

Zielsetzung des Versuchs

In dieser Versuchsreihe werden verschiedene Sensoren betrachtet und vermessen, welche es unter anderem erlauben die Änderungen in der Lichtintensität, Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit zu vermessen. Es werden außerdem während der Lichtmessung Leuchtdioden untersucht welche unter anderem verwendet werden für die Messung der Lichtintensität

Geräte

- Netzgerät der Firma Hameg (2 Variable Gleichspannungsausgänge bis 20V, 1 konstanter 5V Gleichspannungsausgang, 1 Funktionsgenerator)
- Oszilloskop von Tektronix mit zwei Kanälen
- Lautsprecher (8Ω Innenwiderstand)
- Diverse Widerstände, Kondensatoren, Spulen, Operationsverstärker und Diode(n) (siehe Schaltpläne)
- Optional: Rastersteckplatten von Leybold mit Zubehör
- Photodiode, Phototransistor, verschieden farbige LEDs, infrarot Pulssensor
- PTC& NTC Widerstände, Thermoelement
- Dynamisches Mikrofon, Elektretmikrofon
- Feuchtesensor

Inhaltsverzeichnis

1	Lichtmessungen	4
1.1	Vermessung der Photodiode	4
1.1.1	Aufbau	4
1.1.2	Resultat	5
1.2	Phototransistor	5
1.2.1	Aufbau	5
1.2.2	Resultat	7
1.3	Leuchtdioden	8
1.3.1	Aufbau	8
1.3.2	Resultat	9
1.4	Pulsmessgerät	10
2	Temperaturmessung	11
2.1	PTC	11
2.1.1	Aufbau	11
2.1.2	Resultat	12
2.2	NTC	12
2.2.1	Resultat	13
2.3	Thermoelemente	14
2.3.1	Aufbau	14
2.3.2	Resultat	14
2.4	Vergleich	14
3	Luftdruckschwankung/Schall	15
3.1	Dynamisches Mikrofon	15
3.1.1	Aufbau	15
3.2	Elektretmikrofon	15
3.2.1	Aufbau	16
3.3	Resultate	17
4	Feuchtigkeitsmessung	19
4.1	Aufbau	19
4.2	Resultat	20
5	Zusammenfassung	21
6	Anhang	22

1 Lichtmessungen

Um Lichtmessungen heutzutage durchzuführen verwendet man hauptsächlich Photodioden. Sie bestehen aus einer sehr leicht dotierten intrinsischen Schicht und dünnen jedoch stark dotierten p und n Schichten, vergleichsweise zur normalen Diode. Wenn nun ein Photon durch die dünne p-Schicht in die intrinsische-Schicht gelangt, regt es dort ein Elektronen-Loch-Paar an wodurch dieses getrennt wird. Bevor sich diese Paar nun wieder vereinigen kann, werden die Elektronen und Löcher, durch die Raumladungszone in der i-Schicht, zu den jeweiligen Schichten gezogen.

1.1 Vermessung der Photodiode

Ein Strom an Photonen ermöglicht in Photodioden somit einen geringen jedoch sofortigen Elektronenstrom, wenn die Diode kurzgeschlossen ist. Die erzeugte Spannung einer Photodiode kann zudem maximal ihre Schwellenspannung betragen, da über diesem Spannungswert, die Photodiode sich wie eine herkömmliche Diode verhält.

1.1.1 Aufbau

Um nun den resultierenden Strom, auch Photonenstrom, zu messen, werden die folgenden Schaltungen aufgebaut, in welchen an eine Photodiode lediglich ein Volt- beziehungsweise Amperemeter angeschlossen werden: Die Lichtintensität wird variiert, indem zwischen einer Tischlampe

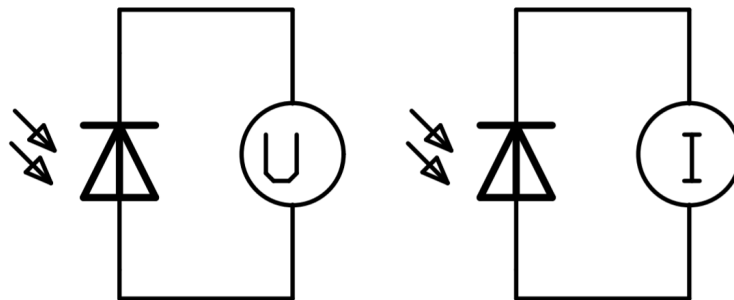


Abbildung 1: Schaltpläne zur Vermessung der Photodiode

und der Photodiode, ein ein Plastikstreifen mit variabler Lichtdurchlässigkeit gehalten wird.

1.1.2 Resultat

Es zeigt sich, dass der Photostrom nahezu perfekt linear mit der Lichtintensität zunimmt, während die Photospannung lediglich monoton mit der Lichtintensität zu steigt.

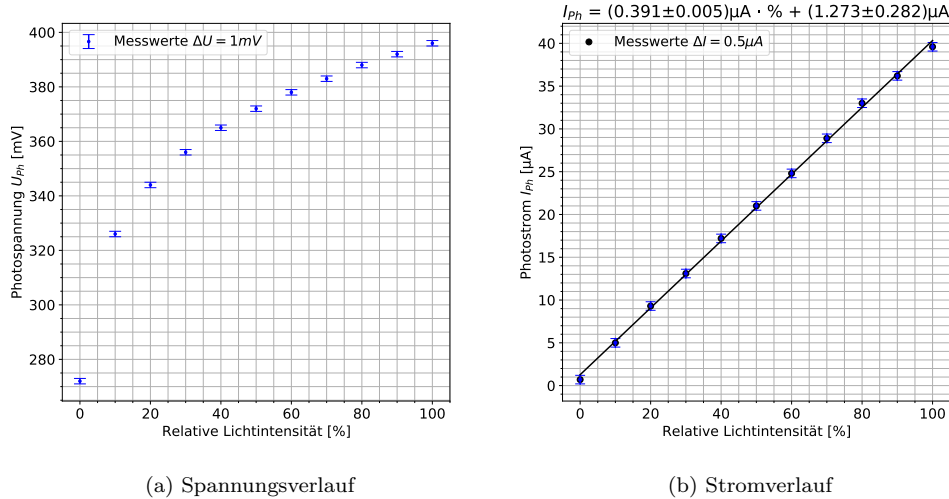


Abbildung 2: Daten der Photodiode

Das lineare Verhalten des Photostroms war zu erwarten, sowohl basierend auf der Erfahrung der Versuchsreihe zu dem photoelektrische Effekt, als auch mit dem theoretischen Hintergrund der Experimentalphysik-Vorlesung. Für die Photospannung lässt sich lediglich aussagen, dass ihr Wert durchgehend unter $(400 \pm 1) \text{ mV}$ befindet und somit ebenfalls unterhalb der Schwellenspannung der Photodiode.

1.2 Phototransistor

Um nun größere Ströme in Abhängigkeit der einfallenden Lichtleistung zu messen kann ein Phototransistor verwendet werden. Der Phototransistor ist effektiv eine Photodiode welche in Sperrrichtung an die Basis eines Transistors angeschlossen ist. Der resultierende Kollektorstrom ist dann der Photostrom, welcher um ein vielfaches verstärkt ist.

Ein Transistor an sich kann jedoch ebenfalls, ohne hinzuschalten einer Photodiode, die Funktion eines Phototransistor übernehmen, indem sowohl die N/P Schichten des Transistor entsprechend verkleinert/vergrößert werden als auch durch Änderung der jeweiligen Dotierungen.

1.2.1 Aufbau

Zur Messung des Stroms durch den Phototransistor muss dieser lediglich mit einer ausreichenden Kollektor-Emitterspannung versorgt werden worauf hin durch stückweise abdunkeln des Transistors und auftragen des Resultierenden Stromflusses im DAM, eine Kennlinie des Phototransistors bestimmt werden kann.

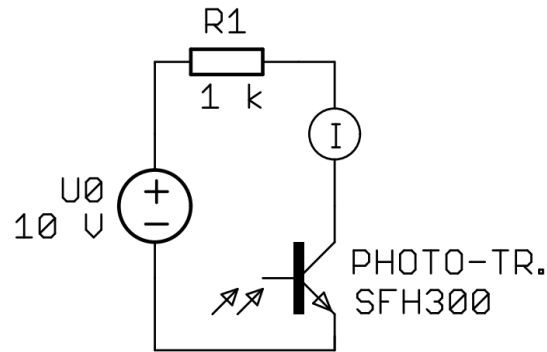


Abbildung 3: Schaltplan zur Vermessung des Phototransistors

Über eine handelsübliche Fernbedienung oder einer infrarot-Leuchtdiode angeschlossen an den Funktionsgenerator lässt sich ein elektromagnetisches Signal erzeugen welches mithilfe der bereits bestehenden Phototransistorschaltung, unter Ergänzung eines Oszilloskops parallel zum Phototransistor, auf dem Oszilloskop Bildschirm sichtbar gemacht werden kann. Dabei ist es sinnvoll ein elektromagnetisches Signal aus dem infraroten Spektrum zu wählen da diese Wellenlängen am effizientesten vom Phototransistor absorbiert werden können.

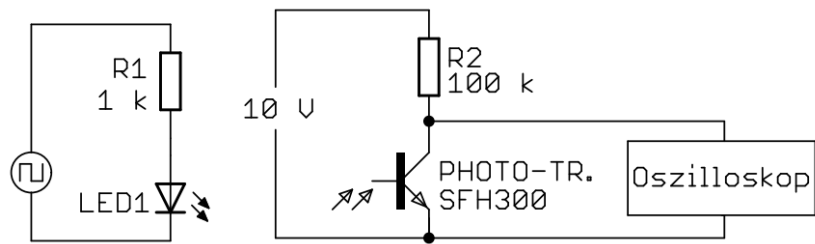


Abbildung 4: Schaltplan zur Aufzeichnung eines elektromagnetischen Signals

1.2.2 Resultat

Wie auch bei der Photodiode ist der Stromfluss nahezu perfekt linear, wie sich in dem folgenden Graph zeigt.

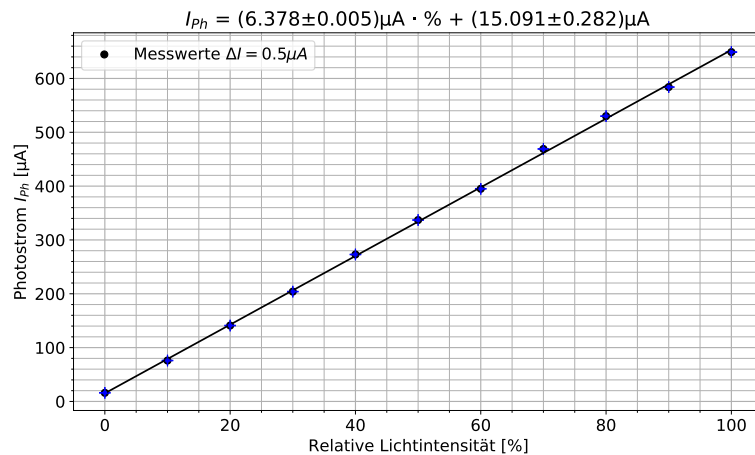


Abbildung 5: Stromkurve des Phototransistors

Durch vergleichen der Steigungen von dem Phototransistor ($(6.378 \pm 0.005) \mu A$) mit der der Photodiode ($(0.391 \pm 0.005) \mu A$) lässt sich ermitteln, dass der Phototransistor um circa 16-Mal empfindlicher ist als die reine Photodiode.

Seine erhöhte Empfindlichkeit spiegelt sich ebenfalls in der Integrität des Signales wieder, welches er als Reaktion auf eine blinkende Lichtquelle produziert. Dies ist im folgenden Oszilloskop Ausschnitt zu erkennen:

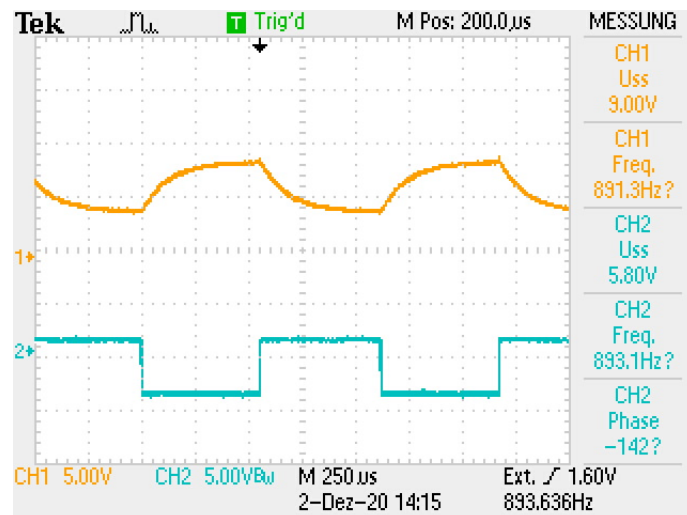


Abbildung 6: Oszilloskopbild der Leuchtdiode am Impulsgenerator und verstärkt durch den Phototransistor

1.3 Leuchtdioden

Um Licht spezieller Wellenlängen zu erzeugen bieten sich Leuchtdioden an, welche abhängig von ihrer Bauform und Betriebsspannung in der Lage sind Licht einer bestimmten Wellenlänge zu emittieren. Dabei funktioniert eine Leuchtdiode ähnlich wie eine herkömmliche Diode in dem Sinne, dass bei Stromfluss in Durchlassrichtung durch die Diode Elektronen und Löcher rekombinieren und dabei Photonen emittiert werden, wobei bei Leuchtdioden Speziell auf die Wellenlänge dieser Photonen geachtet wird.

1.3.1 Aufbau

Zur Messung der Durchlassspannung verschiedener LEDs werden diese unter Verwendung eines Vorwiderstandes mit Spannung versorgt worauf hin mit einem DVM der Spannungsabfall über die Diode ermittelt werden kann.

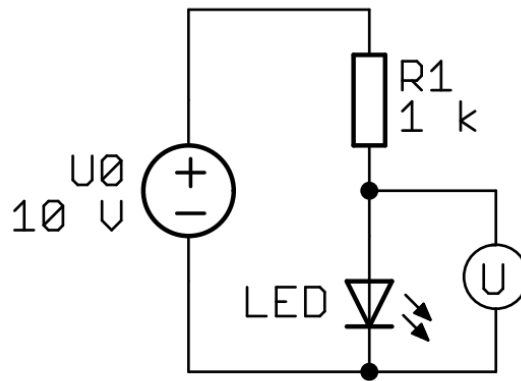


Abbildung 7: Schaltplan zur Messung der LED Durchlassspannung

Zur beispielhaften Darstellung einer Anwendung lässt sich mithilfe einer konstant emittierenden LED und einer Schaltung aus Phototransistor und Oszilloskop eine Lichtschranke bauen deren Ausgangssignal sowohl bei direkter Einstrahlung als auch bei Unterbrechung der Lichtschranke, auf dem Oszilloskop sichtbar wird. Sie misst somit die Transmission zwischen den Phototransistor und der LED.

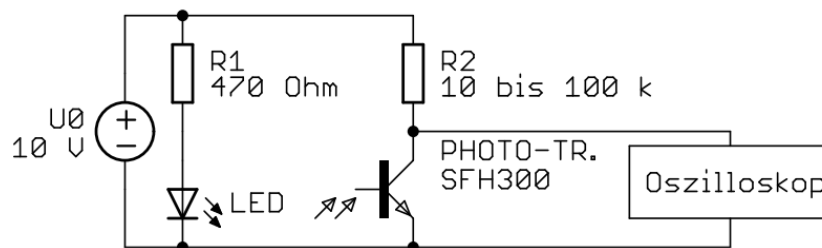


Abbildung 8: Schaltplan einer einfachen Lichtschranke

1.3.2 Resultat

Der Spannungsabfall über die LED wird gemessen bei Anlegen einer 10V Eingangsspannung. Im folgenden Plot sind die Farben mit ihren Wellenlängen gegen ihren jeweiligen Spannungsabfall aufgetragen.

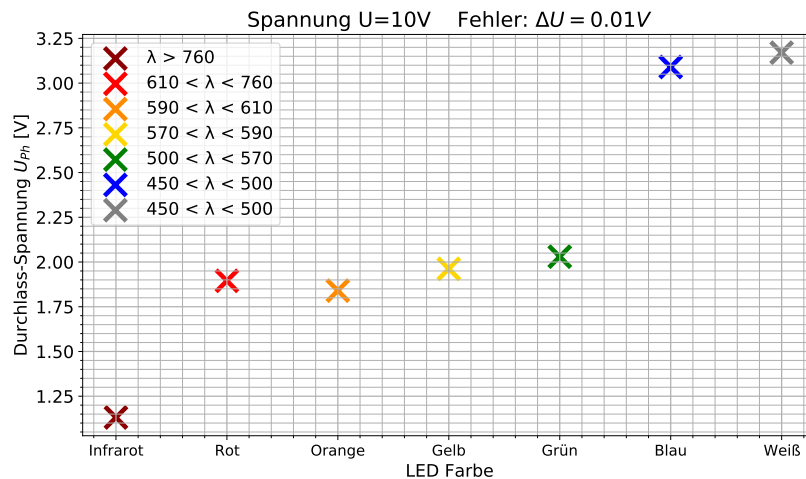


Abbildung 9: Spannungsabfall über die LEDs

Wie zu erkennen ist nimmt die Spannung mit wachsender Wellenlänge ab, wie nach $E = h \cdot c / \lambda$, vorhergesehen wird. Zudem wird für die Farben, welche eng im Spektrum zusammen liegen, jeweils auch eine ähnliche Spannung benötigt. Für die Testung der Lichtschranke wurde der Weg des Lichtes variabel unterbrochen, welches sich deutlich am Oszilloskop widerspiegelt:

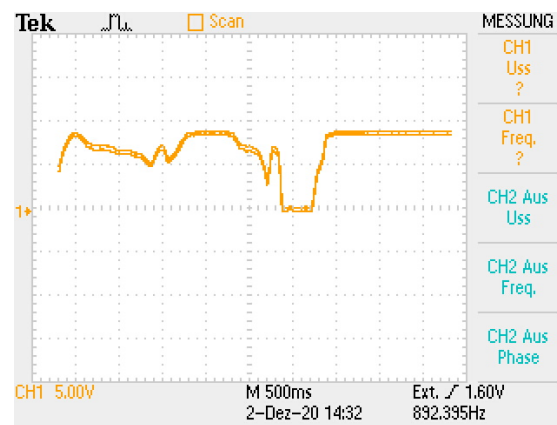


Abbildung 10: Variable Unterbrechung des Lichtes von der IR-LED

1.4 Pulsmessgerät

Eine konkrete Anwendung so einer Lichtschranke befindet sich in einem einfachen Fingerpuls-aufnehmer bei dem die Lichtschranke durch das im Finger pulsierende Blut unterbrochen wird. In der Schaltung selbst ist der Fingerpulsaufnehmer als fertiges Bauteil vorhanden und kann über einen Stereoklinkenanschluss mit dem Oszilloskop und der nötigen Versorgungsspannung verbunden werden.

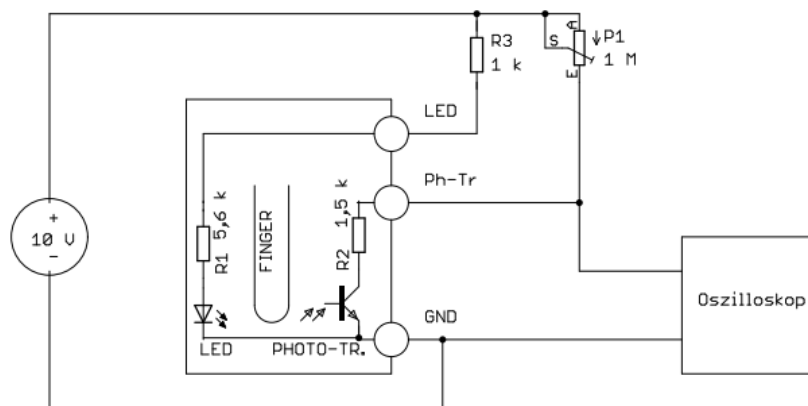


Abbildung 11: Schaltplan zum betrieb des Fingerpulsaufnehmers

Dabei muss darauf geachtet werden, dass man den Arbeitspunkt des Oszilloskops bestimmt wenn sich bereits ein Finger zur Pulsmessung im Sensor befindet.

Es ergibt sich auf dem Oszilloskop ein deutliches Bild eines Pulses:

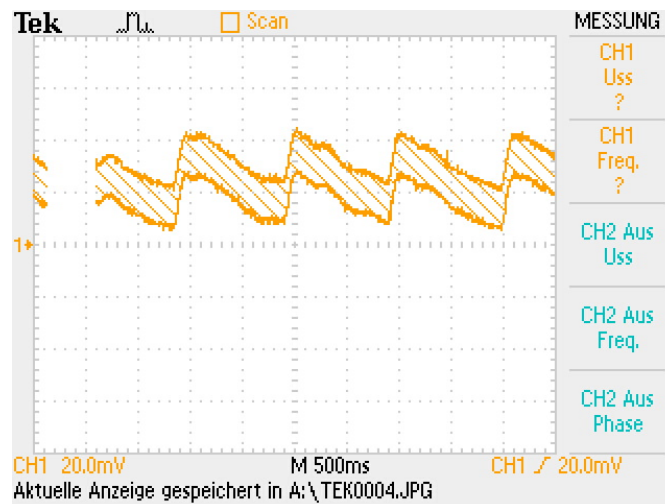


Abbildung 12: Oszilloskopbild einer Pulsmessung

Durch abschätzen der Periode als circa eine Sekunde ergibt sich ein Puls von 60 Schläge pro Minute. Zudem verschwindet der Puls bei abklemmen der Blutzufuhr. Dieser rudimentäre Pulsmesser ist somit in der Lage aussagekräftige Ergebnisse zu liefern

2 Temperaturmessung

Zur Messung von Temperaturen macht man sich die Temperaturabhängigen elektrischen Eigenschaften bestimmter Materialien zunutze. Alle Fehler innerhalb dieses Versuches sind eine Kombination der Messfehler des Messgerät als auch eine subjektive Erhöhung basierend auf der Ungenauigkeit der Temperatureinschätzung.

2.1 PTC

Der PTC (positive temperature coefficient) verhält sich grundsätzlich wie die meisten Materialien in dem Sinne, dass er mit zunehmender Temperatur im Widerstand steigt. Dabei macht man sich aber speziell die Temperaturabhängigen Eigenschaften von Platin zunutze, da sich dessen Widerstand annähernd proportional, im Arbeitsbereich, zur Temperatur verhält.

Damit gilt für den Widerstand:

$$R(T) = R_0 = (1 + \alpha T)$$

Dabei ist R_0 der Widerstand bei 0°C (angegebener Widerstand), T die Temperatur in $^\circ\text{C}$ und α der Proportionalitätsfaktor.

2.1.1 Aufbau

Um eine grobe Messung des Widerstands abhängig von der Temperatur zu bekommen variiert man die Temperatur zwischen Raumtemperatur (c.a. 20°), $+30^\circ\text{C}$ durch Erwärmung mit der Hand und -40°C durch abkühlen mithilfe eines Kältespray. Die resultierenden Widerstandswerte werden mittels einem Ohmmeter vermessen.

2.1.2 Resultat

Im folgenden Plot sind die 3 sporadischen Messwerte des Kaltleiters mit einer theoretischen Geraden, welche auf den Herstellerangaben basiert, aufgetragen.

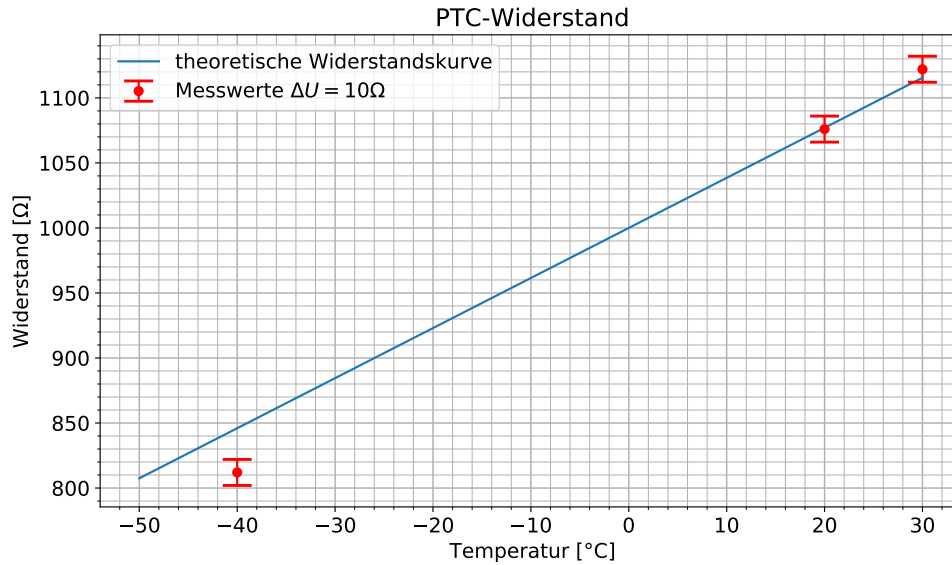


Abbildung 13: Widerstandskurve des Pt1000-Sensor

Es zeigt sich, dass die gemessenen Widerstandswerten mit den theoretischen Werten übereinstimmen, wobei der Vergleich des Kältespray-Messpunktes mit der Geraden andeutet, dass das Kältespray eventuell den Widerstand weiter herrabkühlt als erwartet.

2.2 NTC

Im Gegensatz zum PTC nimmt der Widerstand des NTCs mit sinkender Temperatur zu. Dieses Verhalten ist bei Halbleitern zu beobachten wobei speziell beim NTC bestimmte Keramikmischungen verwendet werden um eine hohe Widerstands Temperaturabhängigkeit zu erreichen. Für den Widerstand gilt:

$$R_{NTC}(T) = R_{25}e^{(-B(\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T}))}$$

Mit R_{25} als Widerstand bei 25°C (angegebener Widerstand), B als Steilheit der Exponentialkurve abhängig vom Material, T_{25} als 25°C in Kelvin ($=298,15\text{K}$) und T als Temperatur in Kelvin. Für einige charakteristische Punkte ist die Funktion in der folgenden Tabelle evaluiert:

Temperatur T	-100°C	0°C	25°C	50°C	100°C	1000°C
Widerstand R	47.9 MΩ	29.3 kΩ	10.0 kΩ	4.03 kΩ	945 Ω	1.25 Ω

Der starke exponentielle Anstieg des Widerstandes bei verringern der Temperatur wird durch sie deutlich. Die Messung erfolgt dabei, wie in 2.1.1 beschrieben, direkt am Ohmmeter mithilfe von Erwärmung und Abkühlung.

2.2.1 Resultat

Die Messwerte sowie die theoretisch bestimmten Werte sind im folgenden Graphen aufgetragen.

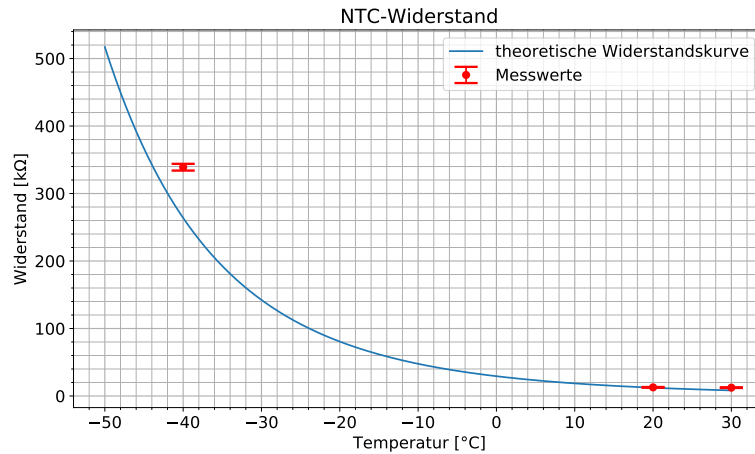


Abbildung 14: Widerstandskurve eines 10-kΩ-NTC

Wie auch bei dem PTC stimmen die gemessenen Werte für Raumtemperatur und Körpertemperatur überein während die Kurve für das Kältespray erneut suggeriert, dass es kälter als vermutet ist. Anzumerken ist ebenfalls noch, dass bei genauerer Betrachtung des Bereiches von 15°C bis 35°C eine Diskrepanz bei der Körpertemperatur festzustellen ist:

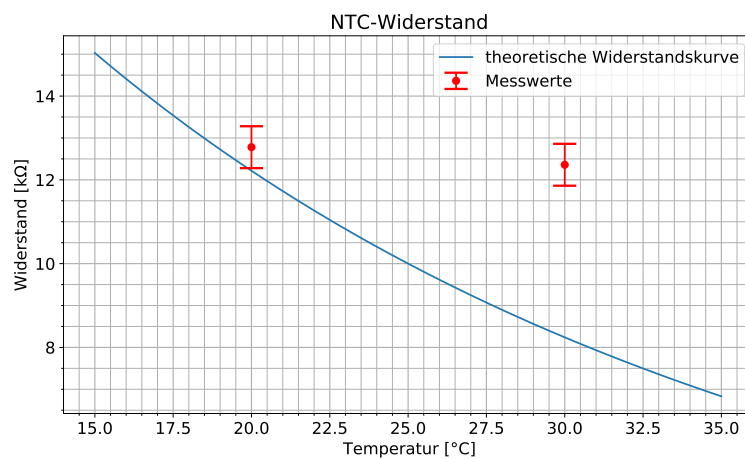


Abbildung 15: Vergrößerte Widerstandskurve eines 10-kΩ-NTC

Möglich wäre, dass aufgrund einer Stoßlüftung zwischen dem Versuch des PTC und NTC, die Temperatur in den Extremitäten, insbesondere den Fingern, stark gefallen ist.

2.3 Thermoelemente

Man erhält Thermoelemente durch verbinden zweier unterschiedlicher Stränge von Metallen. Nach dem Seebeck-Effekt resultiert dann die Erwärmung einer Seite in einer elektrischen Potentialdifferenz über den neu geformten Kreis. Diese Spannungen besitzen eine Abhängigkeit von der Temperatur mit wenigen zehn μV Änderung pro Kelvin.

Temperaturmessungen sind daher nicht so Präzise wie bei PTCs oder NTCs möglich. Thermoelemente haben jedoch einige Vorteile bezüglich ihres Einsatzbereiches. Dank ihrer einfachen Bauart können sie Theoretisch bis Temperaturen nahe ihrer Schmelztemperatur betrieben werden. Außerdem haben sie im Gegensatz zu PTCs und NTCs geringere Probleme mit Messfehlern durch Erwärmung bei größeren Strömen.

2.3.1 Aufbau

Zur Messung der Ausgangsspannung des Thermoelements wird es direkt an ein DVM mit Messbereich von 200mV angeschlossen. Die Verschiedenen auszumessenden Temperaturen (-40°C , 20°C , 30°C) erzeugt man dabei wie in 2.1.1 beschrieben.

2.3.2 Resultat

Für die Raumtemperatur werden 0mV Spannungsdifferenz gemessen, welche zu erwarten ist, da die Referenzpunkte ebenfalls auf Raumtemperatur liegen. Für circa 30°C , werden -0.6mV gemessen, während für circa -40°C 3mV gemessen werden.

Das Thermoelemente verzeichnet somit nur kleine Spannungsdifferenzen für eine signifikante Temperaturänderung.

2.4 Vergleich

Wie sich gezeigt hat sind die PTC ideal um Temperaturen simpel innerhalb von -50°C bis 30°C zu vermessen, da der Widerstand proportional zur Temperatur ist. Anzumerken ist jedoch, dass die Widerstandsänderung unter Umständen zu geringen ausfallen könnte. Dieser Nachteil entfällt wiederum bei den NTC, welche jedoch keine linearen Zusammenhang besitzen. Über die Genauigkeit der NTC kann jedoch keine aussage getroffen werden, da die Messung der Körpertemperatur misslungen ist. Die zuletzt getesteten Thermoelemente weisen die geringste Temperaturabhängigkeit auf, besitzen jedoch den größten Operationsbereich, welcher weit über die Möglichkeiten der Kalt- & Heißeiter hinaus geht.

3 Luftdruckschwankung/Schall

Luftdruckschwankungen werden im allgemeinen ähnlich wie Kraftmesser über Dehnungsstreifen in einem Barometer gemessen. Geht es um die Messung schneller Luftdruckschwankungen so spricht man von Schall zu dessen Messung man Mikrofone verwendet. Diese messen im allgemeinen die vom Schall induzierte Schwingung einer dünnen, elastisch gelagerten Membran aus.

3.1 Dynamisches Mikrofon

Das Dynamische Mikrofon hat an seiner Membran eine Spule befestigt, welche mit der Membran schwingt. Durch diese Schwingungen bewegt sich die Spule durch das Feld eines starken Dauermagneten was in der Spule eine Spannung induziert welche wiederum gemessen werden kann.

3.1.1 Aufbau

Zur Messung eines einfachen Signals des Dynamischen Mikrofons kann es direkt an das Oszilloskop angeschlossen werden.

Zur Messung der Grenzfrequenz des Mikrofons wird es über eine Verstärkungsschaltung mit Operationsverstärker an das Oszilloskop angeschlossen und durch einen Lautsprecher mit einem Sinussignal beschallt. Der Lautsprecher ist dabei an einen Funktionsgenerator angeschlossen, so dass das Signal erhöht werden kann bis das Mikrofon bzw. das gesamte System nicht mehr in der Lage ist es aufzunehmen.

Die Messung der Grenzfrequenz kann jedoch nicht geschehen, durch bestimmen der Frequenz, bei welcher die Amplitude sich um 3dB verringert hat. Dies ist sowohl ein Resultat aus dem nicht normierten Lautsprecher als auch dem hohen Geräuschpegel in der Versuchsumgebung. Eine subjektive Einschätzung muss somit erfolgen.

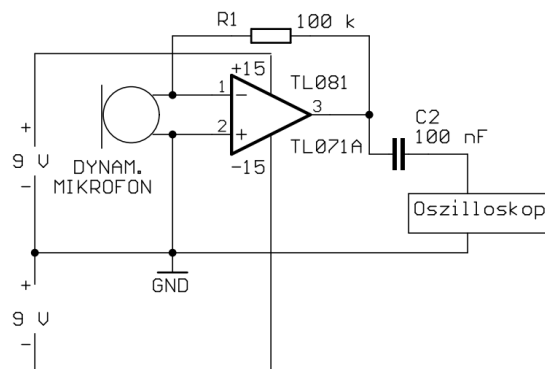


Abbildung 16: Schaltung zur Ermittlung der Grenzfrequenz

3.2 Elektretmikrofon

Bei Kondensator- bzw. Elektretmikrofonen besteht die Membran aus einer dünnen elektrisch leitenden Folie, welche als eine der beiden Elektroden eines Kondensators fungiert. Wird die Folie nun durch Schall in Schwingung versetzt, so resultiert daraus eine Änderung des Abstands und so auch der Kapazität im Kondensator, welche wiederum ausgemessen werden kann. Im Normalfall wird dabei für den Kondensator eine relativ hohe Vorspannung benötigt.

Um dies zu vermeiden befindet sich bei Elektretmikrofonen eine Elektrisch polarisierte Folie zwischen den Kondensatorplatten welche eine Vorspannung überflüssig macht. In den meisten Fällen ist allerdings noch ein Feldeffekttransistor verbaut, welcher das Signal mit geringem Ausgangswiderstand bereitstellt. Für diesen benötigt das Mikrofon eine Versorgungsspannung von etwa 1,5V.

3.2.1 Aufbau

Zur Messung eines einfachen Signals des Elektretmikrofons muss es über ein Netzteil mit einer Versorgungsspannung von 1,5V betrieben werden. Der Widerstand bildet mit dem FET einen Spannungsteiler über welchen die variierende Spannung, in einer Parallelschaltung, durch das Oszilloskop abgenommen werden kann. Dazu wird eine Kondensator in Reihe geschaltet, welcher die Gleichspannungsanteile heraus filtert.

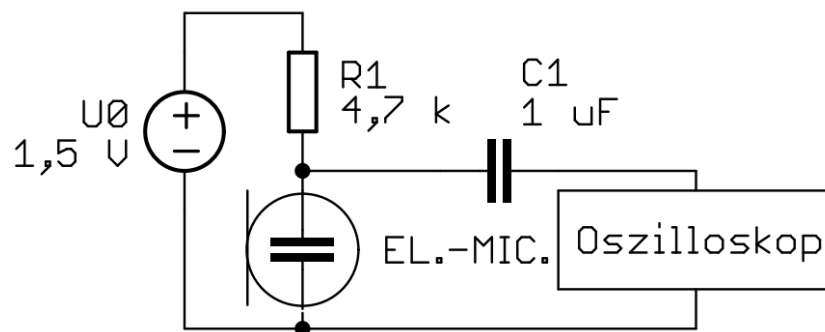


Abbildung 17: Schaltplan zur Messung eines Mikrofonsignals

Zur Messung der Grenzfrequenz wird das Mikrofon über eine Impedanzwandlerschaltung mit Operationsverstärker an das Oszilloskop angeschlossen und ähnlich wie in 3.1.1 durch einen Lautsprecher mit einem Sinussignal beschallt, dessen Frequenz erhöht wird bis der Lautsprecher nicht mehr in der Lage ist es aufzunehmen.

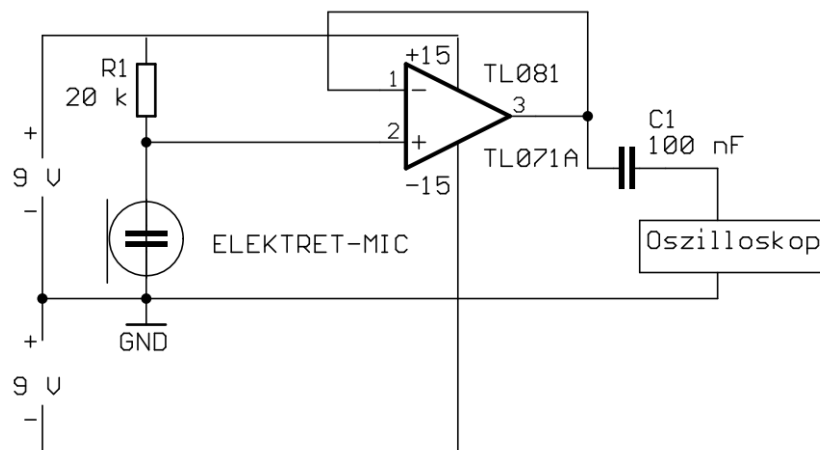
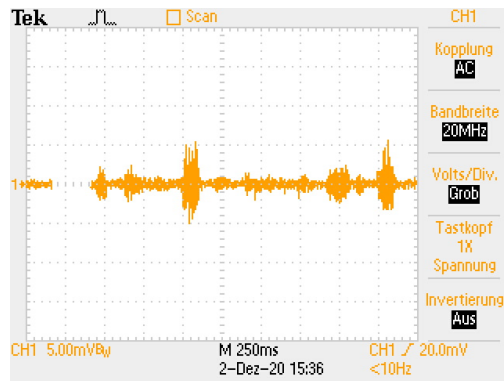


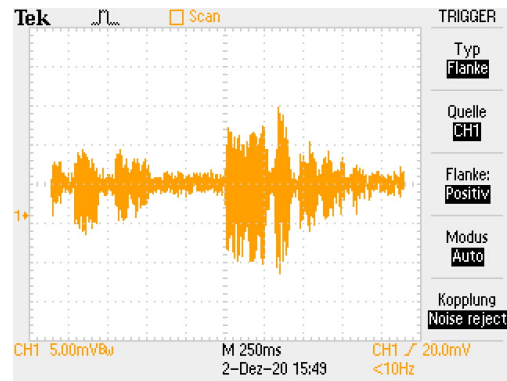
Abbildung 18: Schaltung zur Ermittlung der Grenzfrequenz

3.3 Resultate

Durch direktes sprechen in die Mikrofone, ergeben sich die folgenden Oszilloskopbilder, in welchem jeweils deutlich die Stimme erkennbar ist:

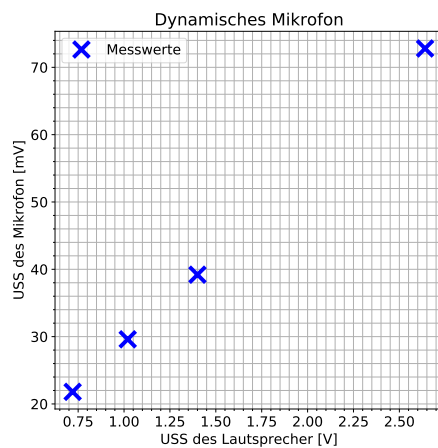


(a) Dynamisches Mikrofon

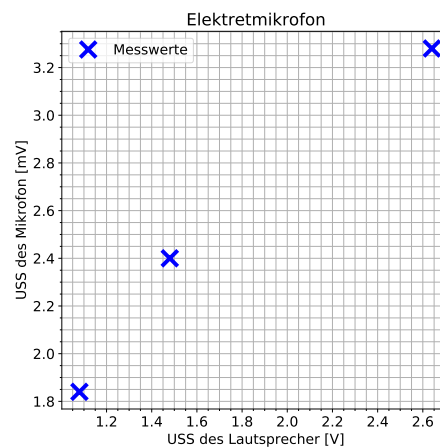


(b) Elektretmikrofon

Indem ein Lautsprecher durch einen Funktionsgenerator betrieben wird und sein Abstand zu den Mikrofonen konstant gehalten wird, kann die Signalgröße bei unterschiedlichen Lautstärken gemessen und verglichen werden:



(c) Dynamisches Mikrofon



(d) Elektretmikrofon

Abbildung 19: Signalgröße der Mikrofone bei unterschiedlichen Betriebsspannungen des Lautsprechers

Es zeigt sich, dass die Spannung des und Elektretmikrofon proportional zu der Spannung ist, mit welchem Lautsprecher betrieben wird.

Um die Grenzfrequenzen zu bestimmen wird versucht, den Ort im Frequenzspektrum zu lokalisieren, in welchem die Ausgangsspannung des Mikrofons drastisch absinkt. Die folgenden Oszilloskopbilder zeigen, dass dieser Abfall sich für das dynamischen Mikrofon im Bereich von 8kHz befindet. Die Grenzfrequenz wird somit in etwa (8.0 ± 0.5) kHz betragen

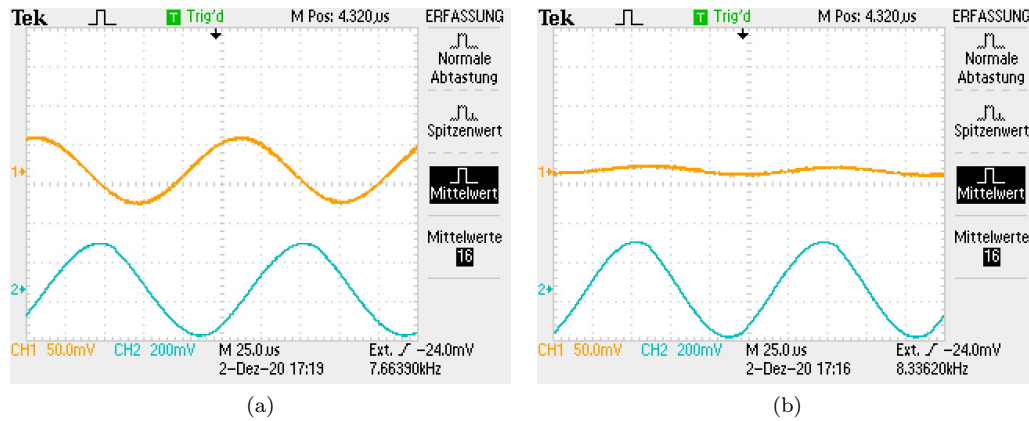


Abbildung 20: Grenzfrequenzbereich des dynamischen Mikrofons

Der Abfall der Ausgangsspannung für das Elektretmikrofon lässt sich wesentlich schwieriger lokalisieren, da seine Ausgangsspannung kontinuierlicher abfällt als beim dynamischen Mikrofons. Im Bereich von 20kHz vermuten wir die Grenzfrequenz, basierend auf den folgenden Bildern. Eine Einschätzung der Grenzfrequenz mit hinreichender Genauigkeit ist jedoch missglückt.

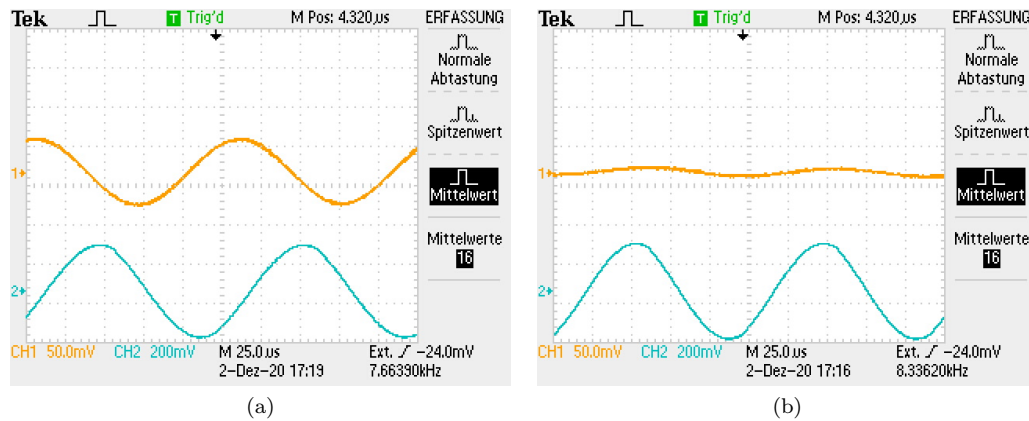


Abbildung 21: Grenzfrequenzbereich des Elektretmikrofon

4 Feuchtigkeitsmessung

Zur Bestimmung der Feuchtigkeit in Feststoffen reicht es lediglich den Widerstand über eine bestimmte Strecke zu messen welcher mit zunehmender Feuchtigkeit abnimmt.

Die Messung der Luftfeuchtigkeit kann ähnlich wie beim Elektretmikrofon aus 3.2 der Kapazitätsänderung eines Kondensators erfolgen. Dabei wird zwischen die Kondensatorplatten ein Stück poröse Keramik platziert welches mit sich ändernder Luftfeuchtigkeit die Menge eingelagerten Wassers und damit seine Dielektrizität bzw. die Kapazität des Kondensators ändert.

4.1 Aufbau

Um die Geringen Kapazitätsänderungen ausmessen zu können, bildet man aus einer Spule und dem Kondensators des Feuchtigkeitssensors einen LC-Kreis und misst mit dem Oszilloskop die Schwingungen über den Sensor. Nun kann man den LC-Kreis über einen Funktionsgenerator mit einer Rechteckspannung zum schwingen anregen. Darauf hin kann man die resultierende Frequenz des LC-Kreises ausmessen aus der sich die aktuelle Kapazität des Feuchtigkeitssensors ergibt woraus sich wiederum auf die Luftfeuchtigkeit schließen lässt. Die Formel für die Resonanzfrequenz lautet: $f = 1/(2\pi\sqrt{C \cdot L})$

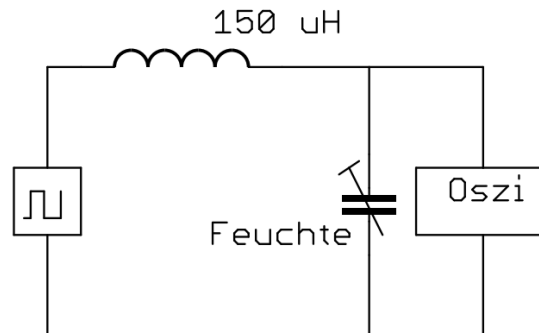
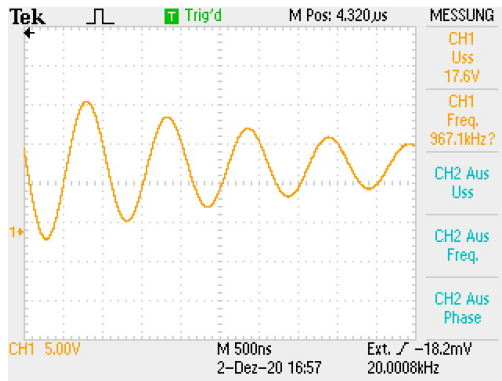


Abbildung 22: Schaltung zur Messung der Luftfeuchtigkeit

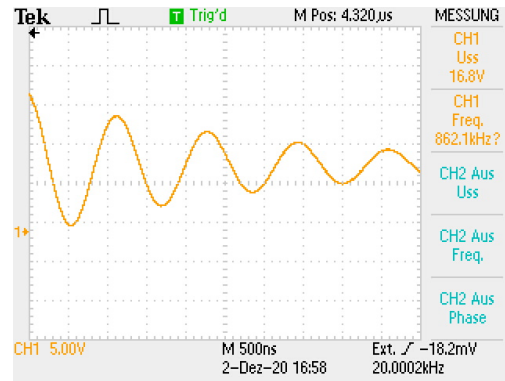
Um einige grobe Messergebnisse des Sensors zu erzielen, lässt sich die Luftfeuchtigkeit sowohl unter normalen Bedingungen als auch für höhere Werte durch auflegen der Hand oder das halten über kochendes Wasser ausmessen.

4.2 Resultat

Um nun den Schwingfall beobachten zu können muss die ausgehende Rechteckfunktion vergrößert werden. Nach einem jeden Ausschlag schwingt das System dann mit kurzer Zeit, mit der Resonanzfrequenz. Ein Ausschnitt der jeweiligen Schwingungen und deren Frequenzen sind in den folgenden Oszilloskopbilder zu sehen



(a) Schwingfall bei normaler Luftfeuchtigkeit



(b) Schwingfall bei maximaler Luftfeuchtigkeit

Für die Normale Luftfeuchtigkeit ergibt sich mit der Frequenz 967 kHz eine Kapazität von 181 pF, während sich für die maximale Luftfeuchtigkeit eine Kapazität von 227 pF, basierend auf der Frequenz von 862 kHz, ergibt.

Bei Vergleich mit dem vorhandenen Datenblatt¹ zeigt sich, dass die Werte zwar deutlich zu hoch liegen, jedoch in der richtigen Größenordnung sowie in der richtigen Reihenfolge. Die erwarteten Werte betragen circa 120 pF für eine normale Luftfeuchtigkeit und circa 150 pF für die 100% Luftfeuchtigkeit.

Die erhöhten Kapazitäten könnten sowohl ein Resultat der parasitären Kapazitäten in Kabeln o.ä. sein als auch einer Verschiebung der Resonanzfrequenz welche durch die Dämpfung entsteht.

¹Siehe Anhang 25

5 Zusammenfassung

Insgesamt zeigen die Versuche, dass sich durch spezielle Materialeigenschaften, die abhängig von einzelnen äußeren Einflüssen wie zum Beispiel Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Luftdruck sind, mit einfachen mitteln relativ präzise Sensoren, wie z.B. Thermometer, Luftfeuchtigkeitssensoren oder Mikrofone bzw. Barometer, bauen lassen.

Zur Lichtmessung eignen sich einfache Photodioden, wobei es für eine höhere Präzision ratsam ist Phototransistoren zu verwenden, da diese etwa um einen Faktor 16 genauer arbeiten als eine einfache Photodiode. Durch kombinieren einer LED, welche Licht einer bestimmten Wellenlänge aussendet, und eines Phototransistoren lässt sich zudem eine Lichtschranke bauen welche, unter anderem verwendet werden kann um einen Pulsmesser zu bauen.

Um Temperaturen messen zu können kann man temperaturabhängige Widerstände verwenden, welche in PTC und NTC unterteilt werden. Die Verwendbarkeit der PTC in alltäglichen Temperaturen wurde gezeigt während für NTC keine aussagekräftige Messung durchgeführt werden konnte. Die Temperatur lässt sich zudem noch über Thermoelemente bestimmen, welche einen Großen Operationsbereich aufweisen, jedoch nur einer geringe Empfindlichkeit, relativ zu den PTC/NTC.

Zur Schallmessung wurde sowohl ein dynamisches als auch ein Elektretmikrofon verwendet. Es konnte qualitativ gezeigt werden, dass das dynamische Mikrofon ohne Verstärkerschaltung funktioniert, im Gegensatz zu dem Elektretmikrofon. Jedoch besitzt das letztere einen deutlich größeren Operationsbereich verglichen mit dem dynamische Mikrofon.

Für den zuletzt verwendeten Feuchtigkeitssensor konnte die Relation des Ausgangssignal zur Umgebungsfeuchtigkeit nachgewiesen werden. Eine Zuordnung des Signales zu einer bestimmten Luftfeuchtigkeit missglückte jedoch aufgrund von äußeren Einflüssen wie zum Beispiel parasitären Kapazitäten in Kabeln.

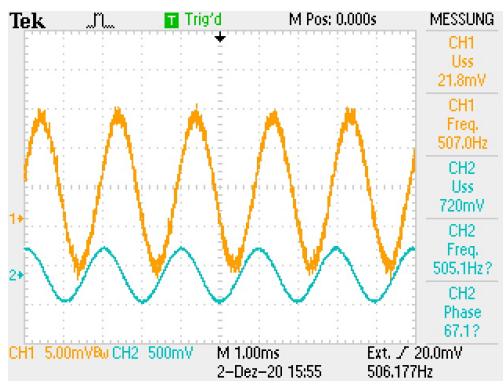
6 Anhang

Tabelle 1: Photodiode

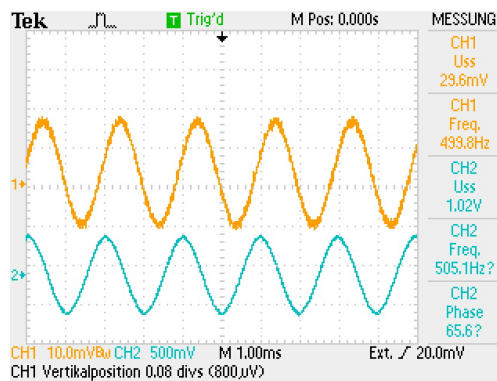
Lichtintensität [%]	U_{Ph} [mV]	I_{Ph} [μ A]
100	396 \pm 1	39.6 \pm 0.5
90	392 \pm 1	36.2 \pm 0.5
80	388 \pm 1	33.0 \pm 0.5
70	383 \pm 1	28.9 \pm 0.5
60	378 \pm 1	24.8 \pm 0.5
50	372 \pm 1	21.0 \pm 0.5
40	365 \pm 1	17.2 \pm 0.5
30	356 \pm 1	13.1 \pm 0.5
20	344 \pm 1	9.3 \pm 0.5
10	326 \pm 1	5.0 \pm 0.5
0	272 \pm 1	0.7 \pm 0.5

Tabelle 2: Phototransistor

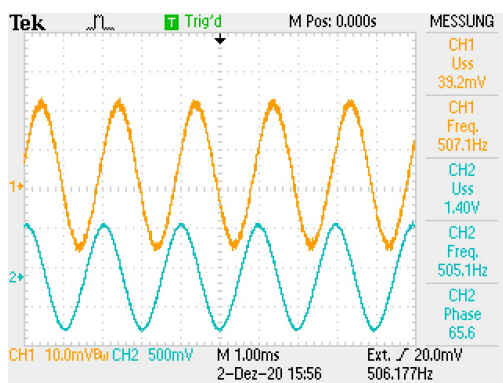
Lichtintensität [%]	I_{Ph} [μ A]
100	649 \pm 3
90	584 \pm 3
80	530 \pm 3
70	469 \pm 3
60	395 \pm 3
50	337 \pm 3
40	273 \pm 3
30	204 \pm 3
20	141 \pm 3
10	76 \pm 3
0	16 \pm 3



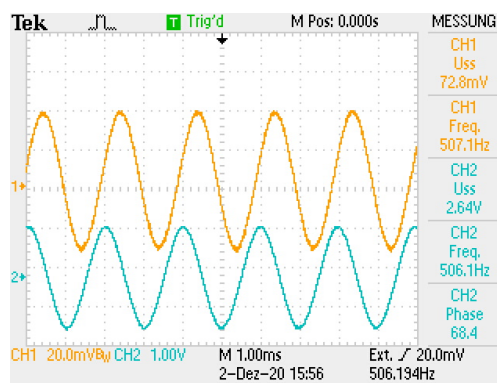
(c)



(d)

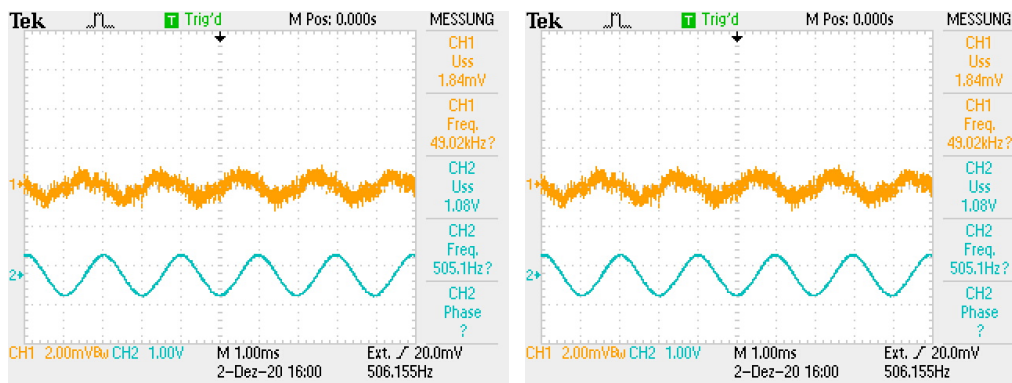


(e)



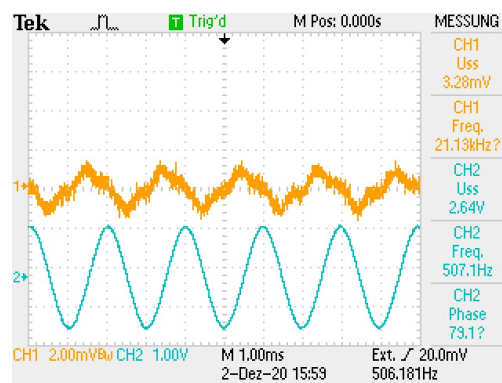
(f)

Abbildung 23: Oszilloskopbilder der Signalgröße des dynamischen Mikrofon bei unterschiedlichen Betriebsspannungen des Lautsprechers



(a)

(b)



(c)

Abbildung 24: Oszilloskopbilder der Signalgröße des Elektretmikrofon bei unterschiedlichen Betriebsspannungen des Lautsprechers

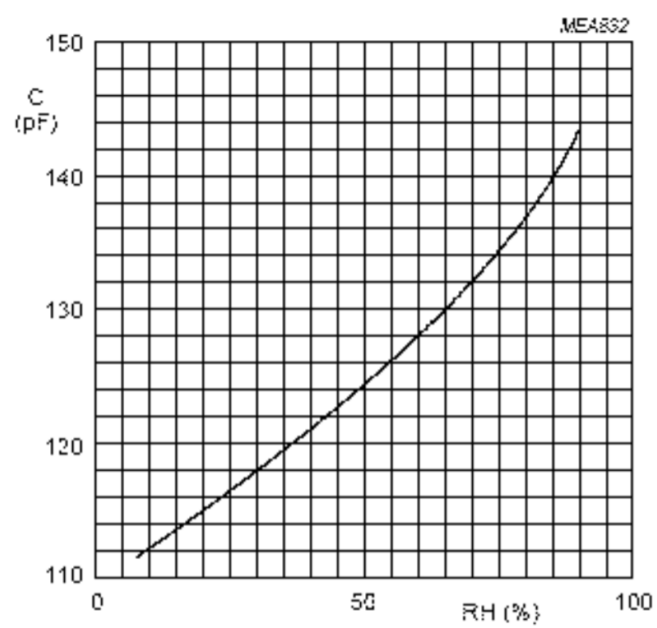


Abbildung 25: Datenblatt zum Feuchtekondensator