

# Vermessung eines Sees Protokoll

Abgabedatum:

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>4</b>
2.1	Druck . . . . .	4
2.2	Schallausbreitung . . . . .	4
2.2.1	Abstandsgesetz und Intensität . . . . .	4
2.2.2	Schallgeschwindigkeit . . . . .	5
2.3	Absorption von Licht in Materie . . . . .	6
2.4	Ortsbestimmung . . . . .	6
2.5	Temperatur . . . . .	6
2.6	Absorption . . . . .	7
2.7	Echolot . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>
5.1	Messprobleme und verworfene Ideen . . . . .	8
	<b>Literatur</b>	<b>8</b>

## **Danksagung**

Wir danken dem Institut für Geophysik, das uns Teile des technischen Equipments geliehen hat. Herrn Prof. Bahr möchten wir für die Betreuung unseres Projektes danken. Insbesondere möchten wir auch Herrn Ullrich Einecke danken für viel Unterstützung mit der technischen Umsetzung. Auch hat er uns zu den Messstellen gefahren, was aufgrund des vielen Equipments sehr hilfreich war.

## 1 Einleitung

[Dem08] Dieser Versuch beschäftigt sich mit der Schichtung von Seen. Wir haben in verschiedenen Tiefen die Temperatur, die Helligkeit und die Absorption von zwei Wellenlängen gemessen. Die Tiefe der Sensoren haben wir mit Hilfe einer Drucksonde gemessen, während wir die Tiefe des Sees mit einem selbstgebautes Echolotes bestimmen wollten. Die Position des Bootes auf dem See haben wir mit einem Geodimeter (die Geräte, welche im Straßenbau zur Entfernungsmessung verwendet werden) aufgezeichnet.

## 2 Theorie

### 2.1 Druck

In stehendem Wasser steigt der Druck pro Meter Wassertiefe um 0.1 Bar an. Möchte man also die Tiefe des Sensors bestimmen, so berechnet sich diese nach der Formel:

$$d = \frac{(p(d) - p_0)}{0.1 \text{ bar m}^{-1}} \quad (1)$$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_{p(d)}}{0.1 \text{ bar m}^{-1}} \quad (2)$$

### 2.2 Schallausbreitung

#### 2.2.1 Abstandsgesetz und Intensität

Wenn Reflektion und die Mitbewegung des Mediums (Wasser) vernachlässigt werden, sollten sich die Abhängigkeiten bei der Ausbreitung des Schalls vom Piezokristall, der Schallwellen mit Frequenzen im Ultraschallbereich abgibt ähnlich verhalten, wie die Gesetze einer punktförmigen Schallquelle.

Der Grund dafür ist, dass die genutzten Entfernungen zwischen Sender und Empfänger vielfach größer sind als die Größe des schwingenden Kristalls. In einem homogenem Medium verteilt sich dann die ausgesendete Energie der Welle in drei Dimensionen gleichmäßig im Abstand  $r$  über eine Kugeloberfläche  $A$ . Wird nun mit  $\langle P \rangle$  die mittlere vom Sender abgestrahlte Leistung bezeichnet, dann ist also zu erwarten, dass die Intensität des Signals sich antiproportional zu  $r^2$  verhält:

$$I \propto \frac{\langle P \rangle}{r^2} \quad (3)$$

Wenn nun  $v$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit im homogenen Medium und  $\langle w \rangle$  die mittlere Energiedichte bezeichnet, dann kann die mittlere Leistung auch geschrieben werden als:

$$\langle P \rangle = \langle w \rangle A v \quad (4)$$

Woraus sich direkt für die Intensität ergibt:

$$I = \langle w \rangle v \quad (5)$$

Die nun noch unbekannte Energiedichte von Schallwellen kann man aus der Betrachtung einer harmonischen Welle gewinnen. Dabei ergibt sich ganz allgemein, dass diese proportional ist zum Quadrat der Amplitude  $A$  und der Kreisfrequenz  $\omega$ :

$$\langle w \rangle = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 \quad (6)$$

Mit  $\rho$  wurde hier wie üblich die Dichte des Mediums bezeichnet. Insgesamt ergibt sich also

$$I = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \frac{P_{max}^2}{\rho v} \quad (7)$$

Es wurde verwendet, dass man speziell für Schallwellen zeigen kann, dass der Zusammenhang zwischen der maximalen Druckamplitude  $P_{max}$  und der Amplitude der Schallwelle gegeben ist durch:

$$P_{max} = \rho \omega v A \quad (8)$$

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Intensität der Schallwelle proportional ist zum Quadrat der Druckamplitude.

### 2.2.2 Schallgeschwindigkeit

Für Schallwellen kann man in Fluiden, wie Wasser oder Luft folgende Gleichung für die Schallgeschwindigkeit finden:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (9)$$

Wie oben bezeichnet  $\rho$  die Massendichte. Mit  $K$  wurde hier das sog. Kompressibilitätsmodul bezeichnet. Dieses ist definiert als das Verhältnis der relativen Druck und Volumenänderungen:

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta V/V} \quad (10)$$

Es wird hierdurch ersichtlich, dass die Schallgeschwindigkeit also ganz wesentlich vom Medium abhängt. Sie beträgt beispielsweise für Wasser je nach Salzgehalt und Temperatur circa 1500 m/s und für Luft 340 m/s.

## 2.3 Absorption von Licht in Materie

Setzt man Licht als eine Ebene Welle an so ergibt sich bei Ausbreitung in einem homogenem Medium das Beer'sche Absorptionsgesetz. Es beschreibt, dass die Intensität  $I$  des Lichts exponentiell abfällt bei zunehmender Strecke. Für den Anteil des noch vorhandenen Intensität gilt dann:

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\alpha \Delta z) \quad (11)$$

Die im Exponent auftauchende Größe  $\alpha$  wird auch als Absorptionskoeffizient bezeichnet. Er hängt sowohl vom Medium ab als auch von der Wellenlänge  $\lambda$  ab.

$$\alpha = \frac{4\pi\kappa}{\lambda} \quad (12)$$

Hier ist mit  $\kappa$  der Imaginärteil des Brechungsindex gekennzeichnet.

## 2.4 Ortsbestimmung

Um den Ort des Bootes zu bestimmen, verwendeten wir ein Geodimeter (s. Abb. ??). Dieses sendet einen Laserstrahl in eine bestimmte Richtung aus und misst, sobald er reflektiert wird die Flugdauer. Daraus bestimmt es die Entfernung. Die Richtung wird durch die Stellung des beweglichen Kopfes ermittelt. Dafür wird beim Einschalten eine Referenzrichtung eingeschaltet, anhand derer die Abweichung bestimmt wird. Das Gerät kann nun die relative Position zu dem eigenen Standort in verschiedenen Darstellungsweisen ausgeben: Zylinderkoordinaten und Kartesische Koordinaten.

Der Laser wird von einem Retroreflektor an einer Messstange reflektiert, welche wir an Bord genommen haben. Ein Retroreflektor ist eine Anordnung von drei Spiegeln, welche jeweils im 90°-Winkel zueinander stehen. Jeder einfallende Strahl wird so in die Herkunftsrichtung zurückgelenkt.

Es stellte sich bei den Messungen heraus, dass die Genauigkeit des Geodimeters keine Rolle spielte, da das Boot von Wind und Strömung während der Messung sehr stark abgetrieben wurde. Daher hätte vermutlich auch unsere erste Idee, die Position über GPS zu erfassen funktioniert, welche wir wegen der vermeintlich schlechten Auflösung von 5-10m verwarfen.

## 2.5 Temperatur

Die Temperatur haben wir mit einem Pt1000-Widerstand vermessen. Der Name verrät, dass der Messfühler aus Platin ist und bei 0°C einen Widerstand von  $R_0 = 1000\Omega$  hat. Der Widerstand hängt so von der Temperatur  $\vartheta > 0^\circ\text{C}$  ab:

$$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A\vartheta + B\vartheta^2) \quad (13)$$

$R_0$	$1000 \, \Omega$
A	$3.9083 \cdot 10^{-3} \, ^\circ\text{C}^{-1}$
B	$-5.775 \cdot 10^{-7} \, ^\circ\text{C}^{-2}$

**Tabelle 1:** Kennwerte des Widerstandsthermometers

Die zugehörigen Konstanten findet man in Tabelle 1.

Der Fehler der Temperaturmessung dieses Gerätes liegt bei

$$\Delta\vartheta = \pm(0.3 \, ^\circ\text{C} + 0.005\vartheta) . \quad (14)$$

Allerdings ist unser Sensor zwecks Wasserdichtigkeit mit einem dünnen Film Klebstoff beschichtet. Dieser sollte nur die Reaktionszeit beeinflussen. Das größere Hindernis bei der Temperaturbestimmung lag bei uns am ADC (Analog-Digital-Converter), welcher die verstärkte Spannung in ein digitales Signal umwandelt. Dessen Auflösung ist mit 16 Bit zwar schon recht gut, allerdings bedeutet dies, dass nur Spannungsunterschiede von xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx V gemessen werden können, was einer Temperaturdifferenz von ca. xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx $^\circ$  entspricht.

## 2.6 Absorption

## 2.7 Echolot

# 3 Durchführung

Zur Messung eines Sees ist es notwendig, zunächst den Bereich, den man vermessen möchte sinnvoll einzuschränken und sich eine grobe Rasterung zu überlegen. Dabei ist zu bedenken, dass für jeden Messpunkt ca. 3-5min eingerechnet werden müssen. Auch müssen die Positionen, sofern sie mit dem Geodimeter ermittelt werden sollen, alle von einem Punkt am Ufer aus sichtbar sein. Man könnte zwar das Geodimeter umstellen, jedoch würde dies zu einer enorm vergrößerten Unsicherheit des Ortes führen.

Die eigentliche Messung besteht darin, dass der Ruderer an einer Stelle anhält und den Messstab für das Geodimeter hochhält. Gleichzeitig drückt die andere Person auf dem Boot den Knopf „Start“ und lässt die Sonde langsam herunter. Ist die Sonde auf dem Grund des Sees angekommen, so kann sie wieder hochgezogen werden. Dies muss nicht so langsam geschehen, da sich bei Kontakt mit dem Boden teilweise Schlamm um die Sensoren legt, welche die Messung verfälschen. Dieser muss gegebenenfalls nach Beendigung der Messung abgespült werden.

## 4 Auswertung

## 5 Diskussion

### 5.1 Messprobleme und verworfene Ideen

Unsere erste Idee war die, ein ferngesteuertes U-Boot zu bauen, was die Sensoren an Bord hat. Dies stellte sich jedoch sehr schnell als nicht durchführbar heraus, da es keine geeigneten Modellbauten gab und da die komplette Technik mit Stromversorgung unter Wasser luftdicht sein müsste. Daher kamen wir auf die Idee, eine ferngesteuerte Plattform zu bauen, welche die Sonden mit einer Winde ferngesteuert herunterlässt. Dies verwarfen wir jedoch auch sehr schnell, da die Fernsteuertechnik einen großen Teil unserer Arbeit ausgemacht hätte, was wissenschaftlich wenig interessant ist. Auch hätten wir Probleme bekommen, falls sich zum Beispiel die Sensoren in Wasserpflanzen verfangen.

So entschieden wir uns für die simplere Umsetzung, ein Ruderboot zu nehmen und die Stromversorgung, sowie die Datenverarbeitung im Boot zu betreiben und nur die Sensoren an den Kabeln herunter zu lassen.

Wir hatten zunächst noch vor, weitere Sensoren zu verwenden:

- *el. Leitfähigkeit*: Funktionierte nicht, da wir dafür Wechselspannungen mit 50V benötigt hätten. Dies wäre notwendig, da sich sonst an den Elektroden durch Elektrolyse Salze angelagert hätten, welche für eine höhere gemessene Leitfähigkeit gesorgt hätten. Die Leitfähigkeit alleine ist kein Maß für den Salzgehalt, der auch noch von anderen Größen maßgeblich beeinflusst wird. So konnten wir den Sensor, welchen Jan bereits besorgt hatte, nicht einsetzen.
- *pH-Wert*: Der pH-Wert wäre auch eine interessante Messgröße gewesen. Allerdings wäre zur Kalibration mindestens eine Pufferlösung notwendig gewesen. Ausschlaggebend war, dass wir zu den preislich akzeptablen Sensoren keine vernünftigen Datenkurven finden konnten, da diese augenscheinlich nur für fertige Geräte ausgelegt sind.

## Literatur

[Dem08] Demtröder, W.: *Experimentalphysik 1, Mechanik und Wärme*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 5. Auflage, 2008, ISBN 978-3-642-25465-9.