

PROJEKTPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

**Vermessung eines Sees
Protokoll**

Praktikanten: Michael Lohmann

Felix Kurtz

Kevin Lüdemann

Jan Weinreich

Betreuer: Prof. Dr. Bahr

Versuchsdatum: 10.06.2015 / 17.06.2015

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theorie	1
2.1. Druck	1
2.2. Schallausbreitung	1
2.2.1. Abstandsgesetz und Intensität	1
2.2.2. Schallgeschwindigkeit	2
2.3. Absorption von Licht in Materie	3
2.4. Lichtabsorption von Wasser - Betrachtung auf Mikroskopischer Ebene . .	3
2.5. Nichtinvertierender Operationsverstärker	4
2.6. Schichtung eines Sees	5
2.7. Ortsbestimmung	6
2.8. Temperatur	7
3. Durchführung	8
3.1. Aufbau des Datenloggers	8
3.1.1. Temperaturmessung	9
3.1.2. Lichtmessung	9
3.1.3. Druckmessung	9
3.1.4. Echolotmessung	10
3.2. Positionsbestimmung via GPS und Geodimeter	10
3.3. Smartphone-App	11
3.4. Messdurchführung	12
4. Auswertung	13
4.1. Ortsbestimmung	13
4.2. Druck & Tiefe	15
4.3. Temperatur	16
4.3.1. Göttingen	16
4.3.2. Northeim	18
4.4. Licht	21
4.4.1. Göttinger Kiessee	22
4.4.2. Northeimer Kiessee	22
4.5. Gemessenes Abstandsgesetz	24
5. Diskussion	25
5.1. Referenzspannung des ADC	25
5.2. Druck	25
5.3. Ortsbestimmung	26
5.4. Temperatur	26

5.5. Absorption von Licht	28
5.6. Echolot	28
5.7. Messprobleme und verworfene Ideen	29
Literatur	30
A. Anhang	I
A.1. Schaltpläne	I
A.2. Fotos	III

Danksagung

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

1. Einleitung

Dieser Versuch beschäftigt sich mit der Schichtung von Seen. Wir wollen in verschiedenen Tiefen die Temperatur, die Helligkeit und die Absorption von zwei Licht-Wellenlängen messen. Die Tiefe der Sensoren bestimmen wir mit Hilfe einer Drucksonde, während wir die Tiefe des Sees mit einem selbst gebauten Echolots bestimmen wollen. Die Position des Bootes auf dem See wird mit einem Geodimeter (die Geräte, welche im Straßenbau zur Entfernungsmessung verwendet werden) und mittels GPS aufgezeichnet.

Die Messung soll am Seeburger See durchgeführt werden, da dieser ein natürlicher See ist und somit verschiedene Tiefen besitzt. Als Alternative haben wir einmal den Göttinger Kiessee und einmal in Northeim den Großen See vermessen, welche aber von Menschen geschaffene Seen sind.

Dieser Versuch soll zeigen, dass zum einen die Temperatur geschichtet und die Absorption von Wasser konstant für alle Tiefen ist.

2. Theorie

2.1. Druck

Für eine Flüssigkeitssäule mit einer Höhe h gilt das Pascal'sche Gesetz für den Druck

$$p = \rho gh . \quad (2.1.1)$$

Hier bezeichnet ρ die Dichte des Mediums, also in unserem Fall Wasser mit $\rho = 10^3 \frac{kg}{m^3}$. Daraus ergibt sich nun, dass in stehendem Wasser der Druck pro Meter Wassertiefe um 0.1 Bar ansteigt. Möchte man also die Tiefe d des Drucksensors bestimmen, so berechnet sich diese aus der Druckdifferenz relativ zur Oberfläche mit Druck p_0 nach der Formel (siehe [9, S.118])

$$d = \frac{(p(d) - p_0)}{0.1 \text{bar m}^{-1}} . \quad (2.1.2)$$

2.2. Schallausbreitung

2.2.1. Abstandsgesetz und Intensität

Wenn Reflexion und die Mitbewegung des Mediums (Wasser) vernachlässigt werden, sollten sich die Abhängigkeiten bei der Ausbreitung des Schalls vom Piezokristall 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 Kugelfläche A . Wird nun mit $\langle P \rangle$ die mittlere

vom Sender abgestrahlte Leistung bezeichnet, dann ist zu erwarten, dass die Intensität des Signals sich antiproportional zu r^2 verhält, also $I \propto \frac{1}{r^2}$. Der Schalldruck p hingegen nimmt antiproportional zur Entfernung ab

$$p \propto \frac{1}{r} . \quad (2.2.1)$$

Wenn nun v die Ausbreitungsgeschwindigkeit im homogenen Medium und $\langle w \rangle$ die mittlere Energiedichte bezeichnet, kann die mittlere Leistung auch geschrieben werden als $\langle P \rangle = \langle w \rangle A v$. Hieraus ergibt sich direkt für die Intensität $I = \langle w \rangle v$. Die nun noch unbekannte Energiedichte von Schallwellen kann man aus der Betrachtung einer harmonischen Welle gewinnen. Dabei ergibt sich ganz allgemein, dass diese proportional zum Quadrat der Amplitude A und der Kreisfrequenz ω ist: $\langle w \rangle = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2$. Mit ρ wurde hier wie üblich die Dichte des Mediums bezeichnet. Insgesamt erhält man also

$$I = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \frac{p_{max}^2}{\rho v} . \quad (2.2.2)$$

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 $p_{max} = \rho \omega v A$. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die Intensität der Schallwelle proportional ist zum Quadrat der Druckamplitude. Genaueres zu diesen Themen ist im Tipler [11, S.598] zu finden.

2.2.2. Schallgeschwindigkeit

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

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} . \quad (2.2.3)$$

Wie oben bezeichnet ρ die Massendichte. Mit K wurde hier das sog. Kompressibilitätsmodul bezeichnet. Dieses ist definiert als das Verhältnis der relativen Druck und Volumenänderung

$$K := -V \frac{dp}{dV} . \quad (2.2.4)$$

Das negative Vorzeichen entsteht dadurch, dass bei einem Zuwachs des Drucks das Volumen abnimmt. Damit wäre also dV negativ, jedoch muss K größer null bleiben, damit die Wurzel reell bleibt.

Es wird hierdurch ersichtlich, dass die Schallgeschwindigkeit wesentlich vom Medium abhängt. Sie beträgt beispielsweise für Wasser je nach Salzgehalt und Temperatur circa

1500 m/s und für Luft 340 m/s, siehe [11, S.467]. Bei einer Echolotmessung in Seen ist dann vor allem die unterschiedliche Temperatur in verschiedenen Schichten von Relevanz. Die Schallgeschwindigkeit kann dann sogar um mehrere Prozente innerhalb eines Sees schwanken¹.

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 mit zunehmender Strecke abfällt. Für den Anteil der noch vorhandenen Intensität $\frac{I}{I_0}$ gilt dann

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\alpha\Delta z) . \quad (2.3.1)$$

Die im Exponent auftauchende Größe α wird auch als Absorptionskoeffizient bezeichnet. Dieser hängt sowohl vom Medium als auch von der Wellenlänge λ ab

$$\alpha = \frac{4\pi\kappa}{\lambda} . \quad (2.3.2)$$

Hier ist mit κ der Imaginärteil des Brechungsindex gekennzeichnet. Die Relevanz des Absorptionskoeffizienten für uns ist, dass über diesen Rückschlüsse auf Schwebstoffe im Wasser von Seen gezogen werden können, wenn Messdaten über die Intensität bekannt sind. Näheres dazu in [8, S.229].

2.4. Lichtabsorption von Wasser - Betrachtung auf Mikroskopischer Ebene

Das Absorptionsspektrum von Molekülen hängt wesentlich von ihren möglichen quantenmechanischen Zuständen ab, denen (entarte) Energieniveaus zugeordnet sind. Dabei muss zwischen verschiedenen Freiheitsgraden unterschieden werden. Für das Wassermolekül sind dabei Rotations- und Vibrationsfreiheitsgrade entscheidend. Der Rotationsfreiheitsgrad kann etwa von Mikrowellenstrahlung bis zur infraroten Strahlung angeregt werden, wohingegen Vibrationszustände für das restliche Absorptionsspektrum verantwortlich sind.

Wichtig ist nun, dass bei flüssigem Wasser der Rotationsfreiheitsgrad ausscheidet, da die Moleküle durch die Wasserstoffbrückenbindung zu stark gebunden sind. Es verbleiben dann noch drei mögliche anregbare Vibrationsmoden, die sich ihrerseits wieder durch ihre Energie unterscheiden.

Infrarotstrahlung regt nun gerade eine Kombination von zwei Vibrationszuständen an. Im allgemeinen Fall liegen aber insbesondere im sichtbaren Spektrum Energiebänder

¹Dies wird ausführlicher beschrieben in [7]

vor. Weil diese Zustände aber nun beliebig kompliziert werden können, muss man spektroskopische Versuche durchführen, um die Absorptionsspektren zu untersuchen. In Grafik 1 ist hierzu der Absorptionskoeffizient von reinem Wasser in einem Wellenlängenbereich von 380 bis 700 nm dargestellt. Dies entspricht gerade dem sichtbaren Bereich. Näheres ist unter [1] zu finden.

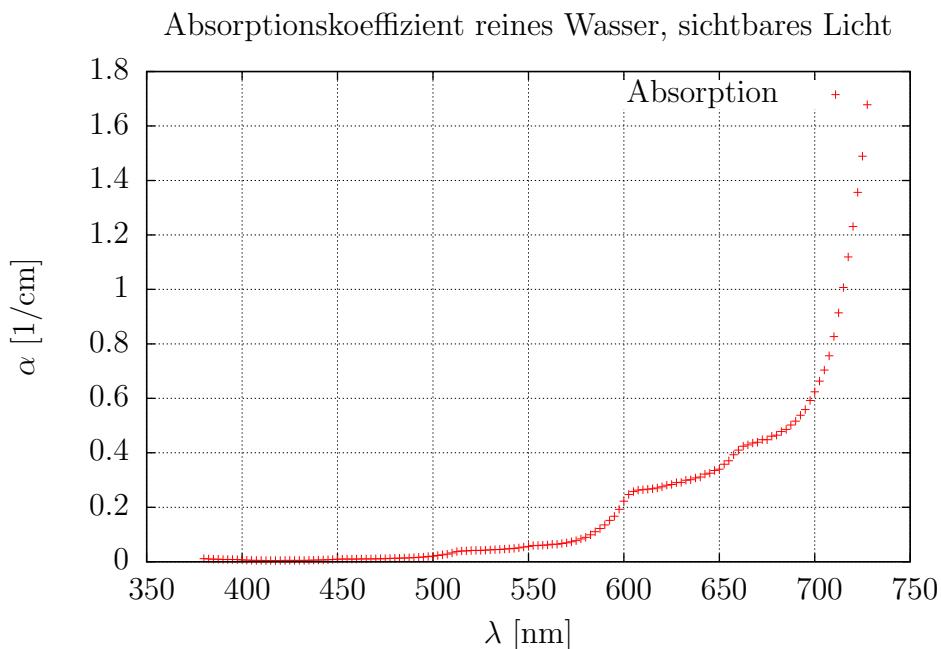


Abbildung 1: Absorptionsspektrum (380-700 nm) von reinem Wasser. Daten aus einer spektroskopischen Untersuchung (1997). Nach: [10]

2.5. Nichtinvertierender Operationsverstärker

Hierbei handelt es sich von der Grundschaltung her um einen Operationsverstärker. Diese finden Anwendung in diversen Bereichen, zum Beispiel der Mess- und Regelungstechnik. Allgemeine Eigenschaften dieser Bauteile sind, eine sehr große Verstärkung von Eingangssignalen, sowie ein hoher Eingangs- und dazu vergleichsweise geringer Ausgangswiderstand. Das allgemeine Verstärkersymbol ist ein Dreieck, worin die beiden Eingänge mit + und - gekennzeichnet werden. Der - Eingang wird als invertierender Eingang und der + Eingang als nicht invertierender Eingang bezeichnet. Das eigentliche Bauteil des Verstärkers ist sehr komplex und es lohnt sich nicht, hier weiter darauf einzugehen. Entscheidend ist hier nur die Formel für den Verstärkungsfaktor v für den

2. Theorie

verwendeten nichtinvertierenden Verstärker. Für diese gilt

$$v = 1 + \frac{R_2}{R_1} . \quad (2.5.1)$$

Die Skizze zur Herleitung ist im Anhang zu finden (Abbildung 15). Wichtig ist also nur die für den jeweiligen Bedarf richtige Wahl des Widerstandsverhältnisses. Eine weitere Eigenschaft des nichtinvertierenden Verstärkers ist, dass die Phase des Eingangs- und Ausgangssignals gleich sind. Diese Eigenschaft ist für das Echolot wichtig. Eine gute Einführung in das Thema Operationsverstärker findet man zum Beispiel in [6].

2.6. Schichtung eines Sees

Man unterscheidet drei Tiefenschichten eines Sees. Diese haben alle verschiedene physikalische, chemische, sowie biologische Eigenschaften. Die Grenzen zwischen diesen Schichten sind kontinuierlich und oftmals schwer zu unterscheiden. Dies gilt insbesondere für flache Seen. Die oberste Schicht wird auch Epilimnion genannt. Im Sommer lagert sich dort warmes Wasser mit geringer Dichte ab. Während dieser Zeit kommt es daher nur zu einem geringen Wasseraustausch mit tieferen Schichten, sodass in diesen immer weniger Sauerstoff zu finden ist. Zudem findet effektiver Wärmeaustausch mit tieferen Schichten dann nur noch aufgrund von vergleichsweise kleinen Strömungen statt. Diese werden durch Wind oder im geringen Maße durch Sonneneinstrahlung erzeugt. Das Wetter ist daher ein entscheidender Faktor für die Dicke dieser Schicht. Diffusiver Wärmetransport hingegen ist ein sehr langsamer Prozess, so vergeht zum Beispiel etwa ein Monat für das Bilden einer etwa 1 m dicken Schicht vergleichsweise wärmeren Wassers. Ab einer Tiefe von circa 10 m führt dies insgesamt zur Entstehung eines größeren Temperaturgradienten im Sommer und zur Entstehung der mittleren Schicht (Thermonokline). Dabei handelt es sich um eine recht dünne Übergangsschicht. Diese trennt die obere Schicht von größeren Tiefen.

Das Epilimnion ist im Sommer die wärmste Schicht und besitzt den größten pH-Wert, da es hier zu Kontakt mit der Atmosphäre kommt. In Folge dessen lösen sich Gase wie Kohlenstoffdioxid, sodass beispielsweise Kohlensäure entsteht. Außerdem besitzt diese Schicht auch den größten Sauerstoffgehalt. Hier sind auch die meisten phototrophen Planktonarten zu finden, da es ist der hellste Bereich des Sees ist. Abgestorbene Plankton lagert sich dann auf den Grund des Sees ab und steht anderen Lebewesen als Nahrung zur Verfügung.

Die unterste Schicht wird auch Hypolimnion genannt. Im Sommer ist dies die kälteste Schicht und auch die mit dem geringsten Sauerstoffgehalt. Ganz grundsätzlich unterliegen diese Schichten jahreszeitlichen Schwankungen in ihrer Dicke. Es kommt dann im Herbst zu einer teilweisen Durchmischung zwischen Hypolimnion und dem Epilimnion, da sich das Wasser an der Oberfläche abkühlt und absinkt. Im Winter, wenn die Außen-temperatur längere Zeit unter Null Grad gewesen ist, ist das Hypolimnion die wärmste

2. Theorie

Schicht, da Wasser mit einer Temperatur von 4 Grad am dichtesten ist. Im Extremfall liegt dann eine vollständige Durchmischung aller Schichten vor. Aus diesem Grund ist eine (Temperatur-) Schichtung bei permanent gefrorenen Gewässern nicht vorzufinden. In Grafik 2 sind zur Veranschaulichung der Leitwert C , die Temperatur T und das Sauerstoffgehaltsprofil des Arendsee (Sachsen Anhalt, Messung im September) dargestellt. Aufgrund der beinahe konstanten Temperatur im obersten sowie untersten Bereich kann man hier die drei oben geschilderten Schichten gut von einander trennen. Insbesondere erkennt man den starken Temperaturgradienten im Metalimnion, das hier zwischen 8 und 15 m liegt. Näheres dazu findet man in der Quelle [7]. Das Kabel, welches in unserem Experiment den Logger mit der Sonde verbindet hat eine Länge von circa 8 m. Es ist also zu erwarten, dass wir beim Vermessenen eines tiefen Sees gerade an die Grenze des Epilimnions stoßen.

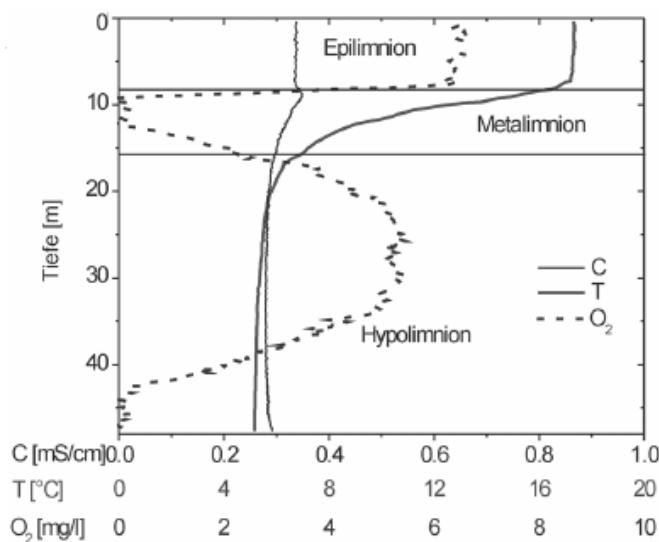


Abbildung 2: Leitwert C , Temperatur T und Sauerstoff O_2 des Arendsees im September. Grafik entnommen aus [7]

2.7. Ortsbestimmung

Um den Ort des Bootes zu bestimmen, verwendeten wir ein Geodimeter (s. Abb. 20). Dieses sendet einen Laserstrahl in eine bestimmte Richtung aus und misst die Flugdauer des reflektierten Strahls. Daraus bestimmt es die Entfernung. Die Richtung wird durch die Stellung des beweglichen Kopfes ermittelt. Dafür wird beim Einschalten eine Referenzrichtung eingestellt, anhand derer die Winkel bestimmt werden. 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 mit an Bord genommen wird. Ein Retroreflektor ist eine Anordnung von drei Spiegeln, welche jeweils im 90° -Winkel zueinander stehen. Jeder einfallende Strahl wird so in die Herkunftsrichtung zurückgelenkt.

Als zweite mögliche Ortsbestimmung wird das GPS System verwendet, dass durch Triangulation von Signalen einiger Satelliten die Position bestimmt. Diese Methode ist mit einer Genauigkeit von $\pm 3\text{m}$ vergleichsweise ungenau, aber im Vergleich zur Größe von Seen immer noch genau genug. Die Implementierung dieser Methode wird im Kapitel 3.2 weiter beschrieben.

Parallel zu dem direkten Speichern haben wir auch eine Smartphone-App erstellt, die ebenfalls die Position aufzeichnet (s. Kapitel 3.3).

2.8. Temperatur

Die Temperatur wird 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 nach [12] so von der Temperatur $\vartheta > 0^\circ\text{C}$ ab

$$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A\vartheta + B\vartheta^2) . \quad (2.8.1)$$

Diese Formel ist rein empirisch. Die zugehörigen Konstanten, welche in Eichmessungen ermittelt werden, findet man in Tabelle 1.

Durch Umstellen erhält man eine Formel für die Temperatur in Grad Celsius

$$\vartheta = -\frac{A}{2B} - \frac{1}{2B\sqrt{R_0}} \sqrt{A^2R_0 - 4BR_0 + 4BR} . \quad (2.8.2)$$

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

Tabelle 1: Kennwerte des Widerstandsthermometers.

3. Durchführung

3.1. Aufbau des Datenloggers

Der Datenlogger ist speziell für diese Aufgabe entworfen und gebaut. Die Basis für diesen ist das XMC4500 RelaxKit von der Firma Infineon[©] mit einem 32bit Mikrocontroller. Dieser wurde mithilfe der Software Dave[©] von der gleichen Firma programmiert. Die Bedienung erfolgt über ein Interface aus drei Tastern und ein LCD Display. Das Display dient nicht nur der Steuerung, sondern zeigt auch im Sekundentakt die momentanen Messwerte an. Zur Bestimmung der am Controller anliegenden Spannung wird ein integrierter Analog Digital Converter (ADC) verwendet. Dieser berechnet die Spannung über ein iteratives Verfahren, in dem er die anliegende Spannung mit einer Referenzspannung vergleicht. Die Referenzspannung wird bei jedem Schritt halbiert oder um die Hälfte erhöht – je nachdem, ob die zu messende Spannung kleiner oder größer ist. Der ADC hat eine Auflösung von 12bit, wie im Datenblatt [5, S. 7] zu lesen ist, somit hat das Verfahren auch 12 Schritte. Die Referenzspannung liegt bei 3.3V, welche vom Board intern bereitgestellt wird. Diese Spannung ist auch die Maximalspannung, die an einen Pin des Mikrocontrollers angelegt werden darf, ohne ihn zu zerstören. Aus diesem Verfahren ergibt sich bei 12bit eine minimal von Null verschiedene Spannung von $B = \frac{3.3V}{2^{12}} = 8.06 \times 10^{-4}V$, welche als Bereichsbreite B bezeichnet wird. Somit kann die Spannung aus dem ausgegebenen ADCWert über die Bereichsbreite berechnet werden

$$U = \text{ADCWert} \cdot B . \quad (3.1.1)$$

Die Daten werden in Form einer ASCII Datei auf einer SD-Karte gespeichert, um sie später am Computer leichter in einem Plotprogramm bearbeiten zu können. Dies sorgt aber für ein größeres Datenaufkommen. Jede Datei trägt, zur besseren Identifikation, den aktuellen Monat, Tag, Stunde und Minute als Namen (MMDDhhmm.dat). In der Datei wird folgendes eingetragen: die Zeit in Millisekunden, die ADCWerte von Temperatur, Photodiode und Druck, sowie die berechneten Werte der Temperatur, Intensität, Druck und Tiefe, letztere berechnet aus dem aktuellen Luftdruck. Der aktuelle Luftdruck kann über das Einstellungsmenü direkt am Logger geändert werden.

Das Programm kann mit einer Datenrate zwischen 10 und 500 Werte pro Sekunde aufnehmen, welche in den Einstellungen während der Laufzeit geändert werden kann. Der Zeitschritt wird abhängig von der Aufnahmefrequenz berechnet und eingetragen.

Für die Sensoren werden verschiedene Schaltungen verwendet, die im Folgenden näher erläutert werden. Bei allen Schaltungen ist zu beachten, dass in allen Fällen die Massen gekoppelt sind. Die Spannungen werden von jedem Sensor über ein geschirmtes Kabel übertragen. In dem Kabel sind zu dem noch alle Aderpaare gegen die anderen Paare abgeschirmt.

3. Durchführung

3.1.1. Temperaturmessung

Für die Messung der Temperatur wird mit einem Pt1000 Temperaturwiderstand gearbeitet. Dieser benötigt eine spezielle Schaltung, da durch ihn nur ein geringer Strom fließen darf, da er sich sonst erwärmt. Aus diesem Grund muss die am Pt1000 abfallende Spannung noch verstärkt werden. Dies geschieht mithilfe eines nichtinvertierenden Verstärkers, wie im Kapitel 2.5 beschrieben. Mit der Formel (2.5.1) ergibt sich aus der in der Abbildung 17 gezeigten Schaltung ein Verstärkungsfaktor von 11. Dieser Wert verstärkt somit die etwa 200mV auf etwa 2V, was gut im Messbereich des ADCs liegt. Aus dem in der Abbildung 17 zu sehenden Widerstandsnetzwerk leitet sich die Formel

$$R_{\text{Pt}1000} = \frac{R_1 \cdot U_{\text{ADC}}}{3.3V - U_{\text{ADC}}} \quad (3.1.2)$$

ab, wobei U_{ADC} die Spannung ist, welche mit der Formel (3.1.1) aus dem ADCWert berechnet wird. Zur anschließenden Berechnung der Temperatur aus dem gemessenen Widerstand wird die Formel (2.8.2) verwendet.

Der Sensor ist zwecks Wasserdichtigkeit mit einem dünnen Klebstofffilm beschichtet, welcher nur die Reaktionszeit beeinflussen sollte.

3.1.2. Lichtmessung

Für die Lichtmessung wird eine Photodiode als intensitätsabhängige Stromquelle verwendet. Die Schaltung ist in der Abbildung 18 zu sehen. Der Stromkreis besteht aus der Photodiode als Stromquelle und einem Widerstand, um den Strom in eine messbare Spannung zu wandeln. Da das Licht nicht tief in den See eintreten kann, wird die sich ergebende Spannung noch über einen nichtinvertierenden Verstärker nach der Gleichung 2.5.1 mit einem Faktor 11 verstärkt. Die Spannung wird dann wieder mit der Gleichung (3.1.1) berechnet.

Um die Absorption in verschiedenen Spektren zu messen, hat die Messsonde eine blaue und eine infrarote LED mit mittleren Wellenlängen von $\lambda_{\text{Blau}} = 460\text{nm}$ [2, S. 2] und $\lambda_{\text{IR}} = 940\text{nm}$ [3, S. 4]. Die LEDs werden ebenfalls von der boardinternen Spannungsquelle versorgt und wie in der Abbildung 19 zu sehen mit entsprechenden Vorwiderständen beschaltet. Um die LEDs von dem Umgebungslicht zu unterscheiden, werden diese gepulst – sie werden in einem bestimmten Zyklus ein- und ausgeschaltet. Die Frequenz, mit der die LEDs nacheinander geschaltet werden (die sogenannte Umschaltfrequenz), ist von 0Hz bis 20Hz wählbar. Im Programm werden die Daten mit der jeweils angeschalteten LED und den Phasen ohne LED-Betrieb getrennt gespeichert.

3.1.3. Druckmessung

Der Druck wird durch einen Absolutdrucksensor in einer Messbrücke bestimmt. Die Schaltung wurde von der Geophysik bereitgestellt und direkt an dem Pin 14.2 am Board angeschlossen. Zudem muss die Masse von der externen Schaltung mit der Masse des

3. Durchführung

Boards gekoppelt werden. Die Messbrücke ist mit einem Potentiometer bei einem Druck von 1001hPa auf eine Spannung von 1V geeicht. Bei der Messbrücke handelt es sich um eine Wheatstone'sche Brücke, die bereits vom Werk aus geeicht ist. Die ausgegebene Spannung ist somit proportional zum wirkenden Druck. Der Luftdruck liegt bei etwa 1000hPa und in einer Tiefe von 10m hat sich der Druck nach der Gleichung (2.1.2) um 1000hPa erhöht, und damit auch die Spannung um 1V. Somit liegt der Spannungsbereich in dem akzeptablen Bereich des ADC.

Die Messbrücke ist in ein wasserdichtes Gehäuse gebaut und wird über ein Kabel mit einer Platine und der Spannungsversorgung verbunden. Somit ist die Druckmessung vollkommen von den anderen Messungen getrennt und wird nicht von diesen beeinflusst.

3.1.4. Echolotmessung

Mithilfe von zwei Piezokristallen wird eine Echolotmessung realisiert. Die Kristalle haben eine Resonanzfrequenz von 40kHz und liegen somit im Ultraschallbereich. Der Sendekristall wird mithilfe von PWM (Puls Width Modulation) mit einem Signal von maximal +3.3V geschaltet. Um diese Maximalspannung zu erhöhen, wird der Kristall über ein MOSFET-Transistor an +24V betrieben. Um die Tiefe zu messen, muss ein klar definiertes Signal ausgesendet werden. Hierzu werden 20 Schwingungen auf den Sendekristall gegeben.

Der Empfängerkristall wird über einen Verstärker an den ADC angeschlossen. Für die Messung der Tiefe wird die Laufzeit der Wellen vom Aussenden bis zum Empfangen gemessen und daraus die Entfernung berechnet. Die Entfernung wird nach dem Gesetzen aus dem Kapitel 2.2.2 berechnet. Zur Bestimmung der Bodenbeschaffenheit soll zudem das ganze ausgesendete Signal aufgezeichnet und anschließend analysiert werden.

3.2. Positionsbestimmung via GPS und Geodimeter

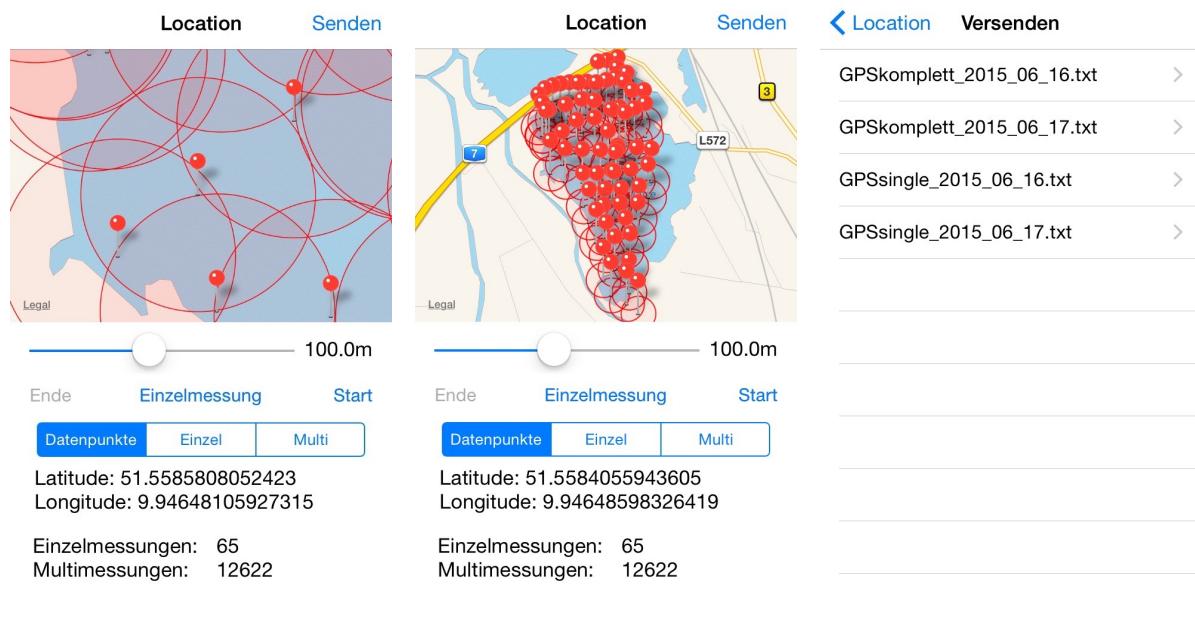
Die Bestimmung der Position wird zum einen mithilfe eines Geodimeters durchgeführt. Dieses berechnet, wie im Kapitel 2.7 beschrieben, die Position durch eine genaue Berechnung der Entfernung und des Winkels mithilfe eines Lasers und einem Retroreflektor. Diese Messmethode ist sehr genau, benötigt aber zwei Teams: Eines, das an Land das Geodimeter bedient, sowie die Koordinaten notiert und Eines, das auf dem Boot den Retroreflektor positioniert.

Als Alternative hierzu wird ein GPS in den Datenlogger implementiert, welches bei jeder Messung die aktuellen globalen Koordinaten in die letzte Stelle der Messdatei schreibt. Hierzu wird ein GPS-Gerät von Garmin[©] verwendet, welches in der Geophysik vorhanden war. Dieses besitzt eine RS232 Schnittstelle, welche mithilfe eines selbstgebauten Pegelkonverters die ausgegebenen $\pm 6V$ auf TTL-Signale mit einem maximalen Pegel von 3.3V und einem minimalen Pegel von 0V konvertiert. Dies geschieht über 5 Dioden und einen Pulldownwiderstand, um eine kleine Last zu erzeugen, die das Signal nicht verzerrt. Anschließend werden die Daten vom Mikrocontroller über eine UART

3. Durchführung

Schnittstelle bei einer Baudrate von 9600 Baud eingelesen. Das GPS sendet die aktuellen Koordinaten mit der aktuellen Atomuhrzeit als ASCII-Text jede Sekunde an den Logger. Mithilfe der Zeit kann die RTC (RealTimeClock) des Boards einmalig auf die GPS-Zeit eingestellt werden.

3.3. Smartphone-App



(a) Einzelne Datenpunkte an einer Stelle des Sees.

(b) Übersicht über alle aufgenommenen Messpunkte in der App.

(c) Auswahl der zu versendenden Datei.

Abbildung 3: Screenshots der App.

Da bei der ersten Messung schon das Abfahren des relativ kleinen Göttinger Kiessees in einem regelmäßigen Raster nicht leicht war, erstellten wir eine App für ein Smartphone. Das GPS-Modul des Smartphones liefert die aktuelle Position und stellt sie auf einer Karte dar. Nun gibt es zwei Möglichkeiten:

- Multi-Messung: Die Position wird ständig getrackt. Sobald sie sich verändert, wird diese in eine Datei geschrieben.
- Einzelmessung: Dies kann parallel zu der Multi-Messung passieren. Hierbei wird nur auf Knopfdruck auf den Button „Einzelmessung“ ein einzelner Ort in eine andere Datei geschrieben. Außerdem wird die Position auf der Karte mit einer Stecknadel markiert und um die Position wird ein Radius eingezeichnet, der sich

3. Durchführung

über einen Schieberegler einstellen lässt. Dies hat den Vorteil, dass man variabel die Rasterung anpassen kann.

Die App zeigt (wie in Abb. 3(a) zu sehen) auch die Anzahl der aufgenommenen Datenpunkte an und die beiden Dateien, welche bei den Messungen angelegt werden.

Wurde die Messung an einem Ort nun beendet, kann man einfach so lange in eine Richtung fahren, bis man den roten Kreis um den letzten Datenpunkt erreicht hat. Im Verlauf der Messung wird nun der ganze See systematisch mit den Kreisen überdeckt. Am Ende des Messtages kann mit dem Knopf „Senden“ nun eine Tabelle (s. Abb. 3(c)) geöffnet werden, welche die vorhandenen Dateien anzeigt. Tippt man nun auf eine der Zeilen, so wird eine Mail erstellt, die schon voreingestellt die Mailadressen, Betreff und Inhalt, sowie die angehängte Datei besitzt. Diese kann nun bequem mit einem Tippen versandt werden.

3.4. Messdurchführung

Zur Vermessung eines Sees ist es notwendig, zunächst den Bereich, den man vermessen möchte, sinnvoll einzuschränken und sich eine 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, den Messstab für das Geodimeter hochhält und ausrichtet. Nutzt man das GPS zur Positionsbestimmung, muss stattdessen gleichzeitig die aktuelle Position mit der selbstgeschriebenen App markiert werden und der Datenlogger gestartet werden, damit zu den GPS-Daten der App gleich der Dateiname der Messreihe gespeichert wird. Ist nun die Messung gestartet, so wird die Sonde langsam ins Wasser gelassen. Um eine signifikante Menge an Datenpunkten für alle Tiefen zu bekommen, darf man die Sonde nur mit einer Sinkgeschwindigkeit von höchstens 10cm/s herunterlassen. Erreicht die Sonde den Boden, so muss die Messung beendet werden, da sich sonst gegebenenfalls Schlamm um die Sensoren legt. Kommt das Gewicht nicht auf dem Boden an, so kann die Sonde wieder nach oben gezogen werden, um die doppelte Anzahl an Messwerten für die jeweilige Tiefe zu bekommen.

Erreicht die Sonde in diesem Fall wieder die Oberfläche, so wird die Messung beendet. Dies ist notwendig, da der Lichtsensor an der Oberfläche durch die Sonneneinstrahlung eine zu hohe Spannung liefert und so den ADC übersteuert.

4. Auswertung

Unser eigentlicher Plan sah vor, den Seeburger See zu vermessen. Dieser ist bis zu 4.2 Meter tief². Dementsprechend wählten wir unsere Kabellängen auf maximal 8m. Da dieser See jedoch auf Grund von Granatenfunden aus dem 2. Weltkrieg vom 25.05. bis zum 26.06.15 gesperrt war, mussten wir auf die andere Seen in der Region ausweichen.

So haben wir am 10. Juni von 12 bis 15 Uhr am Göttinger Kiessee unsere ersten Messdaten aufgenommen. Da dieser viel kleiner und nur maximal 2.2 Meter tief ist, erwarteten wir nicht, dort auf interessante Phänomene zu stoßen. Jedoch konnten wir so die Sonde testen und wir haben viele Probleme während des Messprozesses entdeckt, z.B. wie die Effekte, welche von Schlamm an den Sensoren herrühren.

Eine Woche später, also am 17.06., haben wir dann auf dem Großen See bei Northeim von 11 Uhr bis 15:30 Uhr gemessen. Um mehr Messdaten über die Lichtstreuung zu bekommen, setzten wir bei dieser Messung die Umschaltfrequenz der LEDs von 2 Hz auf 10 Hz. Beim Testen unseres Messgeräts am Morgen stellten wir jedoch fest, dass man drei verschiedene „Temperaturkurven“ sieht, also immer wieder Sprünge in den berechneten Temperaturdaten. Dies liegt an dem An-/Ausschalten der beiden LEDs. Eine genauere Erklärung findet sich im Abschnitt 5.4. Diesen Effekt sieht man jedoch nicht bei den ersten Messdaten, da dort die Frequenz geringer war. Allerdings springen die Temperaturwerte von Messreihe zu Messreihe. Dies ist schlecht, da man somit manchmal überhaupt keine richtigen Daten hat, die man mit anderen vergleichen kann.

4.1. Ortsbestimmung

In Abb. 4 sind die Tiefen an den jeweiligen Messpunkten am Göttinger Kiessee aufgetragen. Die von GPS ausgegebenen Latitude und Longitude werden mithilfe einer Kugel vom Radius $R = 40000\text{km}$ auf Oberflächenkoordinaten umgerechnet. Des Weiteren werden die Koordinaten anhand eines Referenzpunktes auf Länge und Breite des Sees zurückgerechnet. Diese wurden mit dem Geodimeter bestimmt und die gestrichelten Linien verbinden die Messpunkte miteinander. Dabei ist zu erkennen, dass die Fahrt kein regelmäßiges Muster verfolgt. Als Vergleich mit GPS-Signalen sind die Daten, die wir bei der Göttinger Messung noch mit einer kommerziellen App aufgenommen haben, in Abb. 5 aufgetragen. Diese wurden durchgehend aufgezeichnet, jedoch kann man an den Umkehrpunkten erkennen, dass die Positionen ungefähr übereinstimmen. Es ist zu erkennen, dass wir kein regelmäßiges Raster abgefahren sind.

Unsere Befürchtung, dass das GPS-Signal zu ungenau ist, stellte sich also als falsch heraus. Wir nutzten bei der zweiten Messung gleichzeitig einen GPS-Logger und die selbstgeschriebene Handy-App. Durch Vergleich der beiden Messdaten erkennt man, dass sie sehr gut miteinander übereinstimmen. Dies ist vielleicht auch zu erwarten, da beide ähnliche Signale bekamen.

²www.nlwkn.niedersachsen.de/download/58239/Seeburger_See.pdf, S.7

4. Auswertung

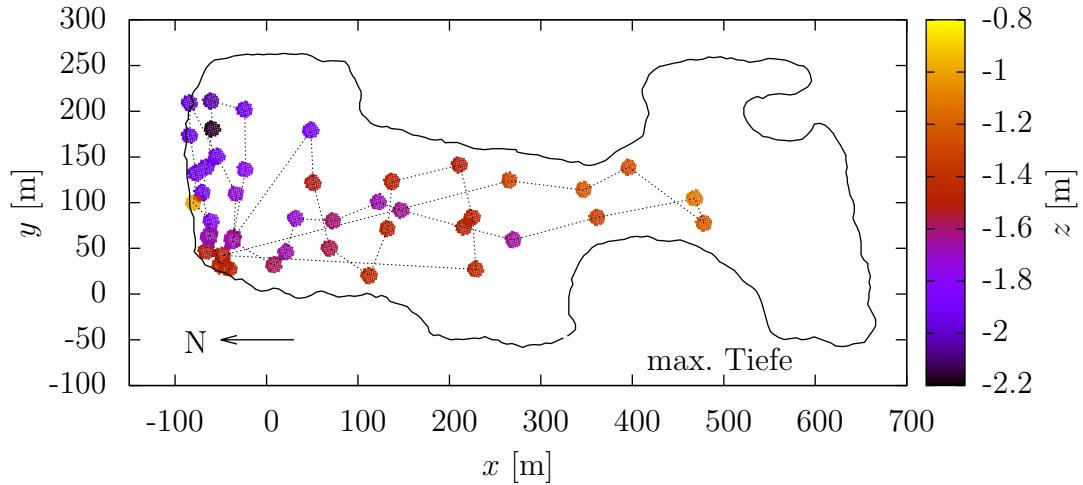


Abbildung 4: Tiefe in Göttingen gegen die Ortsmesspunkte als Farbkarte aufgetragen.

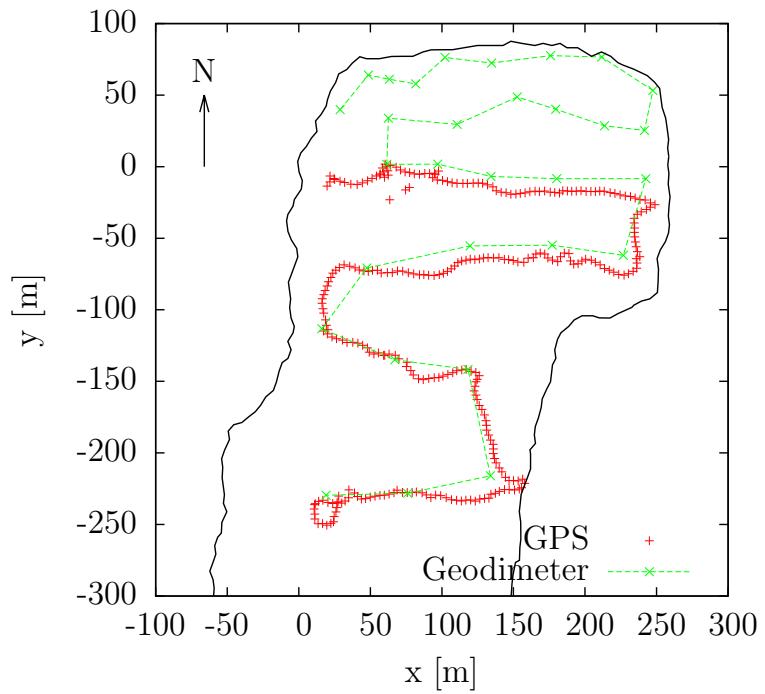


Abbildung 5: Position des Bootes laut GPS-Signal verglichen mit den Geodimeter Mes- sorten in Göttingen.

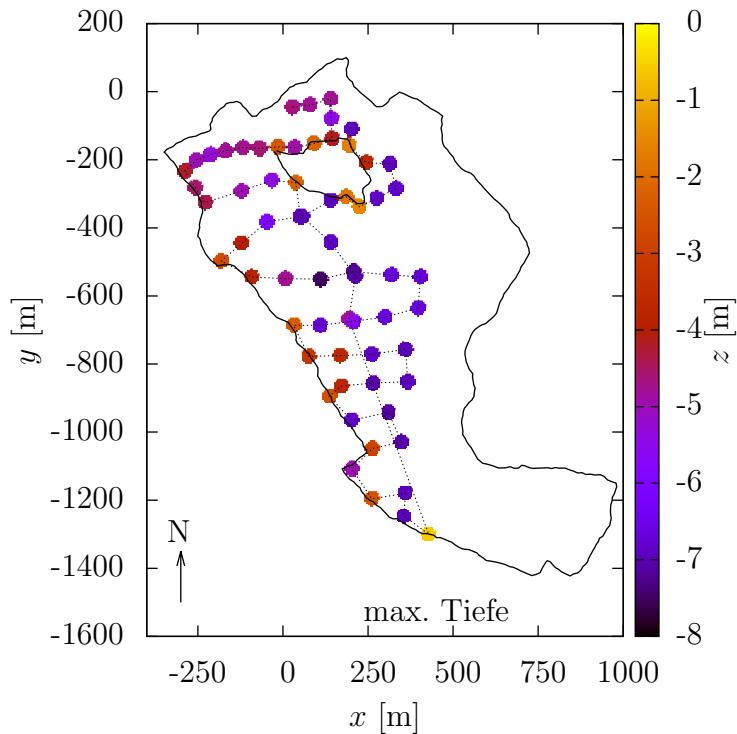


Abbildung 6: Die Messpunkte auf dem Northeimer See mit den Tiefen als Farbkarte.

Der GPS-Logger zeigte die Genauigkeit auf dem Display an, welche fast immer 3m betrug. Diese hohe Genauigkeit, welche sich unter „Normalbedingungen“ nur selten erreichen lässt, wird dadurch erklärt, dass wir auf einer weiten Fläche ohne große Hindernisse waren. Somit gab es nichts, was die Signale der Satelliten reflektieren oder blockieren konnte. In Abb. 6 kann man erkennen, dass wir in Northeim mit der Unterstützung der Smartphone-App wesentlich besser gefahren sind. Dass wir die östliche Seite des Sees nicht befahren haben, liegt daran, dass dort noch aktiv Kies abgebaut wird. Daher ist das Befahren dort verboten.

4.2. Druck & Tiefe

Laut Datenblatt und wie im Kapitel 3.1.3 beschrieben, sollte die Spannung der Druckmessbrücke linear mit dem Druck steigen und pro Bar ein Volt größer werden. Allerdings bemerkten wir schon während der Messung, dass die vom Datenlogger angezeigten Werte nicht ganz mit den von uns vorgenommenen Markierungen am Kabel im 1m Abstand übereinzustimmen schienen. So ließen wir die Sensoren laut Kabel bis in eine Tiefe

4. Auswertung

von ca. 7.5 m hinab. Allerdings ging die tiefste Messung laut aufgezeichneten Werten unter dieser Voraussetzung nur bis in eine Tiefe von ca. 6.8 m. Da jedoch eine 8-Meter-Wassersäule schon einen beachtlichen Druck ausübt, konnten wir keine Referenzmessung zur Eichung machen, so dass wir uns entschlossen haben, einen linearen Korrekturfaktor von 1.1 einzuführen, um den jede Tiefe gestreckt wird. Unter dieser Annahme erhielten wir Werte, die mit den Beobachtungen übereinstimmten. Die Linearität der Korrektur scheint insofern angebracht, als dass wir uns bei vielen Messungen Mühe gaben, die Sonde von Hand möglichst gleichmäßig herabzulassen. Die aufgenommenen Druckkurven waren auch annähernd linear.

In Abbildung 4 ist die maximale Tiefe der einzelnen Messdaten an den jeweiligen Messpunkten dargestellt. Man erkennt, dass der See am nördlichen Ende scheinbar mit etwa 2.2 Meter am tiefsten ist und nach Süden leicht flacher wird. Für den Northeimer See ist eine solche Karte in der Abbildung 6 zu sehen, allerdings wurde nur an einigen Punkten der Boden erreicht. An den anderen Punkten war es tiefer als es unser Kabel hergab, also tiefer als 7 Meter. Die Druckkurven besaßen eine Breite (und insofern ein Fehlerintervall) von ca. 15cm. Für die Temperaturwerte der Northeimer Messung mussten wir die Daten bearbeiten. Da wir aufgrund der springenden Temperatur die Daten in 40er Blöcke unterteilt haben, nahmen wir von den Tiefendaten den Mittelwert.

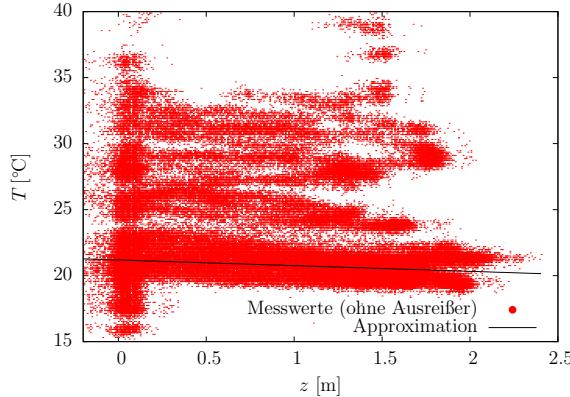
4.3. Temperatur

Bei der Temperaturmessung ergaben sich die meisten Fehler und die Daten müssen am stärksten gefiltert werden. Aus diesem Grund sind alle Fehler statistische Fehler, da unseren angenommenen Fehler von $\sigma_{\text{Temperatur}} = 0.1^\circ\text{C}$ deutlich kleiner sind. Durch die Veränderung der LED-Frequenz, wie oben geschrieben trat der Fehler mit der quantisierten Linienaufspaltung deutlich stärker auf. Dies sorgt dafür, dass die Werte aus Northeim in der Auswertung verlässlicher sind, da sie leichter gefiltert werden können. Näheres dazu in den jeweiligen Unterkapiteln.

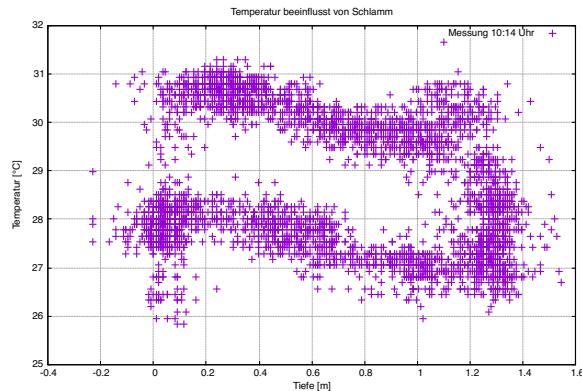
4.3.1. Göttingen

In Abb. 7(a) sind alle von uns aufgenommenen Temperaturen bis 40°C aufgetragen. Darüber hinaus waren noch einige Werte bei bis zu 140°C , welche jedoch augenscheinlich durch einen Wackelkontakt in der Stromversorgung zustande kamen. Ebenfalls ist dort ein linearer Fit über die Werte, welche im Wasser aufgenommen wurden und sich unterhalb von 24°C befinden. Von diesen nehmen wir nämlich an, dass sie richtig sind und das dort der Temperaturwiderstand mit der richtigen Spannung von 3.3 V betrieben wird. Die Gerade hat die Form $T(z) = (21.2 \pm 0.7)^\circ\text{C} - (0.43 \pm 0.05)^\circ\text{C m}^{-1} \cdot z$. An ihr kann man den allgemeinen Trend erkennen, dass es pro Meter etwa 0.4°C bis 0.5°C kälter wird. Die Messwerte schwanken jedoch um diese Gerade um bis zu 2°C . Sie stammen aber auch von mehreren Messreihen, also von unterschiedlichen Orten und zu verschiedenen Zeiten. So sind die angegebenen Fehler keine Fehlerwerte aus einem linearen Fit,

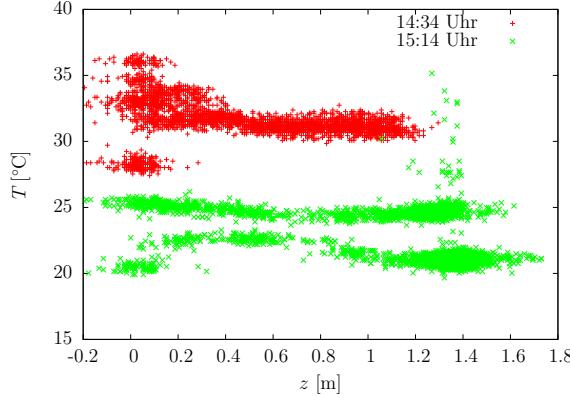
4. Auswertung



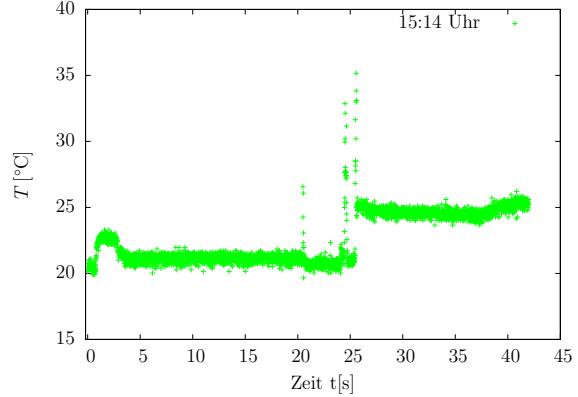
(a) Temperaturverlauf am Göttinger Kiessee mit fast allen aufgenommenen Werten. Einige Werte, welche offensichtlich durch Wackelkontakte zu Stande kommen (bis zu 140°C) wurden zwecks Übersichtlichkeit ausgeblendet



(b) Bei der Messung in Göttingen wird der Einfluss von Schlamm auf dem Temperatursensor gezeigt. Die obere Kurve entstand beim hinunterlassen, die untere beim hochziehen. Es ist zu dem der stetige Übergang zwischen den beiden Linien bei fester Tiefe zu sehen.



(c) Temperaturverlauf von zwei ausgesuchten Datensätzen in Göttingen gegen Tiefe.



(d) Temperaturverlauf von einer ausgewählten Messreihe in Göttingen gegen Zeit.

Abbildung 7: Temperatur des Göttinger Kiessees: alle Werte, der Einfluss von Schlamm und zwei beispielhafte Verläufe der Temperatur gegen Zeit und Tiefe.

sondern resultieren aus verschiedenen Einschränkungen des akzeptierten Wertebereichs, denn die Korrelation der Daten ist auf Grund der starken Streuung nicht besonders gut. Eine genauere Auswertung ist auf Grund der wenigen brauchbaren Messreihen und der vergleichsweise geringen Zeitspanne nicht möglich.

In der Abbildung 7(c) ist noch einmal genauer zu sehen, dass sich die Temperatur zeitlich extrem stark zu ändern scheint. Bei diesen Daten muss es sich um Messfehler handeln, da die Temperatur des Sees in der angegebenen Zeit nicht um 15°C schwanken kann. Es ist in diesen Daten kein Muster zu erkennen, dass sich eindeutig einem bestimmten

4. Auswertung

Fehler zuordnen lässt, wie es im nächsten Kapitel der Fall ist. Dennoch vermuten wir, dass diese Linienauflösung wieder durch das Umschalten der LEDs zustande kommt. In der Abbildung 7(d) ist noch einmal der gleiche Datensatz von 15:14 Uhr (Abb.7(c)) – nun aber gegen die Zeit – geplottet. Der erkennbare Sprung ist vermutlich auf einen Wackelkontakt zurückzuführen, der oben bereits angemerkt wurde. Damit lassen sich auch die zwei gegen die Tiefe erkennbaren Temperaturlinien erklären. Somit sind auch diese Daten nicht auswertbar, da man nicht sagen kann welche von beiden die richtige Linie für die Temperatur im See ist. Hierzu hätte eine genau Messung mit einem geeichten Messgerät durchgeführt werden sollen.

Die Abbildung 7(b) zeigt einen weiteren tiefenabhängigen Temperaturverlauf. In diesem Plot ergeben sich zwei Linien, die einen stetigen Übergang in einer bestimmten Tiefe besitzen. Bei dieser Messung traf die Sonden auf dem Boden auf und es sammelte sich Schlamm an, welcher wieder nach oben befördert wurde. Die Temperatur verläuft von oben nach unten, da der Schlamm unten im See deutlich kühler ist, als das umgebene Wasser. Auch diese Daten sind nicht auszuwerten, da die Schlammttemperatur aus fast allen Datensätzen gefiltert werden muss.

4.3.2. Northeim

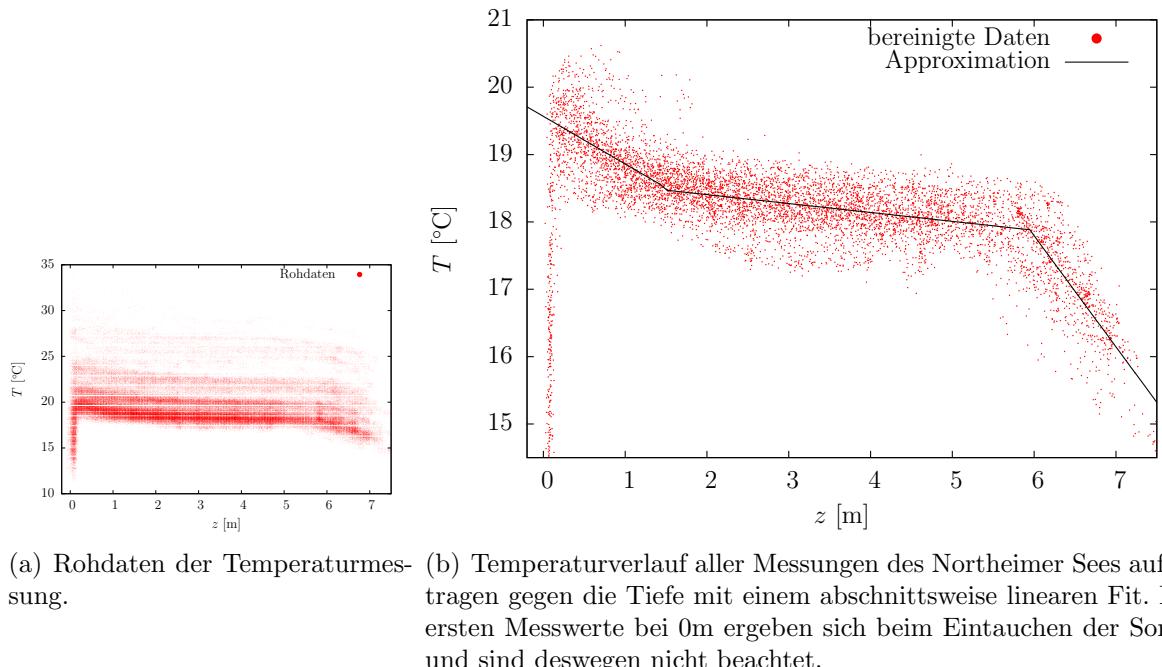
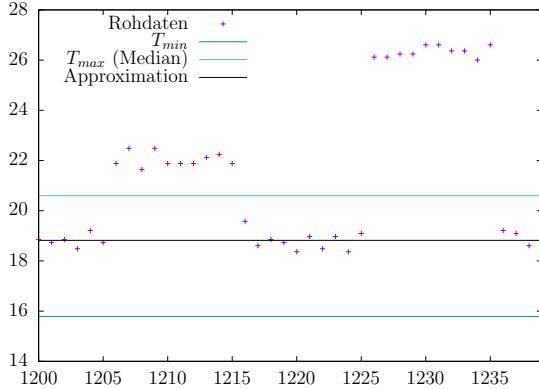
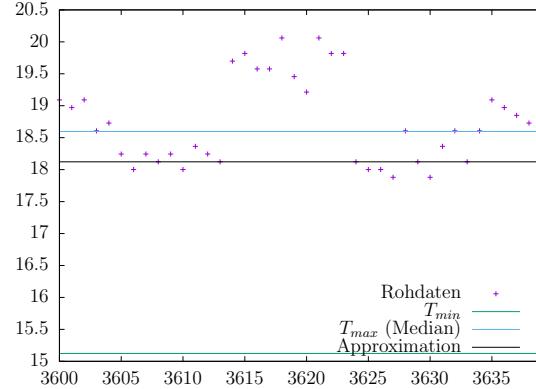


Abbildung 8: Temperaturmessung in Northeim mit allen Messdaten und den bereinigten.

4. Auswertung



(a) Beispiel 1



(b) Beispiel 2

Abbildung 9: Algorithmus zum Filtern der Temperaturdaten. Es sind in beiden Plots die Sprünge, sowie die Korrekturen in der Temperatur gut zu erkennen.

In Grafik 8(a) sind alle Temperaturmessungen der Messung in Northeim aufgetragen. Man erkennt deutlich mehrere Linien. Um dies zu beheben und die richtigen Daten zu verwenden, müssen sie gefiltert werden. Dabei werden immer 40 Werte nach dem folgenden Algorithmus zu einem Temperaturwert zusammengefasst: Zuerst wird der Median bestimmt; nun werden nur noch Werte unterhalb dessen betrachtet, der Median ist also T_{max} . Außerdem schließt man Ausreißer nach unten aus, indem der untere Quartilwert -3°C als T_{min} verwendet wird. Von den verbleibenden Werten wird der Mittelwert genommen. Dieses Verfahren wird in Abb. 9 verdeutlicht. Das Resultat des Filtervorgangs ist in Abb. 8(b) zu sehen. Wieder wurden alle Daten in einen Plot eingezeichnet, denn der See schien im Rahmen der Messfehler homogen. Man erkennt drei verschiedene Bereiche: $0.2 - 1.5 \text{ m}$, $1.5 - 5.9 \text{ m}$ und $5.9 - 7.5 \text{ m}$. Die gefittete Kurve besteht aus drei linearen Fits, welche in den einzelnen Bereichen durchgeführt werden. Es ergeben sich die Werte aus Tabelle 2. Betrachtet man den Tiefenbereich von etwa 0m bis 6m, so kann man die in Kapitel 2.6 beschriebene Schicht Epilimnion erkennen. Ab 6m erkennt man einen weiteren Übergang, der dann in eine weitere Schicht, in die Thermo-nokline überführt.

Tiefe [m]	Temperaturabnahme [$\frac{{}^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$]	Temperaturintervall [${}^{\circ}\text{C}$]
0.2 - 1.5	-0.71 ± 0.03	19.4 - 18.5
1.5 - 5.9	-0.132 ± 0.005	18.5 - 17.9
5.9 - 7.5	-1.65 ± 0.04	18.0 - 15.3

Tabelle 2: Temperaturkoeffizienten aus dem Fit von Abb. 8(b).

4. Auswertung

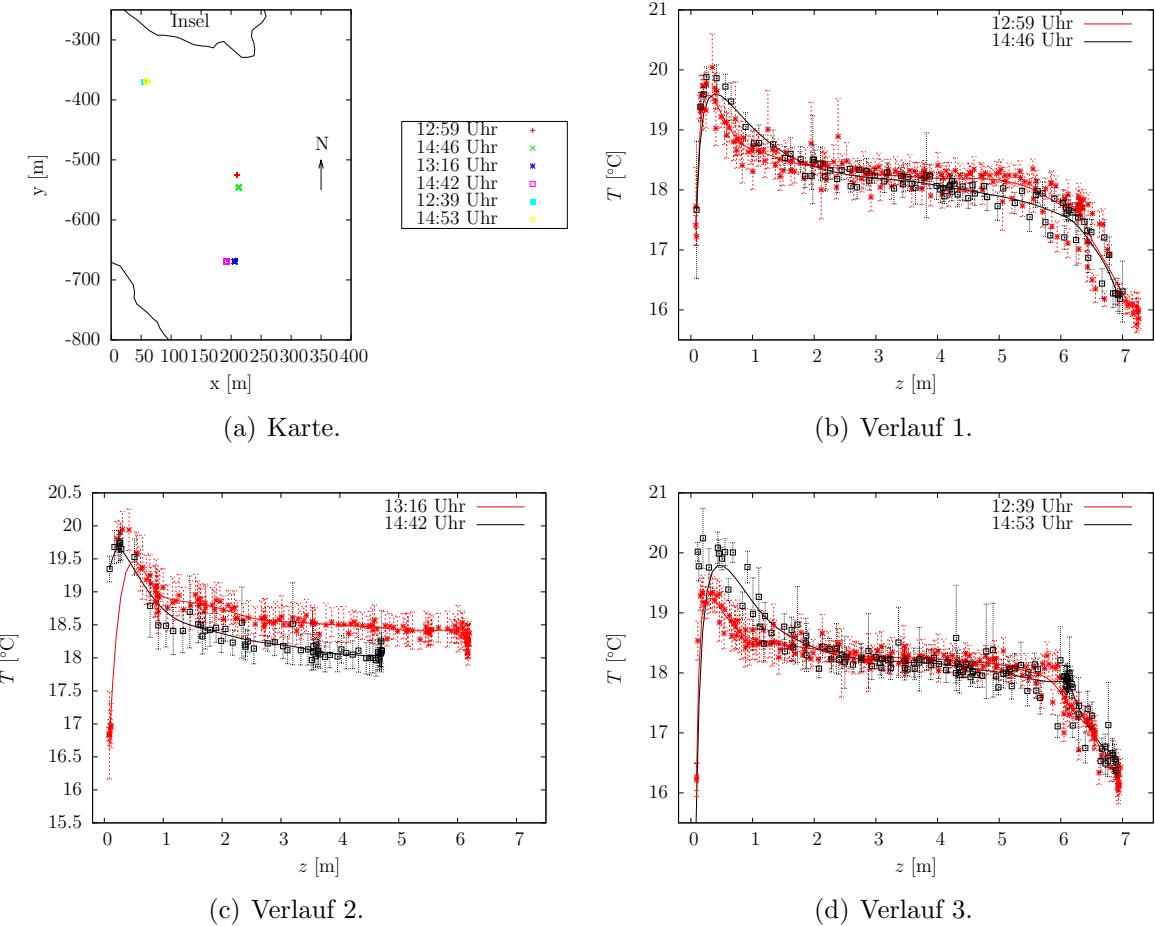


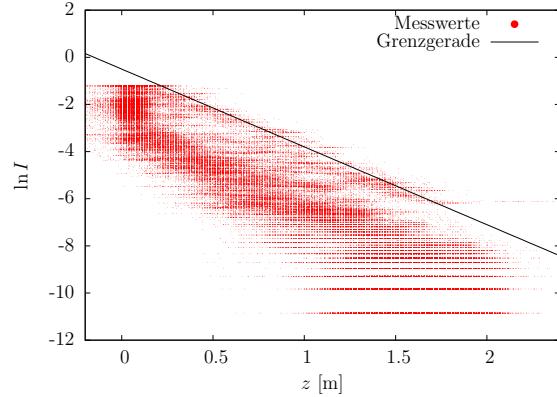
Abbildung 10: Messpunkte in Northeim (in a), die wir zweimal besucht haben, und deren Temperaturkurven.

Da wir in der App die vorherigen Messpositionen auf einer Karte sehen konnten, haben wir drei Positionen noch ein zweites Mal besucht, um vergleichen zu können, wie sich der See mit der Zeit erwärmt. Diese sind in der Karte 10(a) eingezeichnet. Vergleicht man jeweils die beiden Temperaturkurven in Abb. 10(b) bis 10(d), erkennt man keine großen Temperaturdifferenzen. Die Messfehler scheinen zu überwiegen. Eventuell kann man in der Abb. 10(d) erkennen, dass sich die Seeoberfläche leicht erwärmt hat. Für eine genauere Analyse hätte man jedoch über einen längeren Zeitraum messen müssen. In Abbildung 10(c) ist die später aufgenommene Kurve etwa 0.5°C unter der früheren. Dies kann verschiedene Gründe haben: Zum einen kann dies ein Fehler des obigen Filteralgorithmen sein, zum anderen könnte es auf Messfehler zurückzuführen sein, denn eine Abkühlung scheint nicht plausibel. Wir erwarten nämlich eine Erwärmung, da an diesem Tag die Sonne stark geschienen hat. Auffällig ist auch, dass die zweite Messreihe

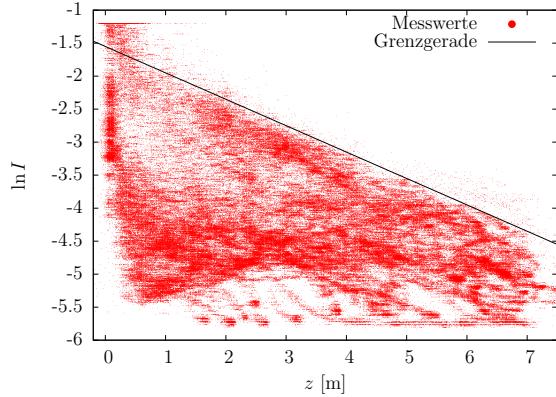
4. Auswertung

etwa 1.5 Meter kürzer ist, der See in dieser Region also steil abzufallen scheint, da die beiden Messpunkte nur etwa 15 Meter entfernt sind. Diese Veränderung zu messen, wäre sicherlich auch interessant.

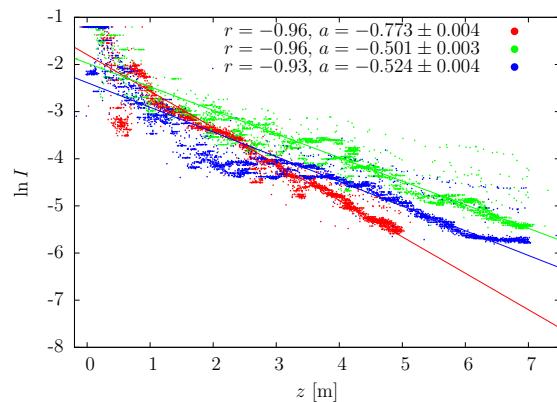
4.4. Licht



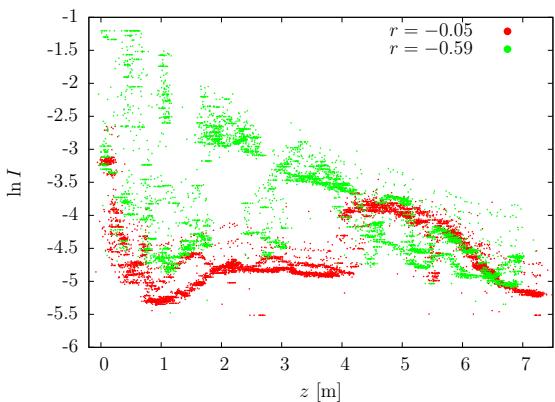
(a) Alle gemessenen Intensitätswerte aus Göttingen logarithmisch aufgetragen. Des Weiteren ist die Grenzgerade, welche die mittlere Intensitätsabnahme darstellt, eingetragen.



(b) Alle Messwerte der Lichtabsorption in Northeim logarithmisch aufgetragen. Zu dem ist wieder die Grenzgerade eingetragen.



(c) Northeim: Einzelne Messungen mit guter Korrelation.



(d) Northeim: Einzelne Messungen mit schlechte Korrelation.

Abbildung 11: Ergebnisse der Absorptionsmessung. Es sind die Ergebnisse der Grenzgeraden und einige Verläufe aufgetragen.

Bei der Photodiode zeigte sich in den Messdaten zum einen ein starkes Schwanken auf dem ersten Meter und zu anderen ein abnehmendes Verhalten. Dennoch werden die Daten nicht gefiltert. Da hier wieder der See als homogen angenommen wird, können alle

4. Auswertung

Datenpunkte verwendet werden. Bei der Auswertung werden alle Daten logarithmisch aufgetragen, da dies aufgrund der Gleichung 2.3.1 zu erwarten war. Es sollte sich ein linearer Zusammenhang mit dem Negativen des Absorptionskoeffizienten als Steigung zeigen. Um über den ganzen See zu mitteln, werden alle Messdaten aus allen Messreihen in einer Graphik aufgetragen und eine Grenzgerade eingefügt. Diese liegt von oben an den Messwerten an, da man mit dem Boot, der Sonde, etc. nur Schatten machen kann, es also in der jeweiligen Tiefe nicht heller sein kann, als dort maximal gemessen wurde. Die Intensität I ist in unserem Fall proportional zur Photospannung U_{Photo} . Somit haben alle Intensität die Einheit Volt.

4.4.1. Göttinger Kiessee

Bei den Göttinger Messungen, zeigte sich, dass der See mit vielen Schwebeteilchen durchzogen war, somit der Absorptionskoeffizient nicht nur rein vom Wasser abhängt. Wie oben geschrieben wurden alle aufgenommenen Messwerte der Absorption gegen die Tiefe aufgetragen. Dies ist für Göttingen in der Abbildung 11(a) zu sehen. Dadurch, dass alle Messwerte aufgetragen sind, ergibt sich ein linearer Zusammenhang, der proportional zum Mittelwert der gemessenen Absorption ist. Die Grenzgerade hat die Steigung $a = (-3.3 \pm 0.3)\text{m}^{-1}$. Vergleicht man diesen mit der Theorie aus Kapitel 2.4, so entspricht dies einer Wellenlänge von $\lambda_{\text{Göttingen}} > 750\text{nm}$. Dies liegt im Sonnenspektrum, ist aber durch unsere Literaturwerte nicht näher bestimmt. Bei der Messung wurde mit einem Offset von 3.31mV gerechnet, da die Photodiode hier einen nicht verschwindenden Dunkelstrom hat.

4.4.2. Northeimer Kiessee

Bei der Messung in Northeim konnte in größeren Tiefen gemessen werden, als in Göttingen. Somit sollten auch die Messwerte besser korrelieren. Des Weiteren haben wir bemerkt, dass der See deutlich klarer war, als der in Göttingen, somit sollte die Absorption stärker von der des Wassers abhängen. In Abbildung 11(b) sind wieder alle aufgenommenen Messwerte der Intensität gegen die Tiefe aufgetragen. Ebenfalls ist wieder eine Grenzgerade eingezeichnet worden, die den Mittelwert der Absorption zeigt, da der See wieder als homogen angenommen wird. Es ergibt sich eine Steigung von $a = 0.40 \pm 0.02$. Vergleicht man diese wieder mit der Theorie vom Kapitel 2.4, so ergibt sich eine Wellenlänge von etwa $\lambda_{\text{Northeim}} = 660\text{nm}$. Diese liegt wieder im Sonnenspektrum und vergleicht man dies mit der relativen Sensitivität aus dem Datenblatt [4, S. 20], so erkennt man, dass sie bei dieser Wellenlänge bei etwa 80% liegt. Dies deutet daraufhin, dass der See bei einem solchen Wellenlängenbereich recht wenige Schwebstoffe an den gemessenen Messpunkten beinhaltet.

In den Abbildungen 11(c) und 11(d) sind jeweils einzelne Messreihen guter und schlechter Korrelationen zu sehen. Es ist gut zu erkennen, dass an einigen Stellen die Photodiode homogen beschienen wird und somit durchgehend die Absorption vom Wasser bestimmt

4. Auswertung

werden konnte. Die zeigt sich auch in den Korrelationskoeffizienten, die alle zwischen $r = 0.93$ und $r = 0.96$ liegen. Die linearen Konstanten sind alle etwas unterschiedliche, hier von $a = -0.773 \pm 0.004$ bis zu -0.524 ± 0.004 , und weichen somit um bis zu 95% von der Steigung der Grenzgeraden ab. Dies ist verwunderlich, da wir von den Daten guter Korrelationen erwarten, dass sie den Absorptionskoeffizient am besten darstellen sollten. In der schlechten Messung ist die linearer Auswertung fast nicht möglich, da die Messwerte sehr stark schwanken. Die Korrelationskoeffizienten bestätigen dieses, da sie mit $r = -0.59$ und $r = -0.05$ sehr schlecht sind. Bei der zweiten Kurve (grün) lässt sich wahrscheinlich eine Drehung der Sonde beobachten.

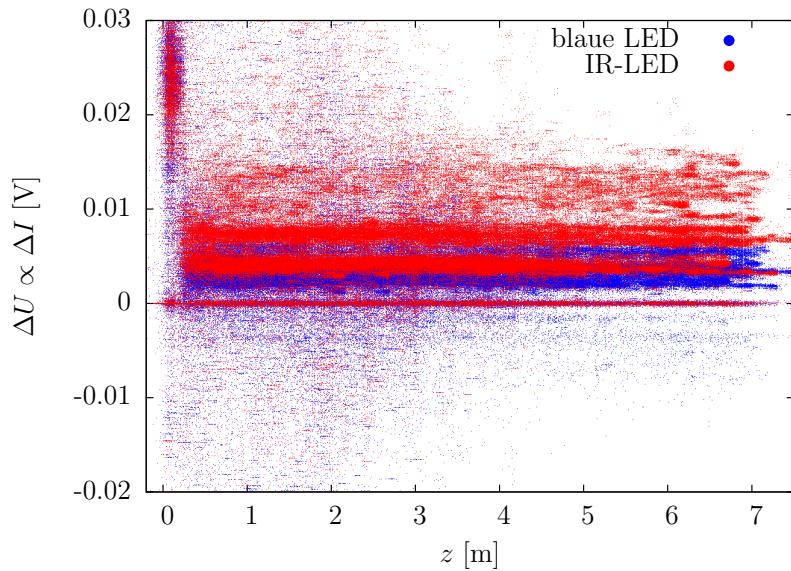


Abbildung 12: Intensität der einzelnen LEDs (Infrarot und Blau) in Differenz zur Sonnenintensität aufgetragen für die Northeimer Messung.

In der Abbildung 12 sind die gemessenen Intensitätsunterschiede zwischen an- und ausgeschalteten LEDs gegen die Tiefe aufgetragen. Dies soll zudem den Einfluss der Sonnenintensität reduzieren. Das Ergebnis zeigt etwa eine Konstante für jede der beiden LEDs. Des Weiteren sind die – wie oben beschriebenen – Streuungen auf den ersten Metern immer noch gut zu erkennen. Da die Werte konstant gegen die Tiefe sind berechnen wir den Mittelwert aus den jeweiligen Intensitäten. Für die blaue LED ergibt sich eine mittlere Intensität von $I_{\text{blau}} \propto (3.1 \pm 2.7)\text{mV}$ und für infrarote eine mittlere Intensität von $I_{\text{IR}} \propto (5.9 \pm 3.7)\text{mV}$. Die Größe der Fehler (aus der Standardabweichung) von bis zu 88% ergeben sich aus den starken Streuungen der Messwerte. Die infrarote LED wird von der Photodiode also als doppelt so hell wahrgenommen als die blaue. Dies ist wahrscheinlich durch die höhere Sensitivität der Photodiode auf dem roten bis infraroten Bereich zu erklären.

4.5. Gemessenes Abstandsgesetz

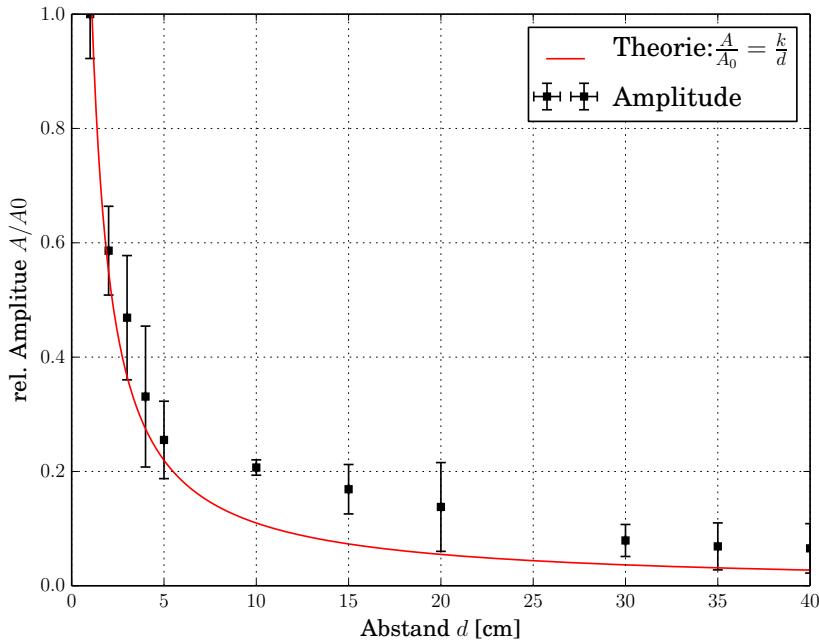


Abbildung 13: Relative Amplitude des Echolotes wurde aufgetragen gegen den Abstand d . Zudem wurde eine χ^2 Anpassung an die Messdaten durchgeführt.

Da die Sendeleistung nicht ausreichte, um die Anordnung der Piezokristalle tatsächlich als Echolot zu verwenden, haben wir nur die Abstandsabhängigkeit der Schallintensität in Luft näher untersucht. Dies wurde zunächst mit der Motivation durchgeführt, eine mit der vorgegebenen Sendeleistung maximale Reichweite zu ermitteln. Als klar wurde, dass diese nicht ausreicht, untersuchten wir die Abnahme der Amplitude weiter.

Zu diesem Zweck haben wir Sender und Empfänger parallel zueinander ausgerichtet und den Abstand mit einer Skala gemessen. Um dann die Amplitude bei einer bestimmten Entfernung abzulesen, haben wir ein Oszilloskop an den Empfänger angeschlossen.

Wir haben hierfür drei Messreihen durchgeführt und anschließend wurde für jede Entfernung der Mittelwert mit Standardabweichung berechnet. In Grafik 13 ist das Messergebnis zu sehen, wobei wir die relative Amplitude $\frac{A}{A_0}$ berechnet haben.

Zudem wurde eine χ^2 Anpassung an die berechneten Mittelwerte durchgeführt, wobei hier die in der Theorie vorgestellte $\frac{1}{d}$ -Abhängigkeit angenommen wurde, sprich die mit dem Oszilloskop gemessene Amplitude sich wie die Abstandsabhängigkeit des Schalldrucks verhält.

Die eingezeichneten Fehlerbalken ergeben sich nur aus der statistischen Standardabweichung, da die abgeschätzten Fehler von 0.1% der Amplitude deutlich kleiner sind. Diese

Abhängigkeit war auch hier recht gut gegeben, wie man in dem Plot erkennen kann. Man kann gut sehen, dass die Amplitude nach gerade einmal circa 2.5cm auf unter die Hälfte abgefallen ist. Bei einer Entfernung von 40cm ist dann nur noch gut 5 % vorhanden. Es wird also sehr deutlich, dass für die geplanten Versuche die Sendeleistung nicht ausreichen würde, denn innerhalb eines homogenen Mediums liegt stets eine $\frac{1}{d}$ -Abhängigkeit vor (siehe Abschnitt 2.2.1).

5. Diskussion

5.1. Referenzspannung des ADC

Für den ADC wurde die interne Referenzspannung des Controllers verwendet. Diese ist aber durch den normalen Betrieb des Controllers ein klein wenig verrauscht, das sogenannte Rippling, somit auch die ADC Werte. Dies hat eine Größenordnung von etwa 5mV, sprich 1% der Maximalspannung und ist in allen Datensätzen zu sehen.

Um diesen Fehler zu beheben bzw. zu verringern, ist es nötig eine konstante Referenzspannung zu verwenden. Das Board hat einen nach außen geführten Pin für die Referenzspannung. Nun ist es entweder nötig, die 3.3V des Boards zu nehmen und das Rippling zu vermindern, oder eine eigene lastfreie Spannungsquelle zu bauen. Zudem muss ein Tiefpassfilter mithilfe einer Drosselspule in Reihe geschaltet werden, um das durch die Elektronik induzierte Rauschen zu unterdrücken. Mit dieses Methoden könnte das Rippling auf etwa 0.1% der Maximalspannung gedrückt werden.

5.2. Druck

Zunächst kauften wir einen Drucksensor, der keine Eichkurve hatte. Er bestand aus zwei leitenden Lagen und je größer der auf ihn ausgeübte Druck gewesen wäre, desto größer ist die Kontaktfläche und damit desto kleiner ist der Widerstand. Allerdings ist ein kleines Loch in der Kammer, damit die Luft entweichen kann. Da durch dieses Wasser hineinlaufen könnte, welches einen Kurzschluss verursacht, konnten wir diesen Sensor nicht verwenden.

Daraufhin bekamen wir einen Sensor der Geophysik. Dieser wird über eine externe Schaltung betrieben und wurde deshalb nicht von den Spannungsschwankungen des Boards direkt beeinflusst. Der größte Fehler bei der Kopplung von Druckplatine und Datenlogger bestand noch in der Testphase darin, dass nicht, wie im Kapitel 3.1.3 aufgeführt, die Massen der beiden Platinen gekoppelt waren, obwohl eine eigenständige Leitung für das Massesignal verwendet wurde. Fehlerhaft war hier nicht die Verbindung der Platinen, sondern die boardinterne Masseverteilung. Anscheinend waren die verschiedenen Massepins nicht alle miteinander verbunden. Dies kann an einer fehlerhaften Lötstelle oder einer fehlerhaften Leitung liegen. In unserem Fall wurde des Problem behoben, indem wir alle Masse zudem extern noch ein weiteres Mal gekoppelt haben.

Allerdings wirkte das Rippling der ADCwerte, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, sich auch auf die Auswertung des Drucks aus. Des Weiteren zeigte sich in der Auswertung, dass die Steigung des Druck unterschätzt wurde. Die Tiefe war um fast 10% zu klein. Aus diesem Grund haben wir den Korrekturfaktor von 1.1 verwendet. Mit diesem Faktor sind die Tiefenwerte, wie im Kapitel 4.2 beschrieben, mit den über die Markierungen am Kabel vergleichbar gewesen.

5.3. Ortsbestimmung

Bei der ersten Messung haben wir den Ort mit einem Geodimeter bestimmt. Problematisch war hierbei, dass das Boot mit dem Reflektor relativ stark geschwankt hat. Dies führte gerade bei Messungen, wo das Boot dicht am Geodimeter war dazu, dass die Aufnahme der Position erschwert wurde. An einer Stelle konnten wir den Messstab in über 5 min nicht ruhig genug halten, so dass wir schließlich die Position nicht aufnahmen. Generell war es ein Problem, dass wir nur zwei Leute auf dem Boot hatten: einen Ruderer, der während der Messung den Stab hochgehalten hat und einen, der sich um die Sonde kümmerte. Dies führte dazu, dass häufig der für den Retroreflektor zuständige diesen zu schräg hielt, so dass die Spiegelfläche nicht sichtbar war. Da wir bei der Messung die Funkgeräte vergessen hatten, mussten wir uns mit Handzeichen verständigen. Dies stellte selbst am Göttinger Kiessee an den entferntesten Messpunkten eine Herausforderung dar, so dass dort das Boot-Team häufig unnötig lange an einem Ort blieb, da sie die Bestätigung nicht sahen.

Außerdem behindert am Northeimer See eine Insel ein Großteil des Blickfelds, so dass das Geodimeter keinen guten Standpunkt gehabt hätte.

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 und somit mit einem Fehler von etwa $\pm 5\text{m}$ gerechnet werden muss. Daher setzten wir bei der zweiten Messung unsere erste Idee um, die Position über GPS zu erfassen, welche wir wegen der vermeintlich schlechten Auflösung von 5-10m verworfen. Somit sind beide Methoden gleich gut und bei der Messung, wie im Kapitel 4.1 bereits dargestellt, stellte sich zu dem heraus, dass das GPS von Garmin[®] eine Genauigkeit von bis zu $\pm 3\text{m}$ hatte. Die ist eine Verbesserung von 40% in Bezug auf die vorherigen Möglichen $\pm 5\text{m}$. Zu dem waren nun die Position in der selben Datei gespeichert, wie die Messdaten auch. Dies machte ein sonst notwendiges Sortieren der Dateien nach Ort und Zeit unnötig.

5.4. Temperatur

Bei der zweiten Messung zeigte sich in den Daten, wie im Kapitel 4.3.2 beschrieben, dass die Werte der Temperatur augenscheinlich gleichzeitig drei verschiedene Werte annehmen. Bei genauerer Betrachtung der Messwerte fällt jedoch auf, wie in Abb. 14 zu erkennen, dass jeweils ungefähr 10 Messwerte auf einem niedrigen, dann auf einem

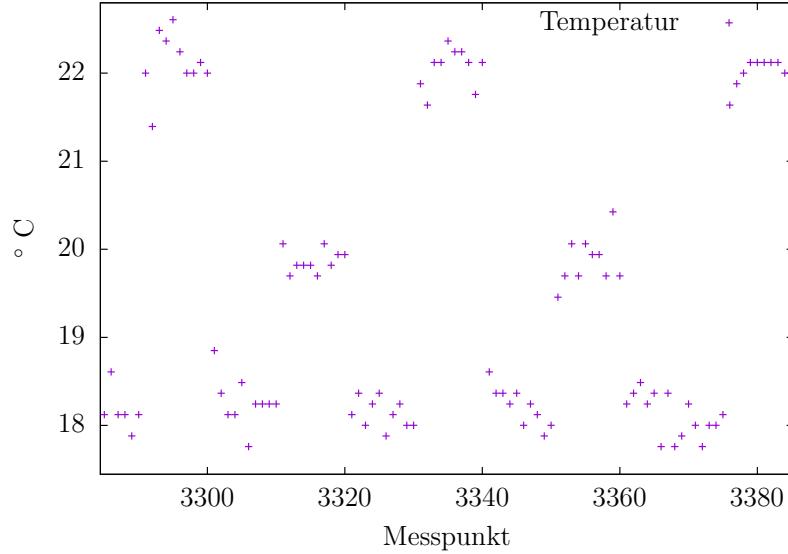


Abbildung 14: Vergrößerte Darstellung einer Temperaturkurve. Es ist gut das Rippling in den einzelnen Blöcken und die Verschiebung der Blöcke zu sehen.

mittleren, erneut auf einem niedrigen und dann wieder auf einem hohen Niveau liegen. Dies entspricht der Frequenz, mit der wir die LEDs geschaltet haben (keine LED, blaue LED, keine LED, IR-LED). Für beide Messungen benutzten wir den Micro-Controller als Spannungsquelle. Dieser ist für Ströme von bis zu 350mA ausgelegt. Augenscheinlich haben da die etwa 30mA, welche die LEDs benötigten, die Stromzufuhr des Pt1000 so stark beeinflusst, dass die aufgenommenen Messwerte Temperatursprünge von bis zu 4°C aufweisen, was bei angenommenen 21°C zu einem Fehler von 20% führt. Dies liegt vermutlich daran, dass der boardinterne Spannungsregler mit dem schnelle Spannungsschwankungen nicht zurecht kam und einige Zeit gebraucht hat, um den Spannungswert zu regeln. Somit lagen verschiedene Spannungen am Vorwiderstand des Pt1000 an, was trotz seiner Größe von $19.2\text{k}\Omega$ zu stark spürbaren Stromschwankungen am Pt1000 führte. Glücklicherweise sind die Daten so verteilt, dass nur etwa 50% fehlerhaft sind und diese nur gefiltert werden mussten.

Was sich aus den Daten besonders gut zeigt, ist die Schichtung des Sees in der Temperatur. Besonders gut sichtbar ist der zweite Übergang in die tiefere Schicht. Dies ist ein Glücksfall, da nach Kapitel 2.6, die Schicht (zumindest im September) erst bei etwa 10m beginnen sollte. Somit war unser Kabel gerade lang genug, um in den Übergang diese Schicht eindringen zu können.

5.5. Absorption von Licht

Bei der Messung der Absorption stellte sich sehr schnell heraus, dass die Daten stark verrauscht sind, besonders an der Oberfläche des Wassers. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass durch die Bewegung der Wasseroberfläche das Sonnenlicht mal mehr und mal weniger reflektiert wird. Um dieses hochfrequente Rauschen zu unterdrücken, kann der Strom der Photodiode zusätzlich noch durch einen Tiefpassfilter geleitet werden. Hierzu müsste nur eine Drosselpule in Reihe mit der Photodiode und dem ADC geschaltet werden. Somit werden nur die niederfrequenten Änderungen des Photostroms aufgezeichnet. Des Weiteren waren die beide LEDs zur Messung der Absorption in verschiedenen Spektralbereichen nicht nah genug an der Photodiode, um zu einer signifikante Änderung an den Werten zu führen, die nicht im Rauschen untergeht. Ebenfalls wurde bei der Wahl der Diode nicht darauf geachtet, dass diese eine unterschiedliche Aufnahmemechanik für die verwendeten Wellenlängen hat. Laut Datenblatt [4, S. 20] liegt der Unterschied in der Effizienz zwischen den beiden Wellenlängen bei 40%, was sich auch in der Auswertung bemerkbar machte.

Die Auswertung zeigte, dass die Ergebnisse der LED Auswertung trotz der Subtraktionsmethode noch stark rauschen. Dies zeigt sich in den großen Fehlern von bis zu 88% in der Standartabweichung. Des Weiteren sind die mittleren Intensitäten der einzelnen LEDs auch sehr klein, da sie nur in 1% des Messbereiches liegen.

Außerdem war der Göttingen Kiessee, wie die Messwerte zeigen, mit sehr vielen Schwebstoffen durchsetzt. Im Vergleich zu der Absorbtionsmessung in Northeim ist zudem auch die Steigung der Grenzgeraden um eine Größenordnung steiler.

5.6. Echolot

Die Idee des Echolots konnte nicht vollständig umgesetzt werden, da das Signal nicht stark genug war, um bis in eine Tiefe von etwa 6m einzudringen und reflektiert zu werden. Um in diese Vordringen zu können, müsste ein höherer Schalldruck erzeugt werden und wozu eine größere physische Ausdehnung des Kristalls nötig wäre. Dies kann entweder durch das Verwenden einer höheren Spannung am Sender oder durch das Verwenden einer H-Brücke getan werden. Letztere erzeugt $\pm 24V$, was zur doppelten physischen Ausdehnung des Kristalls führt. Dies kann weiterhin verstärkt werden, in dem bis zu 48V angelegt werden. Der Nachteil der H-Brücke ist, dass bei jedem Umschalten die Schaltung kurzgeschlossen wird, was unterbunden werden muss, da die MOSFET-Transistoren mit einer Frequenz von 40kHz versorgt werden und dies zu einem hohen Leckstrom führt, der die Bauteile beschädigen kann. Des Weiteren erhitzten sich die Bauteile bei diesen Spannungen schnell und es müssen Kühlkörper oder eine aktive Kühlung verwendet werden.

Wir haben dennoch ein paar Testdaten aufnehmen und auswerten können. Dieser Teil des Projektes ist gegebenenfalls auch für zukünftige Praktika interessant, da diese Methode kommerziell häufig eingesetzt wird und auch in der Wissenschaft zur Bodenanalyse

verwendet werden kann. Die Probleme, die gelöst werden müssen, sind die Spannungsversorgung und ein funktionsfähiger Filteralgorithmus zur Rauschreduktion.

5.7. Messprobleme und verworfene Ideen

Unsere erste Idee war die, ein ferngesteuertes U-Boot zu bauen, was die Sensoren an Bord hat und ansatzweise autonom den See abrastert. 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. Zu dem war der Bau eines eigenen Modells zu Zeitaufwändig für die vorhandene Zeit. Daher kamen wir auf die Idee, eine ferngesteuerte Plattform zu bauen, welche die Sonden mit einer Winde ferngesteuert herunterlässt. Dies verworfen 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. Diese wollten wir zunächst mithilfe eines Datenloggers der Goephysik auslesen, allerdings nimmt dieser nur alle 2s einen Wert auf. Dies ist für unsere kleinen Messdauern zu wenig und hätte zu sehr langen Messungen geführt, um eine signifikante Datenmenge zu erhalten. Gelöst wurde das Problem mit dem Bau eines eigenen Datenloggers, mit dem wir dann 100 Messwerte pro Sekunden aufnehmen und diese auch gleich betrachten konnten.

Wir hatten zunächst noch vor, weitere Sensoren zu verwenden:

- *el. Leitfähigkeit*: Funktionierte nicht, da wir dafür Wechselspannungen mit mindestens 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 Kalibrierung 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

- [1] „Absorption spectrum of pure water“. In: (). URL: <https://www.osapublishing.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-36-33-8710>.
- [2] *Datenblatt der Blauen LED*. URL: [http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/watermark00/L-7113QBC-D\(Ver.20B\).pdf](http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/watermark00/L-7113QBC-D(Ver.20B).pdf).
- [3] *Datenblatt der IR LED*. URL: www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/181712-da-01-en-IR_LED_5MM_HE3_160AC.pdf.
- [4] *Datenblatt der Photodiode*. URL: [www.osram-os.com/Graphics/XPic5/00101698_0.pdf/SFH%20229%20FA,%20Lead%20\(Pb\)%20Free%20Product%20-%20RoHS%20Compliant.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic5/00101698_0.pdf/SFH%20229%20FA,%20Lead%20(Pb)%20Free%20Product%20-%20RoHS%20Compliant.pdf).
- [5] *Datenblatt des XMC 4500 RelaxKit*. URL: http://www.infineon.com/cms/en/product/evaluation-boards/KIT_XMC45_RELAX_V1/evaluation-boards/KIT_XMC45_RELAX_V1/productType.html?productType=db3a304437849205013813b23ac17763.
- [6] *Elektronik-Kompendium*. URL: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/slt/0210151.htm>.
- [7] B. Boehrer und M. Schultze. „Schichtung von Seen“. In: *Handbuch Ang. Limnologie* (2009). URL: http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527321314_c01.pdf.
- [8] D. Meschede. *Optik Licht und Laser*.
- [9] Dieter Meschede. *Gerthsen Physik*. 24. Aufl. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010. ISBN: 978-3-642-12893-6.
- [10] *Optical Absorption of Water Compendium*. URL: <http://omlc.org/spectra/water/abs/>.
- [11] Christoph Kommer Paul A. Tipler Gene Mosca. *Physik*. Hrsg. von Jenny Wagner. Bd. 7. Springer Spektrum, 2014.
- [12] *umni's Homepage Pt1000*. URL: <http://www.umnicom.de/Elektronik/Schaltungssammlung/Temperatur/Pt1000/Pt1000.html>.

A. Anhang

A.1. Schaltpläne

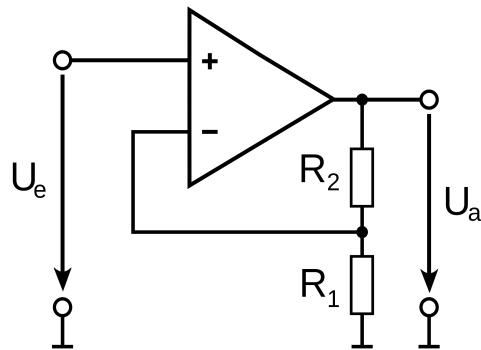


Abbildung 15: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/ff/Noninverting_Amplifier.svg/2000px-Noninverting_Amplifier.svg.png

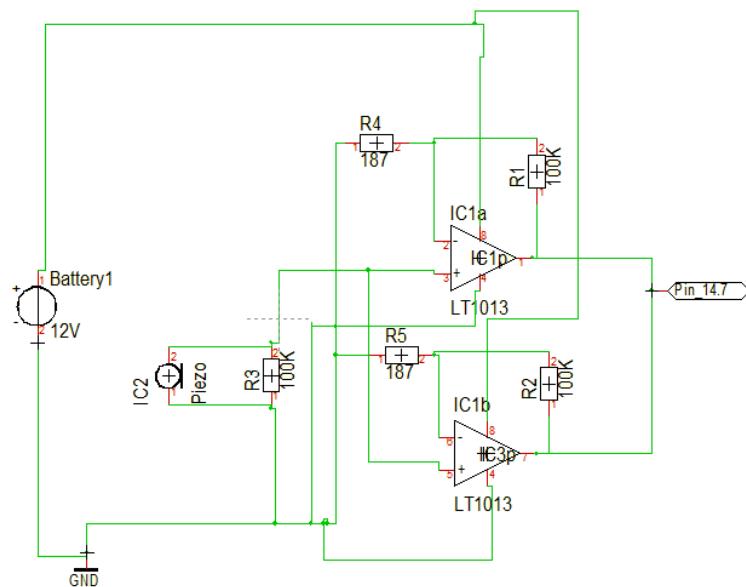


Abbildung 16: Schaltung für den Empfängerpiezo, mit eigener Spannungsquelle und zwei Verstärkern zur Rauschverminderung. Die Spannung wird durch externe Akkus gewährleistet und der Piezo wird als Spannungsquelle geschaltet.

A. Anhang

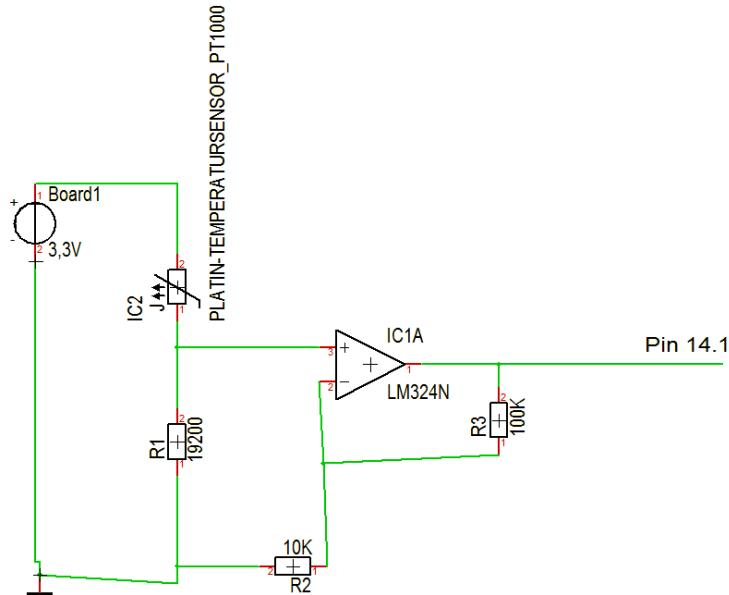


Abbildung 17: Beschaltung des Pt1000 Temperaturwiderstandes mit Vorwiderstand und Verstärkerschaltung. Die Spannungsversorgung, genau wie die Masseanbindung wird vom Board geregelt.

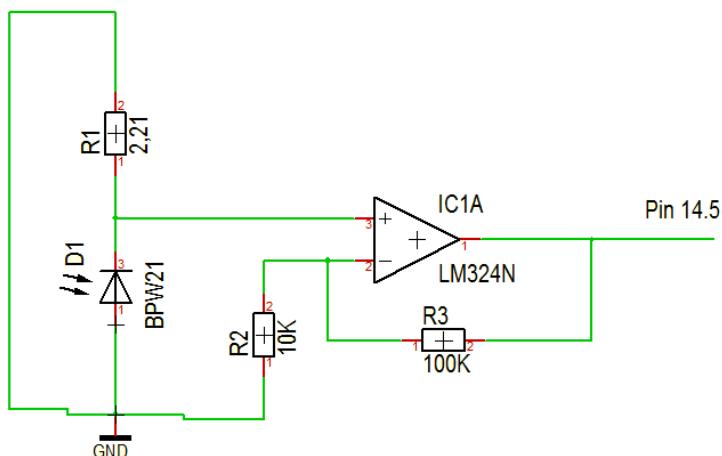


Abbildung 18: Beschaltung der Photodiode mit Widerstand und Verstärkerschaltung. Die Photodiode dient als Stromquelle und der Widerstand dient als Übersetzung in eine Spannung. Um die wenigen Millivolt detektierbar zu machen, wird ein Verstärker, wie beim Temperaturwiderstand verwendet.

A. Anhang

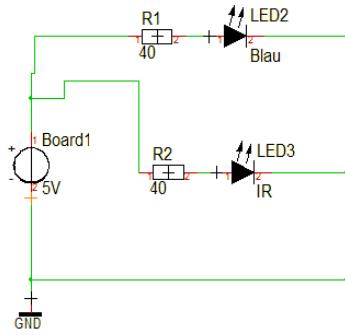


Abbildung 19: Ersatzschaltbild der LEDs für die Messung der Absorption. Die Spannung wird vom Board bereitgestellt. Auf dem Board werden die LEDs durch bipolare Transistoren geschaltet und über den selben Widerstand versorgt, da sie nie zur selben Zeit eingeschaltet sind.

A.2. Fotos

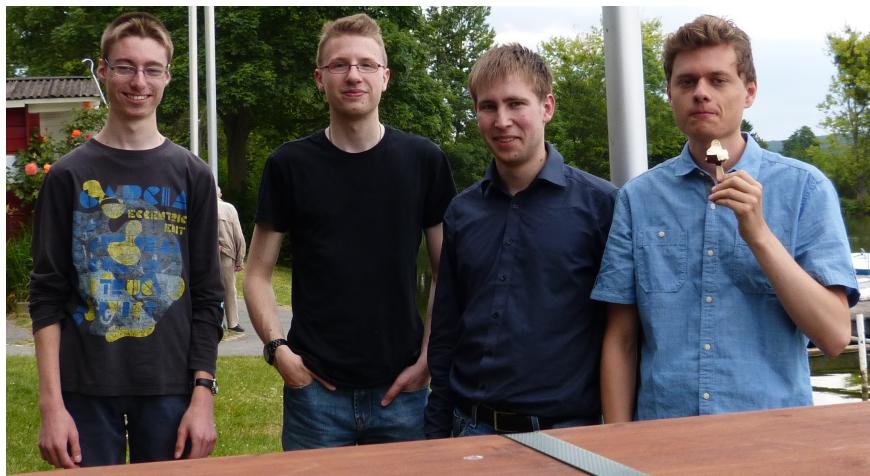


Abbildung 20: Gruppenfoto (v.l.n.r.): Felix, Kevin, Michael, Jan.

Der Seemann-Effekt

Das Projektpraktikum zu machen war toll,
so freuten wir uns wirklich doll!

Die Messungen zu sonn'ger Stund'
Die liefen meist anständig rund.

Den Göttinger Kiessee wir vermaßen,
In der Pause wir gemeinsam aßen.

Das Wetter schön, die Sonne strahlt,
Das Boot die Uni hat gezahlt.

Als man die Sonde runter ließ,
sie ganz schnell auf den Boden stieß.

Doch nach der Messung: Großer Schreck!
Die Daten waren voll der Dreck.

Die Temperatur ein Quantenfeld
Mal hoch mal runter, wie's ihr gefällt.

Es passte nichts so, wie gedacht.
Doch geben wir nicht auf, wäre doch gelacht!

Wir fuhren wirklich kreuz und quer
Dabei war der See nichtmal ein Meer.

So schrieben wir 'ne eig'ne App,
Die gab uns wirklich voll den Pepp!

Die Temperatur von Northeim's Großem See
Sprang hin- und her, oh jemineh!

Die große Erkenntnis, kam sehr bald:
Im See ist's oben warm und unten kalt!

Wenn's runter geht, dann wird es schwarz
Verlässlich tickte das Uhrenquarz.

Die LEDs die blinkten munter,
Auch als es ging nach unten runter.

Dies Gedicht ist wirklich wunderschön –
Wenn du's nicht magst, dann Pech gehabt!