeit ab. Daher hört sich eine Schallquelle lauter an, je näher wir ihr sind.

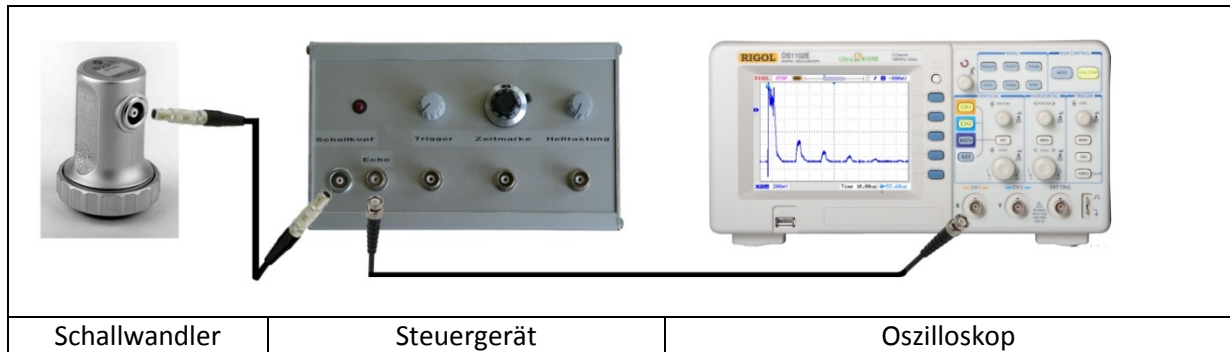
Ähnlich wie elektromagnetische Wellen (bspw. Licht) verhalten sich auch Schallwellen bei dem Übergang von einem Medium in ein anderes. Trifft eine Schallwelle auf die Grenzschicht zwischen zwei Medien, kann sie teilweise oder total reflektiert, sowie gestreut werden. Wird sie nur teilweise reflektiert, dringt der nicht reflektierte Teil der Schallwelle in das zweite Medium ein und wird an der Grenzfläche gebrochen.

Für die Reflexion gilt: Austrittswinkel = Einfallswinkel



II. Der Versuchsaufbau „Ultraschall“

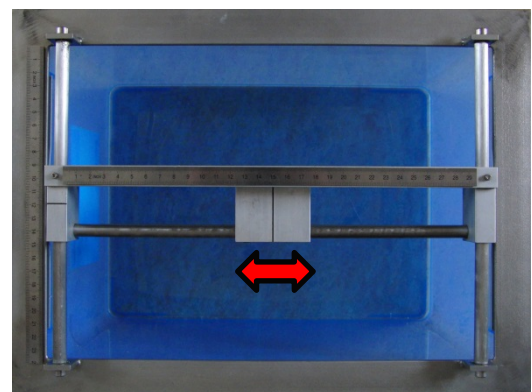
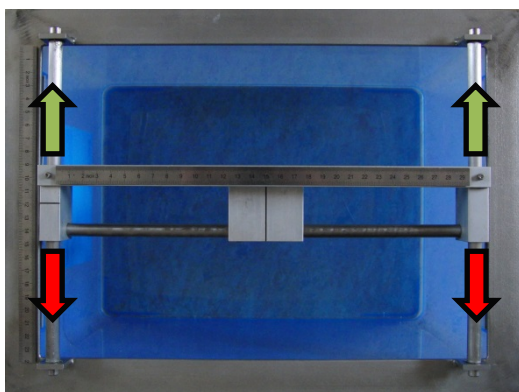
Dem Versuchsaufbau liegt das Puls-Echo-Verfahren zu Grunde, wobei der Schallwandler die Schallquelle und das Mikrofon in einem Gerät vereinigt. Das Steuergerät sendet ein elektrisches Signal an den Schallwandler, der dieses in eine mechanische Schwingung wandelt. Das Signal ist so gewählt, dass der Schallwandler einen *Schallpuls* aussendet. Trifft der Schallpuls so auf eine Grenzfläche, dass ein Teil zum Schallwandler zurück reflektiert wird, nimmt dieser das *Echo* auf und wandelt es wieder in ein elektrisches Signal um.



Beide Signale, das des Pulses und das des Echos, werden im Oszilloskop dargestellt. Dabei kann jede Spitze (auch *Peak* genannt) genau einem Signal zugeordnet werden. Der größte Peak (bzw. der erste von mehreren gleichhohen) entspricht immer dem ausgesendeten Puls. Dieser Peak wird *Eigenecho* genannt.

Da der Schallwandler den Schallpuls nahezu senkrecht nach unten sendet, kann durch die Kleinwinkelnäherung angenommen werden, dass der Schallweg von Aussenden bis zur Reflexionsfläche gleich dem Abstand von Schallwandler zur Reflexionsfläche ist.

Während der Durchführung müssen Sie häufig das Raster auf dem Becken verschieben, damit verschiedene Objekte beschallt werden.



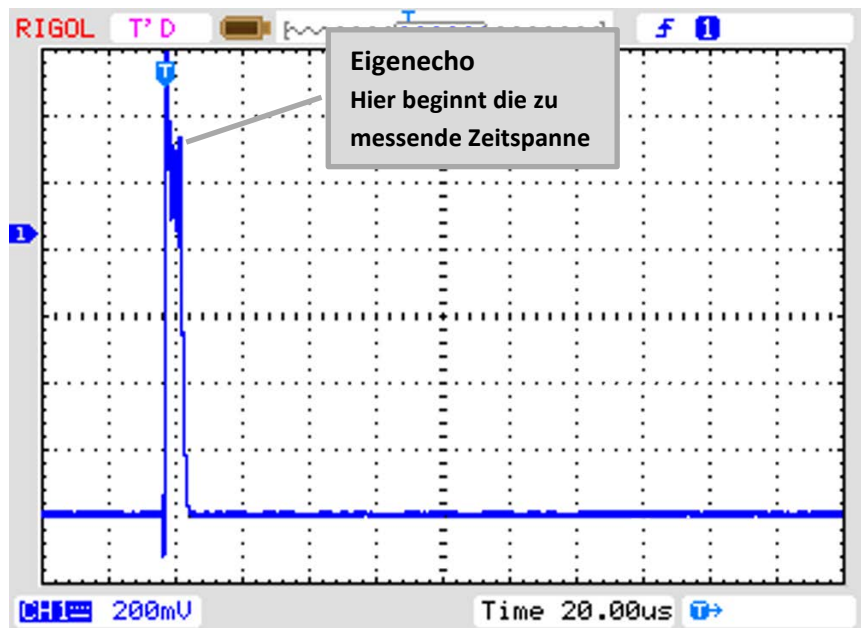
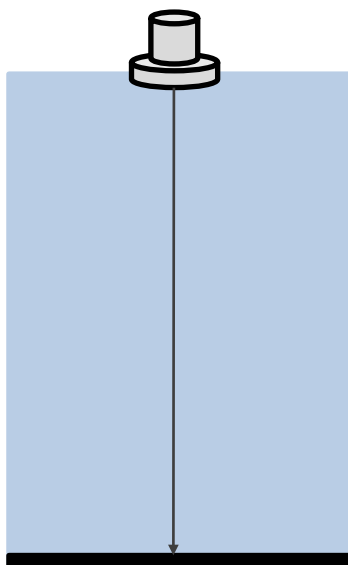
III. Schallgeschwindigkeit in Wasser

Um in den folgenden Versuchen die Oszillogramme (Sonogramme im Amplituden Modus) deuten zu können, ist es notwendig, die Schallgeschwindigkeit in Wasser einzubeziehen.



Verschieben Sie das Raster so, dass der Schallwandler über Feld 1 hängt.

Zeichnen Sie (unten links) den Weg eines Schallpulses ein, den er nach Auftreffen auf die Reflexionsfläche zurücklegen wird.



Schalten Sie nun das Oszilloskop und das Steuergerät ein.

Es sollten zwei Peaks zu erkennen sein. Wodurch wird der zweite Peak hervorgerufen?

Versuchen Sie den Graphen im Sonogramm in das Koordinatensystem (oben) möglichst genau zu übertragen.

Ermitteln Sie den Abstand (in Kästchen) der beiden Peaks und errechnen Sie daraus den zeitlichen Abstand von Puls und Echo (Laufzeit). Tragen Sie die Werte auf der nächsten Seite ein.

Abstand in Kästchen	
ein Kästchen entspricht (Zeitbasis)	TIME =
Zeitlicher Abstand (Laufzeit)	$\Delta t =$

Tauchen Sie das Lineal in das Becken und messen Sie damit den Abstand zwischen Schallwandler und Wannenboden.

Abstand zwischen Schallwandler und Wannenboden (Eindringtiefe)	$E =$
Weg, den der Schallpuls von Aussenden bis Empfangen zurückgelegt hat	$s =$

Tipp: Beachten Sie, dass der Abstand des Schallwandlers zum Objekt nicht gleich dem zurückgelegten Weg des Schalls ist.

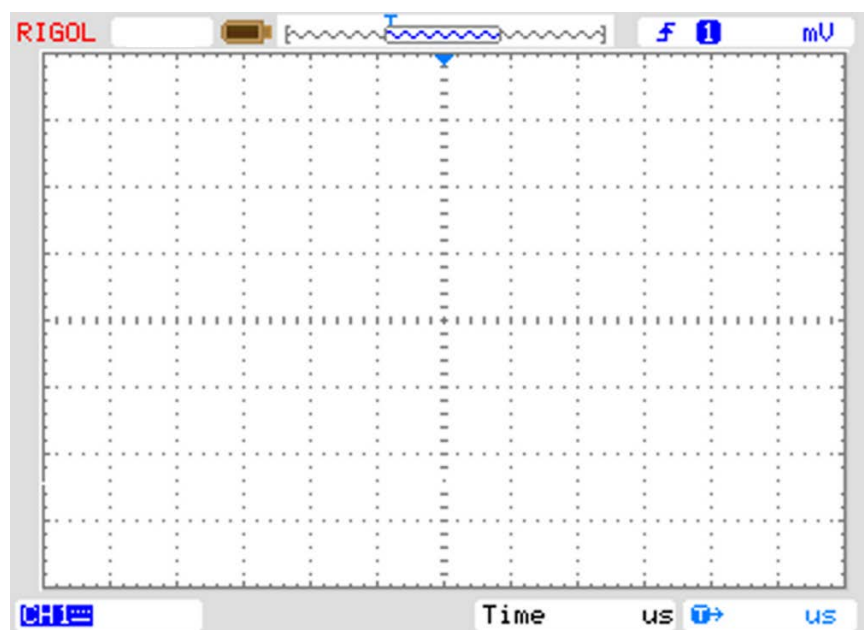
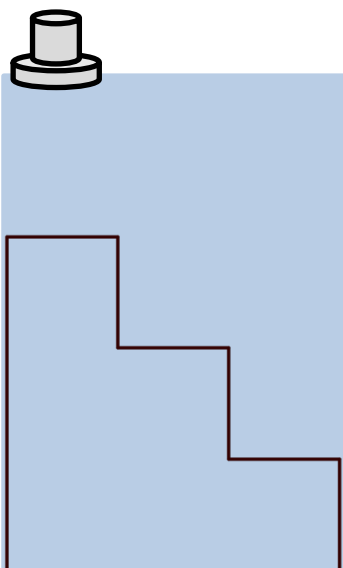
Berechnen Sie aus den von Ihnen bestimmten Werten die Schallgeschwindigkeit in Wasser.

$c_{\text{Wasser}} = \frac{s}{t}$	
-----------------------------------	--

IV. Treppenstufen



Verschieben Sie nun den Schallwandler so, dass dieser über der höchsten Treppenstufe des Feldes 2 hängt. Verändern Sie keine Einstellung des Oszilloskops, da sonst die Bilder wegen der verschiedenen Skalierung nicht einfach vergleichbar sind.



Zeichnen Sie (auf der vorherigen Seite) den Weg eines Schallpulses ein, den er zwischen Aus-senden und Empfangen zurückgelegt hat.

Übertragen Sie den Graphen aus dem Sonogramm in das Koordinatensystem.

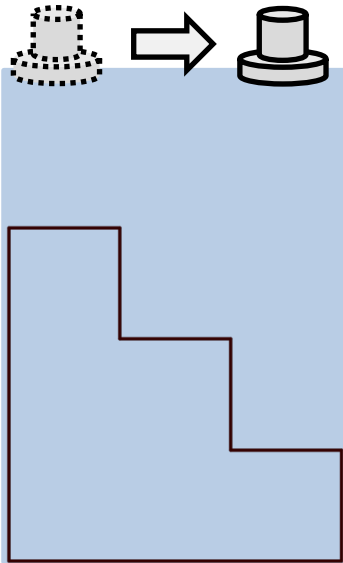
Berechnen Sie über die Laufzeit und die von Ihnen bestimmte Schallgeschwindigkeit den Abstand zwischen Schallwandler und höchster Treppenstufe.

$$s = c_{\text{Wasser}} \cdot t$$

$$\text{Abstand}_{\overline{ST}} = \underline{\hspace{10em}} \quad \underline{\hspace{10em}}$$

Überprüfen Sie Ihr Ergebnis, indem Sie den Abstand mit dem Lineal messen.

Verschieben Sie nun den Schallkopf über die verschiedenen Treppenstufen.



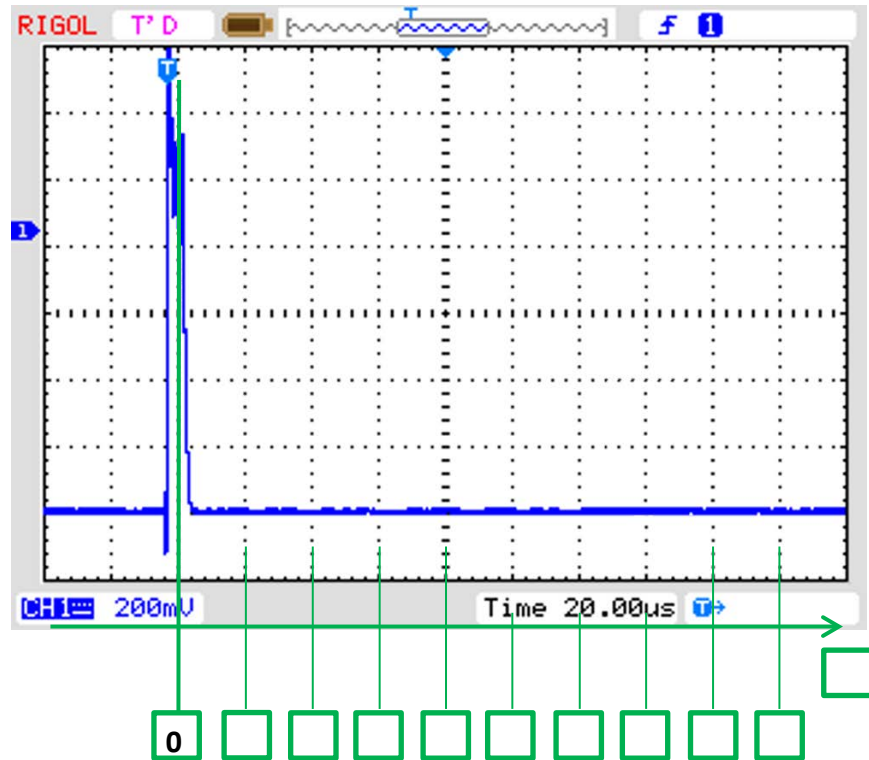
Beschreiben Sie die Veränderung der Lage des / der Peaks im Sonogramm (die Höhe der Peaks spielt hier keine Rolle).

Formulieren Sie eine „Je..., desto...“-Regel zum Zusammenhang zwischen der Änderung des zeitlichen Abstandes von Puls und Echo und der Entfernung der Reflexionsfläche zum Schallwandler.

Welchem Abstand (nicht zurückgelegter Weg des Schalls) zwischen Schallwandler und Reflexionsfläche entspricht die Breite eines Kästchens im Sonogramm?

 cm

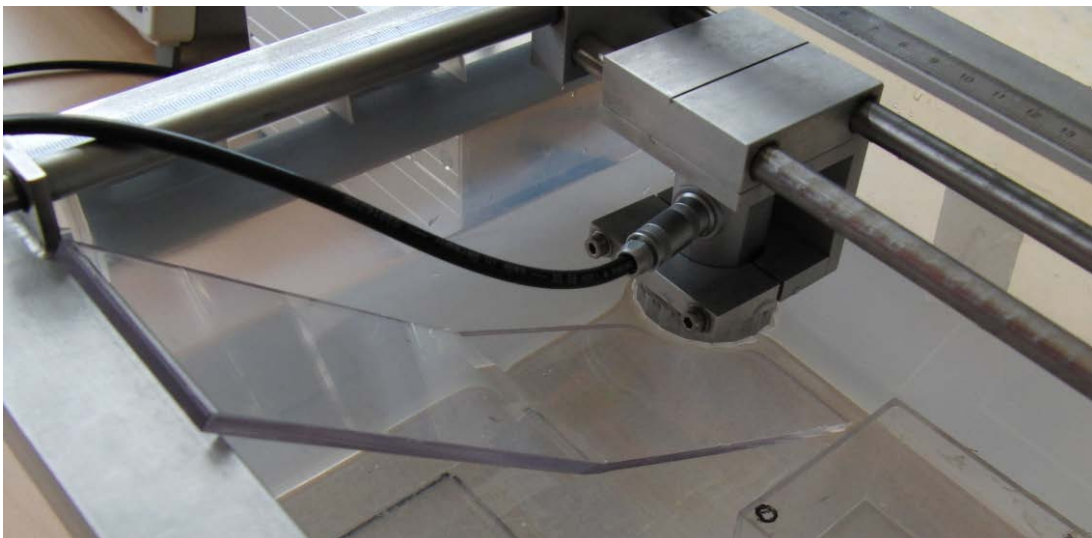
Beschriften Sie die im nebenstehen Sonogramm zusätzlich eingezeichnete X-Achse.

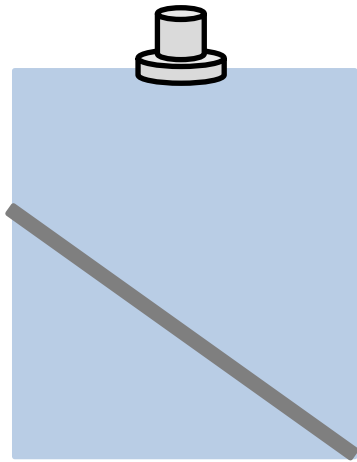


Schalten Sie nun das Oszilloskop aus!

Nehmen Sie die Treppenstufen aus dem Becken.

Legen Sie die rechteckige Plexiglasscheibe so unter dem Schallwandler in das Becken, dass eine kurze Seite noch auf dem Beckenrand aufliegt (Siehe unten stehendes Bild).





Zeichnen Sie links den Weg eines Schallpulses ein, den er nach Aussenden zurücklegen wird.

Stellen Sie eine Vermutung an, was auf dem Sonogramm zu erkennen sein wird.

Tipp: Wenn Sie sich nicht sicher sind, schlagen Sie in der Infobox auf Seite 3 nach.

Schalten Sie das Oszilloskop ein!

Welche Lage muss eine Reflexionsfläche zum Schallwandler aufweisen, damit durch diese ein Echo detektiert werden kann?

Beschreiben Sie das Sonogramm, das entstehen würde, wenn eine perfekte Kugel beschallt würde. Geben Sie auch eine Begründung an.



Um Ihre Vermutungen zu überprüfen, lassen Sie sich bitte die „Kontrollbox 1“ geben. Diskutieren Sie gegebenenfalls gemeinsam Ihre Vermutung.

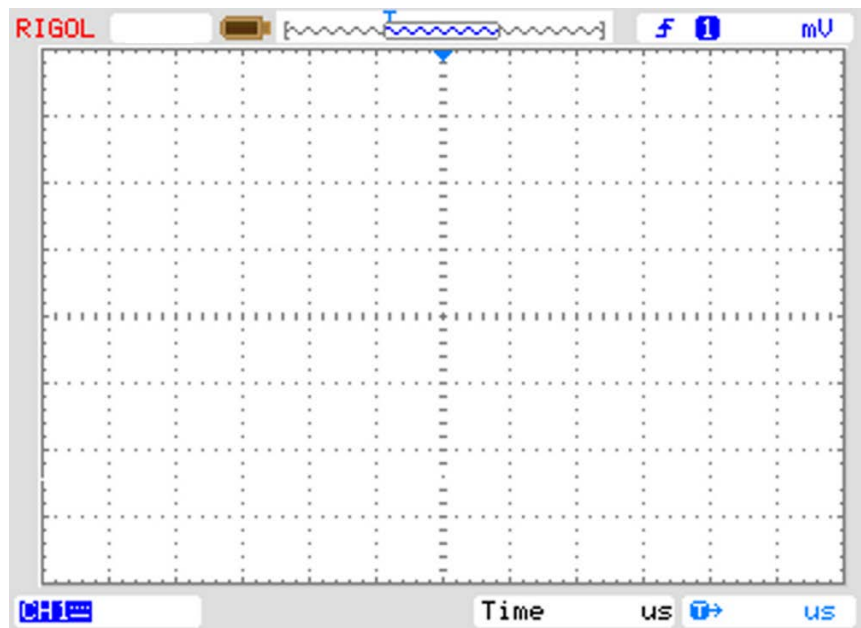
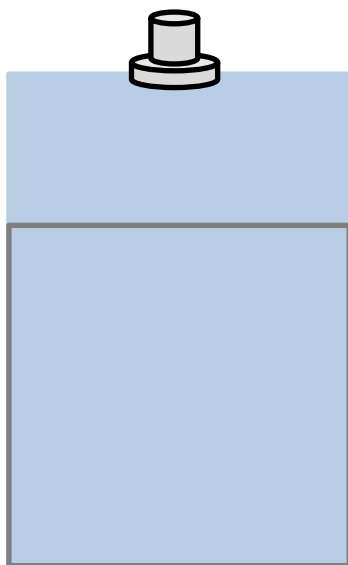
V. Mit Wasser gefüllter Plexiglaswürfel



Schalten Sie das Oszilloskop aus!

Verschieben Sie nun den Schallwandler so, dass dieser mittig über dem mit Wasser gefüllten Plexiglaswürfel des Feldes 3 hängt.

Zeichnen Sie (unten links) den Weg des Schallpulses ein, den er zwischen Aussenden und Empfangen zurücklegen wird.



Schalten Sie das Oszilloskop ein.

Übertragen Sie den Graphen aus dem Sonogramm in das obere Koordinatensystem

Ordnen Sie dem von Ihnen eingezeichneten „Schallweg“ die entsprechende Laufzeit von Puls bis Echo zu und markieren Sie diese im Sonogramm.

Stellen Sie eine Vermutung an, weshalb zwei Echos vom Schallwandler detektiert werden.

Tipp: Sie können dazu die Infobox auf Seite 2 nachschlagen.

Ordnen Sie den Echos die jeweils zugehörige reflektierende Grenzfläche zu.

Bestimmen Sie mit Hilfe der Laufzeiten den Abstand des Würfels zum Schallwandler sowie die Höhe des Würfels.

Tipp: Schlagen Sie auf Seite 8 den Zusammenhang zwischen Abstand und Laufzeit nach.

$s = c_{\text{Wasser}} \cdot t$	
---------------------------------	--

Abstand $\overline{s_{W1}}$ _____

$h_W =$	
---------	--

$h_{W1} =$ _____

Stellen Sie eine Vermutung an, wie mehrere Echos und zugehörige Berechnungen in der Ultraschalldiagnostik Verwendung finden.

--



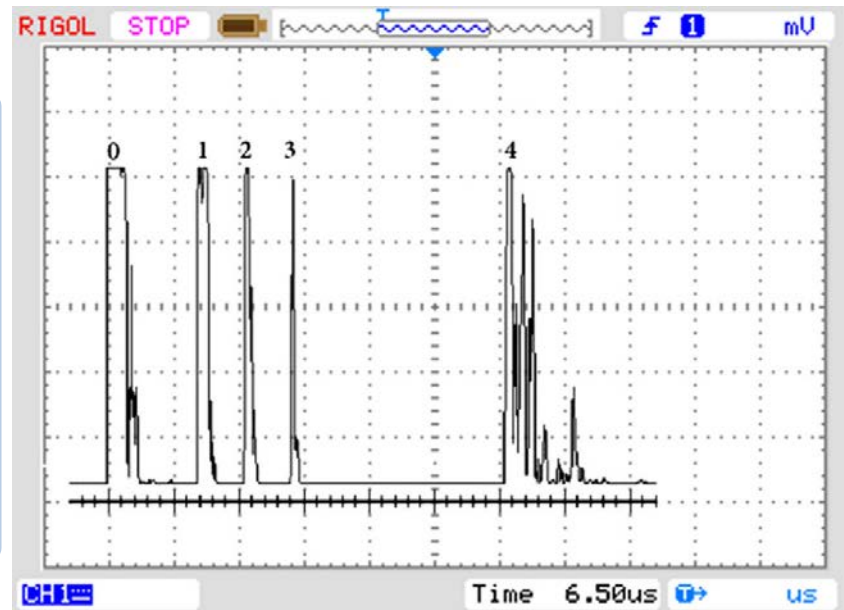
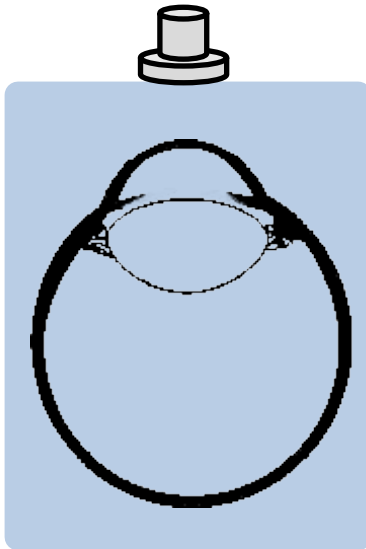
Um Ihre Vermutungen zu überprüfen, lassen Sie sich bitte die „Kontrollbox 2“ von Ihrem Betreuer geben. Diskutieren Sie gegebenenfalls gemeinsam Ihre Vermutung.

VI. Sonogramm eines menschlichen Auges

Nehmen Sie an, sie haben folgendes Sonogramm eines menschlichen Auges durch Sonographie im Amplituden Modus erhalten.



Achtung! Nicht mit dem vorliegenden Ultraschallgerät nachahmen!



Zeichnen Sie (oben links) in das zweidimensionale Schnittbild den Weg / die Wege eines Schallpulses ein, den / die er zwischen Aussenden und Empfangen zurücklegen wird.

Ordnen Sie den Peaks 0 bis 4 die jeweilige reflektierende Grenzfläche zu.

Nehmen Sie dazu an, das Auge bestünde aus Netzhaut, Hornhaut und dicker Linse.

Tipp: Nutzen Sie für die Zuordnungen Ihre Erkenntnisse und Informationen aus II, III und IV.

0	
1	
2	
3	
4	

Bestimmen Sie die Dicke der Linse.

Nehmen Sie für die Schallgeschwindigkeit in Weichgewebe $c = 1540 \text{ m/s}$ an.

VII. Bilderstellung eines B-Bildes

Die bekanntesten Sonogramme sind solche, auf denen beispielsweise ein Fötus im Mutterleib zu erkennen ist. Diese Art von Sonogramm wird B-Bild genannt (Brightness-Mode). Einem solchen B-Bild liegen viele A-Bilder zu Grunde, aus denen das B-Bild berechnet wird.

Jedes B-Bild wird Zeile für Zeile aufgebaut und jede Zeile wird durch ein A-Bild definiert. Jedem Peak des A-Bildes wird entsprechend seiner Intensität ein Graupunkt zugeordnet; wobei hohe Intensität heller Bildpunkt bedeutet. Bereiche, in denen kein Echo detektiert wird, werden schwarz gefärbt. (Siehe dazu Abb. 1)

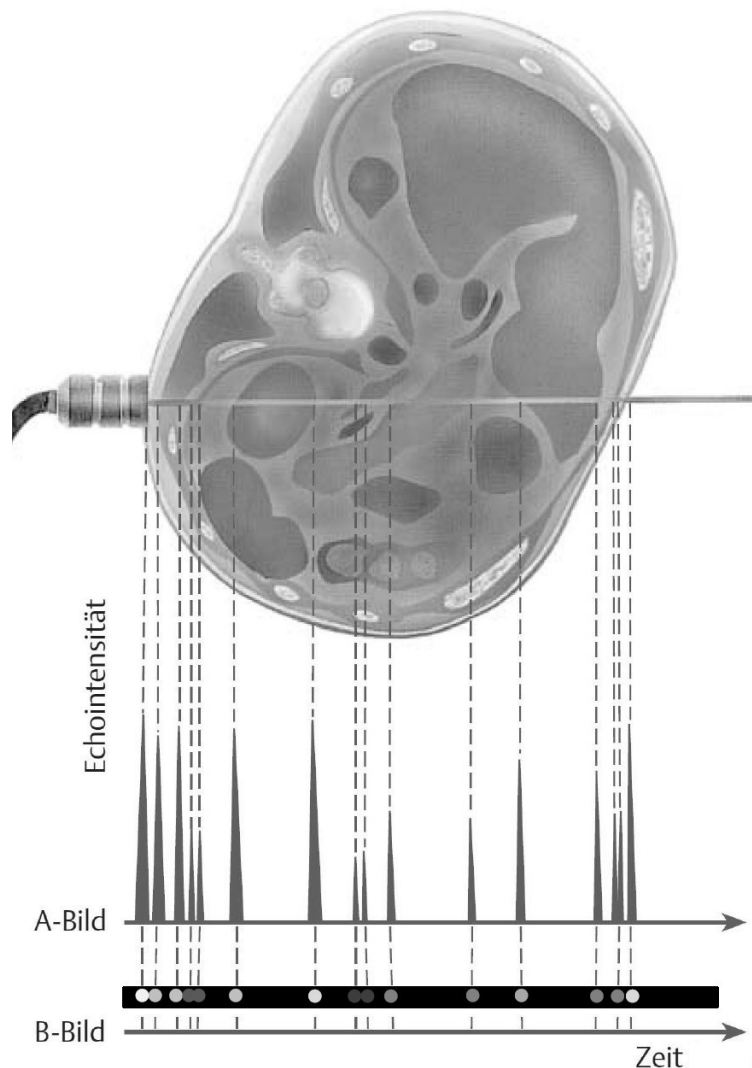


Abb. 1: Schematische Darstellung der Bildentstehung

Die in der medizinischen Diagnostik üblicherweise verwendeten Schallköpfe (auch Sonde genannt) beinhalten viele nebeneinander angeordnete Schallwandler. Dies ermöglicht, dass gleichzeitig viele Schallpulse abgegeben und entsprechend viele A-Bilder aufgenommen werden, die im Ultraschallgerät zu einem B-Bild zusammengesetzt werden.

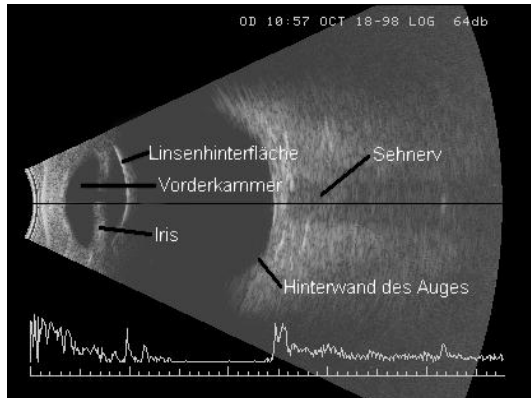
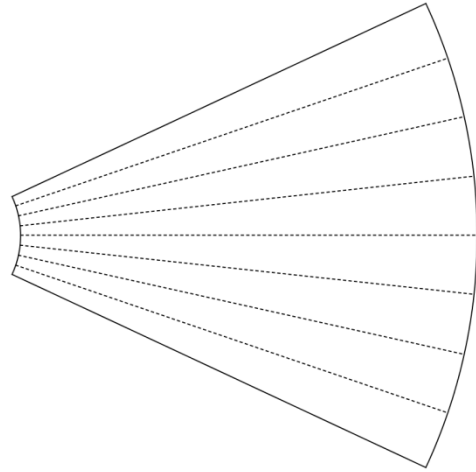
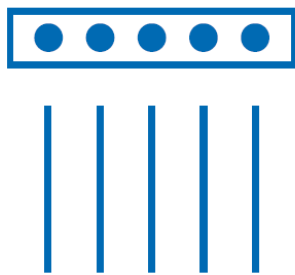


Abb. 2: Sonogramm eines Auges

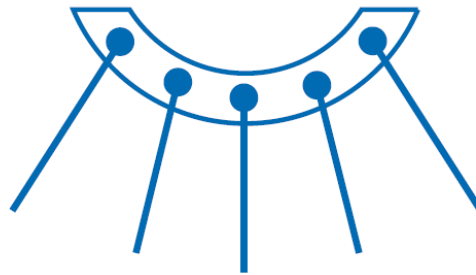


Im obigen Sonogramm ist im unteren Bereich ein A-Bild dargestellt. Aus diesem A-Bild würde die mittlere noch schwarze Zeile in Graustufen dargestellt.

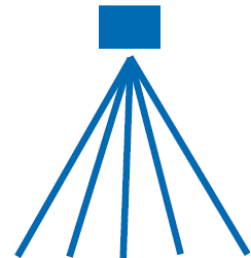
Je nach Anwendungsbereich werden verschiedene Sondentypen verwendet. Nachfolgende Abbildung zeigt schematisch den Scanbereich drei häufig verwendeter Sonden.



Linearsonde



Konvexsonde



Sektorsonde

Abb. 3: Scanbereich der unterschiedlichen Sondentypen

Welche Sonde wurde für das Sonogramm in Abb. 2 verwendet?

Wo wird diese Art der Sonden häufig verwendet?

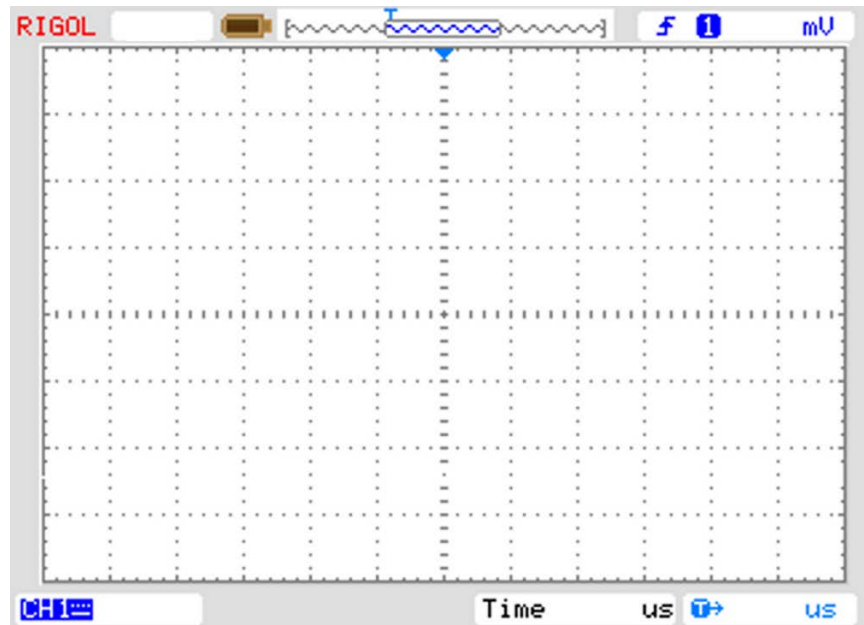
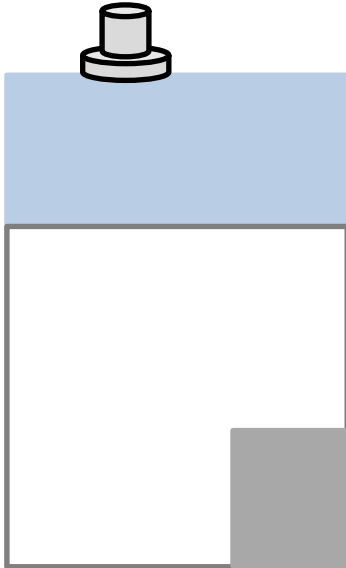
Bei welchem Sondentyp muss die Reflexionsfläche nahezu parallel zur Sonde liegen?

Mit Luft gefüllter Plexiglaswürfel



Schalten Sie das Oszilloskop aus!

Verschieben Sie nun den Schallwandler so, dass dieser nur über dem mit Luft gefüllten Plexiglaswürfel des Feldes 4 hängt (nicht über dem kleinen Würfel).



Zeichnen Sie (oben links) den Weg / die Wege eines Schallpulses ein, den / die er zwischen Aussenden und Empfangen zurücklegen wird.

Schalten Sie das Oszilloskop ein.

Übertragen Sie den Graphen aus dem Oszillogramm in das obere Koordinatensystem.

Ordnen Sie die Peaks (und damit die Laufzeiten) den entsprechenden „Schallwegen“ zu.

Berechnen Sie dazu die Eindringtiefe des Schallsignals, bis es zum ersten Mal reflektiert wird.

$s = c_{\text{Wasser}} \cdot t$	
---------------------------------	--

Eindringtiefe = _____

Überprüfen Sie die errechnete Eindringtiefe, indem Sie mit dem Lineal nachmessen.

Um welche Grenzfläche handelt es sich? _____

Stellen Sie eine Vermutung an, weshalb weitere Echos nicht am Wannenboden reflektiert worden sein können.

Tipp: Nach welcher Laufzeit müsste das Echo, das auf den Wannenboden als Reflexionsfläche schließen lässt, liegen?

Stellen Sie eine Vermutung an, wodurch die weiteren Echos hervorgerufen wurden?
Versuchen Sie Ihre Vermutungen zu begründen.

Tipp: Vergleichen Sie die Abstände der Echos untereinander. Könnte ein Echo am Schallwandler erneut reflektiert werden?



Verschieben Sie den Schallwandler, sodass er senkrecht über dem im Plexiglaswürfel liegenden Metallwürfel hängt.

Beschreiben Sie die Veränderung der Lage des/der Peaks im Oszillogramm. Achten Sie darauf, ob ein weiterer Peak sichtbar wird, durch den auf die Reflexionsfläche des kleinen Würfels geschlossen werden kann (Höhe der Peaks spielt hier keine Rolle).

Stellen Sie eine Vermutung an, welche Auswirkungen dieses Phänomen auf ein Sonogramm in der medizinischen Diagnostik haben könnte.



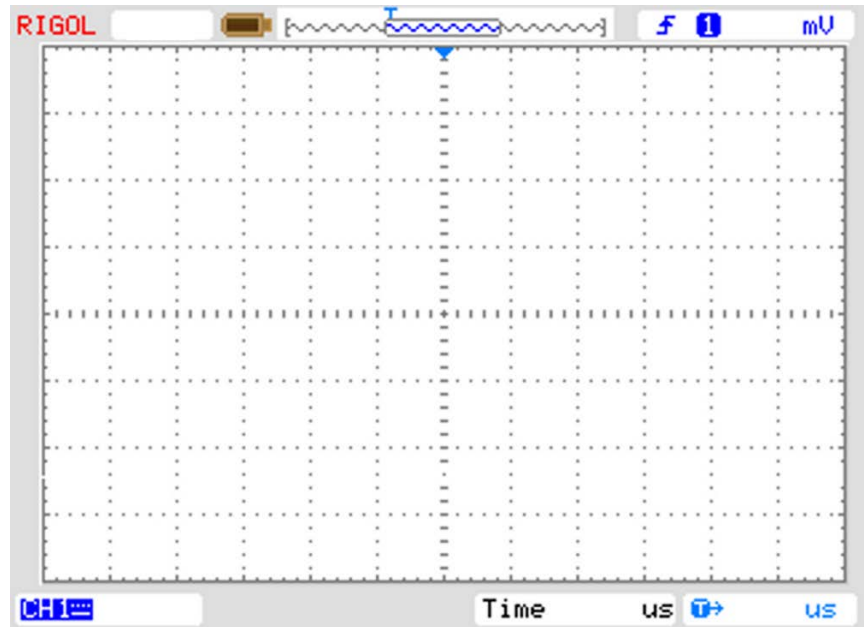
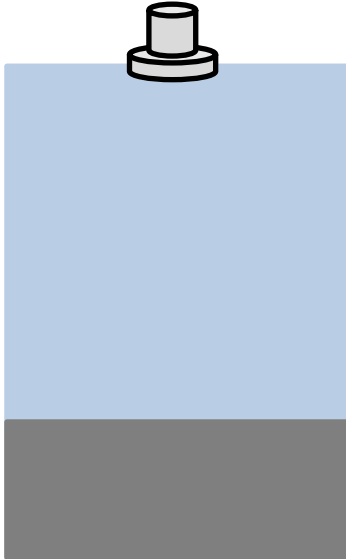
Um Ihre Vermutungen zu überprüfen, lassen Sie sich bitte die „Kontrollbox 3“ geben. Diskutieren Sie gegebenenfalls gemeinsam Ihre Vermutungen.

Aluminiumquader



Schalten Sie das Oszilloskop aus!

Verschieben Sie nun den Schallwandler so, dass dieser mittig über dem Aluminiumquader des Feldes 5 hängt.



Zeichnen Sie (oben links) den Weg / die Wege eines Schallpulses ein, den er zwischen Aus-senden und Empfangen zurücklegen wird.

Schalten Sie das Oszilloskop ein.

Übertragen Sie den Graphen aus dem Oszillogramm in das obere Koordinatensystem.

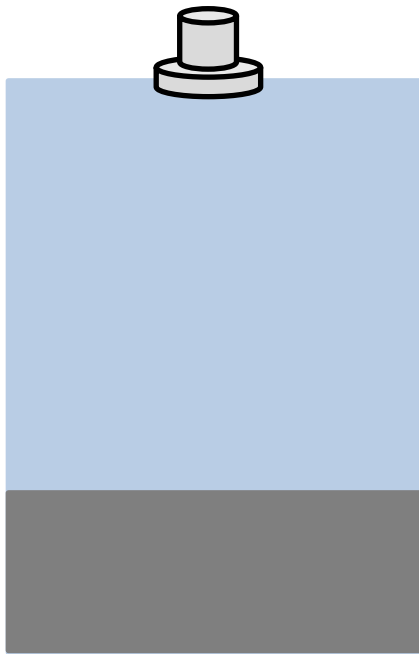
Ordnen Sie die Peaks (und damit die Laufzeiten) den entsprechenden „Schallwegen“ zu.

Bestimmen Sie dazu die Eindringtiefe des Schallsignals, bis reflektiert wird.

$s = c_{\text{Wasser}} \cdot t$	
---------------------------------	--

Stellen Sie eine Vermutung an, weshalb mehrere Echos vom Schallwandler detektiert werden.

Tipp: Vergleichen Sie die Abstände zwischen den Mehrfachechos. Unterscheidet sich dieses Oszillogramm von dem des mit Luft gefüllten Würfels?



Zeichnen Sie (links) passend zu Ihrer Vermutung den Weg / die Wege eines Schallpulses ein, den / die er zwischen Aus-senden und Empfangen zurücklegen wird.

Stellen Sie eine Vermutung an, welche Auswirkungen dieses Phänomen auf ein Sonogramm in der medizinischen Diagnostik haben könnte.



Um Ihre Vermutungen zu überprüfen, lassen Sie sich bitte die „Kontrollkarte 4“ geben. Diskutieren Sie gemeinsam Ihre Vermutung.

Alles klar?

Lassen Sie sich das „Phantom“ geben und finden Sie heraus, welche Objekte dort eingegossen sind.

Tipp:

Nutzen Sie die von Ihnen bisher aufgenommenen Sonogramme der verschiedenen Felder.

Abschluss

**Herzlichen Glückwunsch, Sie haben den Versuch 6 B „Ultraschall“
erfolgreich bearbeitet.**

Heften Sie Ihre „Schmierzettel“ sowie Ihre Vorbereitungsdokumentation hinten an
und geben Sie Ihr Protokoll bei Ihrer Betreuerin/Ihrem Betreuer ab.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!