



# HSB

Hochschule Bremen  
City University of Applied Sciences

## Labor für Technische Akustik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus

### Versuch 7a:

### Bestimmung der Dämpfung von Schallwellen in Flüssigkeiten



**Abbildung 1:** Experimenteller Aufbau zur Bestimmung der Dämpfung von Schallwellen in Flüssigkeiten.

## 1. Versuchsziel

In diesem Versuch wird die Dämpfung von Schallwellen in verschiedenen Flüssigkeiten in Abhängigkeit vom Schallweg untersucht und der Absorptionskoeffizient in der jeweiligen Flüssigkeit bestimmt.

## 2. Theoretische Grundlagen

Bei der Ausbreitung in Flüssigkeiten erfährt eine Schallwelle eine Dämpfung durch Absorption (Energieumwandlung)  $D_{Abs}$ , Reflexion  $D_{Ref}$ , Streuung  $D_{Streu}$  oder die Geometrie  $D_{Geo}$  des Schallfelds. Für die gesamte Dämpfung gilt

$$D_{Gesamt} = D_{Abs} \cdot D_{Ref} \cdot D_{Streu} \cdot D_{Geo} \quad (1)$$

Für viele Flüssigkeiten können die Reflexion und Streuung vernachlässigt werden. Der Einfluss der Schallfeldgeometrie kann durch eine Vergleichsmessung in Wasser, bei der für niedrige Frequenzen die Absorption vernachlässigbar ist, abgeschätzt werden. Für die Abschwächung der Intensität einer Schallwelle gilt

$$I(x) = I_0 e^{-2\alpha x}, \quad (2)$$

wobei  $I_0$  die Ausgangsintensität,  $x$  den Schallweg in der Flüssigkeit und  $\alpha$  den Absorptionskoeffizienten bezeichnet. Durch Umstellen der Gleichung (1) und unter Berücksichtigung, dass die Intensität  $I(x)$  proportional dem Quadrat der Amplitude  $A(x)$  des Schalldrucks am Ort  $x$  ist, ergibt sich für die Messung zweier unterschiedlicher Weglängen mit  $x_1 > x_2$  folgende Gleichung für den Absorptionskoeffizienten

$$\alpha = \frac{1}{x_1 - x_2} \ln\left(\frac{A(x_2)}{A(x_1)}\right), \quad [\alpha] = \frac{\text{Np}}{\text{m}}, \quad \text{bzw.} \quad \alpha = \frac{8,686}{x_1 - x_2} \ln\left(\frac{A(x_2)}{A(x_1)}\right), \quad [\alpha] = \frac{\text{dB}}{\text{m}}, \quad (3)$$

wobei  $1 \text{ Np} = 20 \lg(e) \text{ dB} \approx 8,686 \text{ dB}$  entspricht. Mit einem verschiebbaren Reflektor lassen sich in Flüssigkeiten die Amplituden der reflektierten Schallwellen leicht für unterschiedliche Weglängen messen. Werden die an den Messpunkten mit den Weglängen  $x_i$  für  $i = 1, \dots, n$  gemessenen Amplitudenwerte  $A(x_i)$  gemäß

$$y(x_i) = 8,686 \cdot \ln\left(\frac{A(x_0)}{A(x_i)}\right) = \alpha(x_i - x_0), \quad [\alpha] = \frac{\text{dB}}{\text{m}}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

über den Weglängen aufgetragen, so kann der Absorptionskoeffizient  $\alpha$  vereinfacht mit Hilfe einer linearen Regression entsprechend der Geraden  $y = ax + b$  ermittelt werden, wobei  $A(x_0)$  die Amplitude am Referenzmesspunkt mit der kürzesten Weglänge  $x_0$  angibt.

Die Schallgeschwindigkeit lässt sich bei bekannter Weglänge  $x$  und gemessener Schalllaufzeit  $\tau$  durch

$$c = x/\tau \quad (5)$$

berechnen.

### 3. Versuchsaufbau, Geräteeinstellungen und Software

#### Geräte

**Hinweis:** Lesen Sie bitte vor der Inbetriebnahme des Ultraschallechoscops die Sicherheitshinweise in der Bedienungsanleitung des Geräts.

**Tabelle 1:** Geräte und Materialien

Anzahl	Bezeichnung	Identifikationsnummer
1	Ultraschallechoskop GAMPT-Scan	10121
2	Ultraschallsonde 2 MHz	10132
1	Aluminium-Probe für Transversalwellen	10213
1	Ultraschallgel	10200
1	Transversalwellenset	10210

Bauen Sie den Versuch entsprechend Abb. 2 auf. Verbinden Sie das Ultraschallechoskop über ein USB-Kabel mit Ihrem Computer. Im Versuch führen Sie Messungen sowohl im Transmissions- als auch im Reflexionsverfahren aus.



**Abbildung 2:** Versuchsaufbau



**Abbildung 3:** 2 MHz Ultraschallsonde (rote Codierung)

## Probenwanne

In diesem Versuch wird eine Kunststoff-Probewannen als Behälter für die zu untersuchenden Flüssigkeiten verwendet. Die Ankopplung der Schallwandler (Abbildung 3) an die Probenwanne erfolgt mit einem Koppelgel ohne Einschluss von Luftblasen.

## Ultraschallechoskop GAMPT-Scan

### Transmissionsmessung:

Für das Transmissionsverfahren benötigen Sie zwei Schallwandler gleicher Frequenz (2 MHz).

Schließen Sie einen der beiden Wandler als Sender an der Buchse des TRANSMITTER-Moduls mit der Bezeichnung „PROBE (Transmission)“, s. Abbildung 4 a) und den zweiten Wandler als Empfänger an der Buchse des RECEIVER-Moduls mit der Bezeichnung „PROBE (Reflection)“, s. Abbildung 4 b), an.

Stellen Sie den Kippschalter im RECEIVER-Modul für die Transmissionsmessung in Position „TRANS.“, s. Abbildung 4 c).



**Abbildung 4:** Receiver und Transmitter Modul

### Reflexionsmessung:

Für die Amplitudenmessungen im Reflexionsverfahren benötigen Sie nur den an der Buchse des RECEIVER-Moduls angeschlossenen Schallwandler. Stellen Sie den Kippschalter für diese Messungen in die Position „REFLEC.“ Der Schallwandler arbeitet dann sowohl als Sender wie auch als Empfänger.

**Hinweis:** Bei der Reflexionsmessung ist der Weg hin zum Reflektor und zurück zum Wandler zu betrachten. Dies wird jedoch bereits von der „AScan“-Software erkannt und somit stimmt der in der graphischen Oberfläche der Software angezeigte Weg, mit dem eingestellten Abstand von Wandler zu Reflektor überein. Aus diesem Grund, ist der Faktor „2“ bereits in den Gleichungen (2), (3) und (4) enthalten.

In Abbildung 5 ist das TIMER-TGC-Modul für die tiefenabhängige Verstärkung (Time Gain Control, TGC) dargestellt.

Funktionen der einzelnen Drehknöpfe:

- "THRESHOLD"-Drehknopf: Schwellwert der Verstärkung
- "WIDE"-Drehknopf: Einstellung verstärkender Bereich
- "SLOPE"-Drehknopf: Zeitliche Erhöhung der Verstärkung
- "START"-Drehknopf: Einstellung des Startpunktes der Verstärkung



**Abbildung 5:** TIMER-TGC-Modul.

Entfernen Sie umgehend nach der Versuchsdurchführung bzw. Benutzung das Gel von der Probenwanne und den Schallwandlern, um ein Eintrocknen zu verhindern. Verwenden Sie zum Reinigen Leitungswasser. Vermeiden Sie mechanische Beschädigungen der Oberflächen.

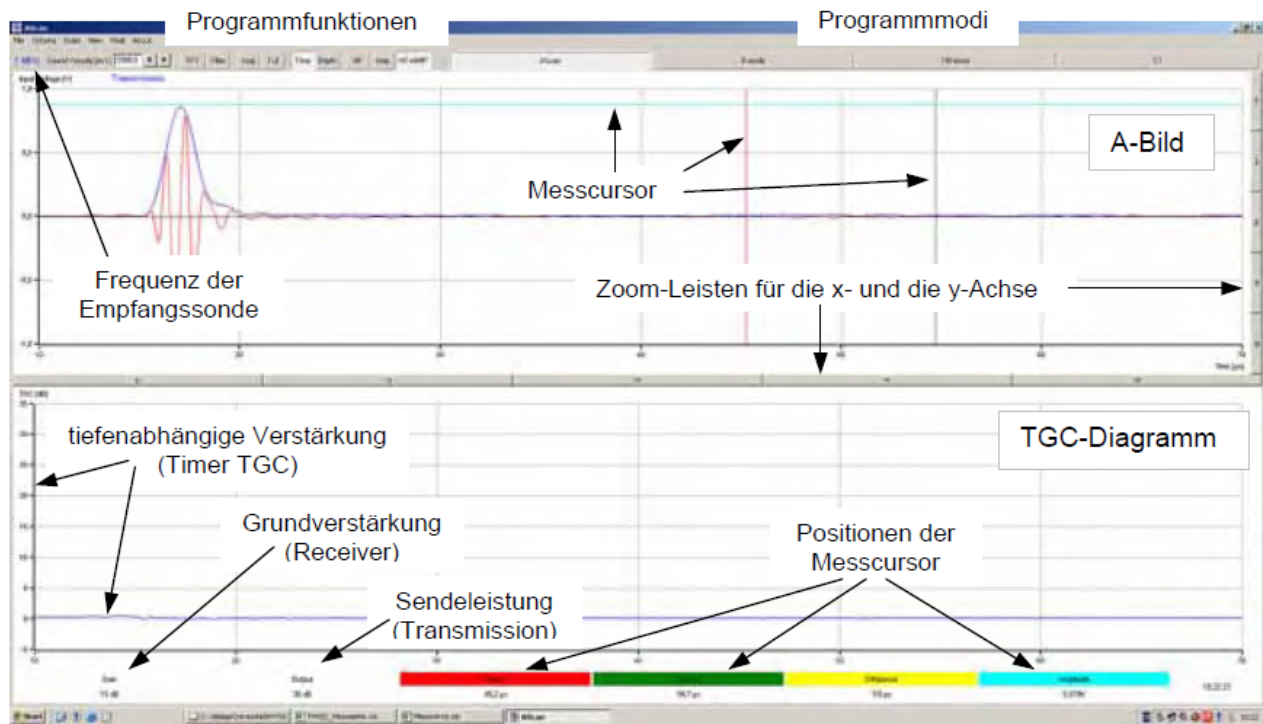
## Software

**Hinweis:** Im [Benutzerhandbuch](#) des Echoskops finden Sie eine ausführliche Beschreibung des „AScan“-Programms und seiner Funktionen.

Mit der Software „[AScan](#)“ (Bildschirmbild Abbildung 6) werden die Messdaten des Ultraschallechoskops aufgenommen, dargestellt und ausgewertet. Ist das Ultraschallechoskop mit dem Computer verbunden und eingeschaltet, erkennt die Software automatisch das Gerät an der USB-Schnittstelle sowie die angeschlossenen Ultraschallwandler. Das Programm startet automatisch im „AScan“-Modus.

In diesem Versuch wird das „A-Bild“ verwendet. Dabei werden Schalllaufzeitmessungen (Programmfunktion: „Time“) und Amplitudenmessungen im Reflexionsverfahren (Programmfunktion: „Amp“ und „HF+Amp“) für unterschiedliche Abstände zum Reflektor (Programmfunktion: „Depth“ (Tiefenmessung)) durchgeführt.

Das A-Bild ist in zwei Graphen unterteilt. Der obere Teil zeigt das aufgenommene Signal, der untere Teil die zusätzliche Verstärkung am Ausgang, die tiefenabhängige Verstärkung (Time Gain Control, TGC). Beachten Sie, dass Sie bei Verwendung des TGC-Moduls die veränderte Verstärkung bei der Messauswertung berücksichtigen müssen.



**Abbildung 6:** Beschreibung der Programmoberfläche im A-Bild-Modus.

Zur Auswertung verwenden Sie die Messcursor (rot und grün) und deren Differenz (gelb). Die jeweiligen Werte der Messcursor werden in der unteren Bildschirmhälfte angezeigt.

#### 4. Versuchsdurchführung

Für die zur Verfügung gestellten Flüssigkeiten sind jeweils die folgenden Schritte durchzuführen.

- 1) Bestimmung der Schallgeschwindigkeit (Transmissionsmessung)
  - a. Messung in Längsrichtung
  - b. Messung in Querrichtung
  - c. Bestimmen der Schallgeschwindigkeit
- 2) Bestimmung der Schalldämpfung (Reflexionsmessung)
  - d. Kalibrieren der Software mit der Schallgeschwindigkeit der jeweiligen Flüssigkeit.
  - e. Positionieren des Aluminium-Reflektors parallel und mit etwa 40 mm Abstand zum Ultraschallwandler.
  - f. Verstärkung einstellen und für die folgende Messreihe beibehalten.
  - g. Abstand sukzessive um ca. 5 mm bis 120 mm erhöhen und jeweils den Amplitudenwert notieren.

#### 4.1 Bestimmungen der Schallgeschwindigkeit

Bevor Sie die Messungen zur Bestimmung der Schalldämpfung in einer Flüssigkeit ausführen können, müssen Sie zunächst eine Kalibrierung der AScan-Software für die Tiefenmessung vornehmen. Für die Kalibrierung ermitteln Sie die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit. Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit messen Sie den Schallweg in der Flüssigkeit und die zugehörige Schalllaufzeit. Bestimmen Sie daher zunächst die Innenabstände der Wannenwände in Längs- und in Querrichtung mit einem Messschieber oder Lineal. Diese Abstände entsprechen im Transmissionsverfahren den Schallwegen  $s$  in der Flüssigkeit.

Für die Ermittlung der Schalllaufzeit  $\tau$  füllen Sie nun die Probenwanne mit der ersten zu untersuchenden Flüssigkeit (z.B. Wasser). Wählen Sie die Füllmenge so, dass die Wandler die Schallwelle über ihren gesamten Querschnitt in die Flüssigkeit einkoppeln können. Beginnen Sie mit der Messung der Schalllaufzeit in Querrichtung, s. Abbildung 7.



**Abbildung 7:** Probenwanne gefüllt mit Wasser und in Querrichtung angekoppelte Schallwandler.

Vor Beginn der Laufzeitmessungen stellen Sie wie bereits beschrieben den Kippschalter am RECEIVER-Modul des Echoscops in die Position „TRANS.“ Starten Sie das AScan-Programm im AScan-Modus und wählen Sie in der oberen Buttonleiste die Schaltflächen „Time“ und „Amp“ aus. Stellen Sie die Grundverstärkung (RECEIVER) und den Sendepiegel (TRANSMITTER) so ein, dass die aufgenommenen Messsignale eine hohe Amplitude aufweisen, jedoch keine Übersteuerung auftritt. Eine Übersteuerung wird in der „AScan“-Software mit einer roten Fehlermeldung im A-Bild signalisiert. Bestimmen Sie anschließend mit dem Messcursor die Schalllaufzeit.

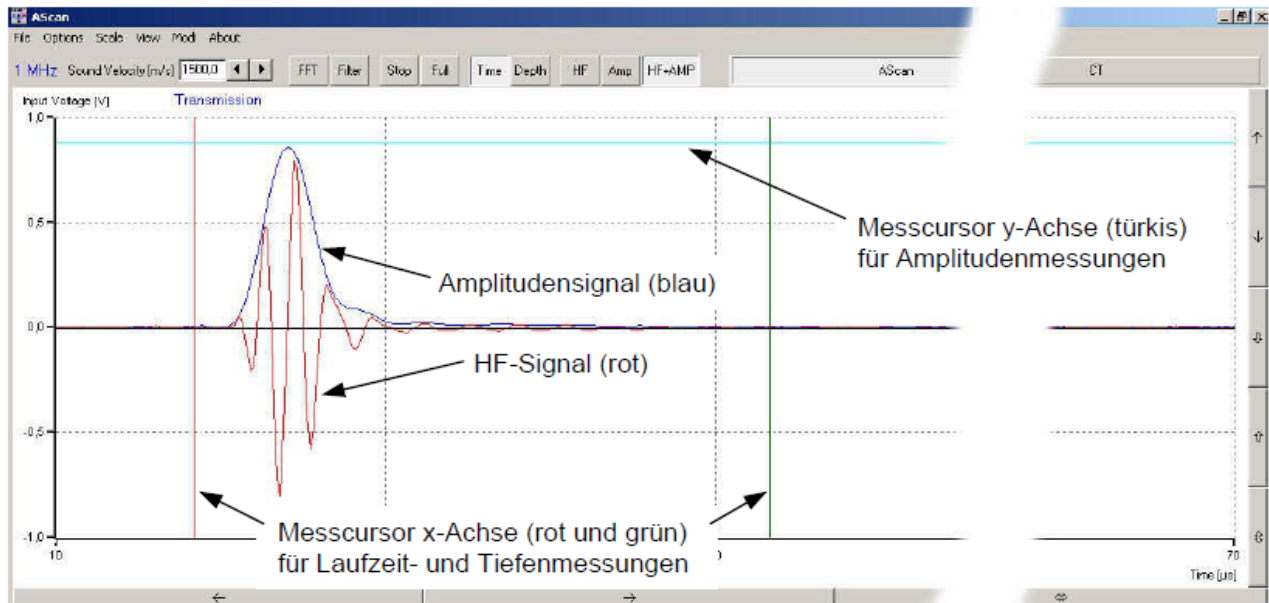
Koppeln Sie anschließend die Schallwandler an den langen Seiten der Probenwanne an und messen Sie die Laufzeit in Längsrichtung.

Die Schallgeschwindigkeit bestimmen Sie anschließend mit

$$c = (s_2 - s_1) / (\tau_2 - \tau_1), \quad (6)$$

wobei  $s_1$  und  $\tau_1$  bzw.  $s_2$  und  $\tau_2$  die Weglänge und Laufzeit in Quer- bzw. Längsrichtung bezeichnen.

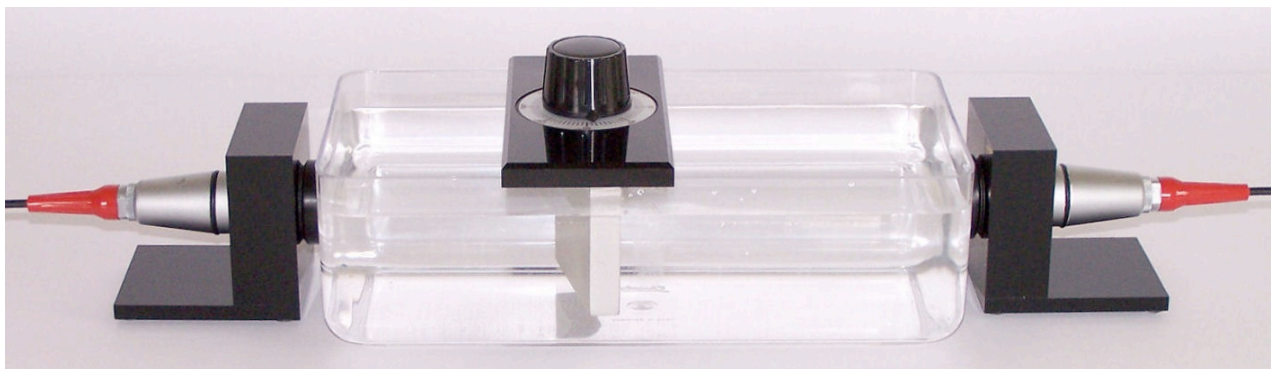
**Hinweis:** Messen Sie die Schalllaufzeit am Beginn der Anstiegskurve des Transmissionsimpulses, nicht im Scheitelpunkt, vgl. Abbildung 8. Laufzeitmessungen im Peak-Maximum führen zu fehlerbehafteten Ergebnissen. Sollte der Impuls nicht mehr in der aktuellen Zeitachse dargestellt werden, wählen Sie die Programmfunktion: „Full“.



**Abbildung 8:** HF-Amp-Signaldarstellung.

## 4.2 Amplitudenmessungen

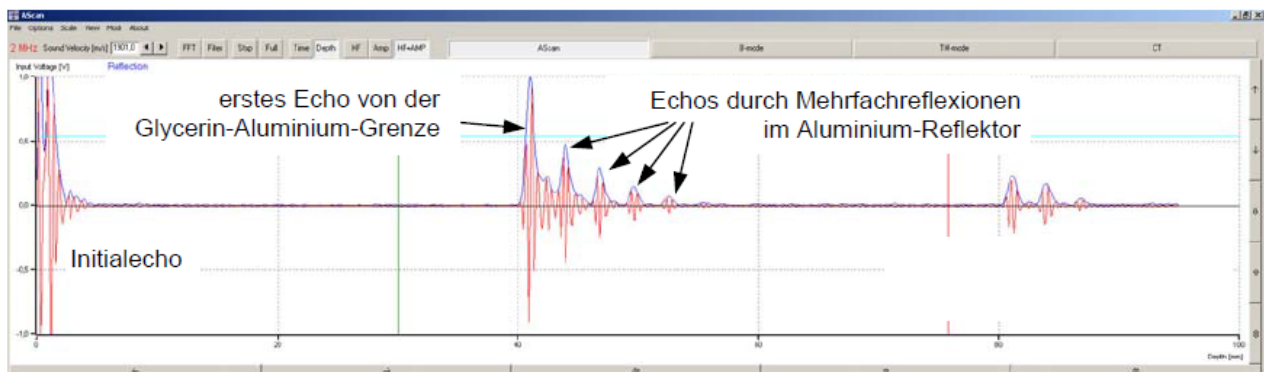
Da im Reflexionsfall nur ein Wandler benötigt wird, bringen Sie den Kippschalter im RECEIVER-Modul des Echoskops in die Stellung „REFLEC.“. Der direkt unter dem Schalter angeschlossene Schallwandler fungiert nun gleichzeitig als Sender und Empfänger. Der zweite Wandler wird für die folgenden Messungen nicht benötigt. Belassen Sie ihn aber an seinem Platz, um den Messaufbau nicht zu verschieben.



**Abbildung 8:** Probenwanne mit in Längsrichtung angekoppelten Schallwandler und Aluminium-Reflektor.

Die Messungen werden im Reflexionsverfahren ausgeführt. Dazu positionieren Sie den Aluminium-Reflektor in der Wanne parallel zum Ultraschallwandler. Schalten Sie im AScan-Programm auf die „HF+Amp“-Darstellung um, so dass im A-Bild gleichzeitig das HF-Signal (rot) und das Amplitudensignal (blau) zu sehen sind, vgl. Abbildung 9. Tragen Sie die zuvor bestimmte Schallgeschwindigkeit in das hierfür vorgesehene Eingabefeld „Sound Velocity [m/s]“ im linken oberen Fensterbereich des Programms ein und schalten Sie die Darstellung über die Schaltfläche „Depth“ auf Tiefenmessung um. Bringen Sie nun den Aluminiumreflektor durch Verschiebung auf der Wanne in Richtung des aktiven Wandlers parallel zu diesem in die erste Messposition (Abstand Wandler-Reflektor ca. 40 mm). Den Wandler-Reflektor-Abstand können sie im A-Bild auf der x-Achse an der Anstiegsflanke des ersten Echo-Peaks bestimmen.





**Abbildung 9:** Reflexionsechos in Glycerin, 2-MHz-Wandler, Aluminium-Reflektor, 40 mm Abstand zwischen Wandler und Reflektor.

### Einstellung der Verstärkung:

Für die Messung der Amplituden ist es für die Vergleichbarkeit der Messwerte einer Messreihe erforderlich, die einmal gewählten Einstellungen der Verstärkung unverändert zu lassen. Bringen Sie alle Drehschalter im TIMER-TGC-Modul des Echoskops in die Nullposition. Wählen Sie den Sendepiegel (TRANSMITTER) und die Grundverstärkung (RECEIVER) so, dass die Echoamplitude für den ersten Messpunkt mit dem kürzesten Abstand zwischen Wandler und Reflektor nicht mehr als 1 Volt beträgt.

Justieren Sie den Reflektor durch Drehen auf die maximale Amplitude des Echosignals.

Mit Hilfe der Messcursor können Sie nun im A-Bild die Amplitudenwerte für den ersten Messpunkt (Abstand 40 mm) der Messreihe ermitteln. Den maximalen Amplitudenwert des Ultraschall-Echosignals erhalten Sie, indem Sie den Amplituden-Messcursor mit der Maus an die Spitze des ersten Echo-Signalpeaks schieben.

**Hinweis:** Nutzen Sie die Zoom-Funktionen der Software für die Amplitudenachse am rechten Rand des A-Bild-Diagramms zum genaueren Ablesen der Amplitudenwerte.

Verschieben Sie nun den Aluminium-Reflektor sukzessive um jeweils 5 mm weiter weg vom Schallwandler bis zu einem maximalen Abstand von etwa 120 mm und bestimmen sie in jeder Position den maximalen Amplitudenwert. Achten Sie darauf, dass Sie den Reflektor jedes Mal auf die maximale Amplitude justieren.

Wiederholen Sie den Versuch beginnend mit der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit für die Kalibrierung für alle zu untersuchenden Flüssigkeiten.

## 5. Auswertung

### Bestimmung der Schallgeschwindigkeit:

- Bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit der Flüssigkeiten und vergleichen Sie ihre Ergebnisse mit der Literatur.

### Bestimmung des Absorptionskoeffizienten:

- Verwenden Sie in Gleichung (4) die Weglänge  $x_0 = 2 \times 40$  mm und die dafür gemessene Amplitude  $A(x_0)$  als Bezugsgrößen. Stellen Sie  $y(x_i)$  für  $i = 1, \dots, n$  grafisch dar und ermitteln Sie mittels linearer Regression den Absorptionskoeffizienten der jeweiligen Flüssigkeit.