
BACHELORARBEIT

Frau
Zhu,Yue

**Untersuchung von
Ultraschall-Sensoren
hinsichtlich ihrer
wesentlichen Parameter**

Mittweida, 2022

BACHELORARBEIT

Untersuchung von Ultraschall-Sensoren hinsichtlich ihrer wesentlichen Parameter

Autorin:

Frau Zhu, Yue

Studiengang:

Elektro- und Informationstechnik

Seminargruppe:

EI18sA-BC

Erstprüfer:

Prof. Dr. -Ing. Michael Kuhl

Zweitprüfer:

M. Sc. Kevin Blümel

Einreichung:

Mittweida, 20.07.2022

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2022

BACHELOR THESIS

Investigation of ultrasonic sensors with regard to their essential parameters

author:

Ms. Zhu.Yue

course of studies:

Electro- and Informationtechnology

seminar group:

EI18sA-BC

first examiner:

Prof. Dr. -Ing. Michael Kuhl

second examiner:

M. Sc. Kevin Blümel

submission:

Mittweida, 20.07.2022

defence/ evaluation:

Mittweida, 2022

Bibliografische Beschreibung:

Zhu,Yue:

Untersuchung von Ultraschall-Sensoren hinsichtlich ihrer wesentlichen Parameter. - 2022.

Investigation of ultrasonic sensors with regard to their essential parameters. - 2022.

Seiten 76, Mittweida , Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Bachelorarbeit, 2022

Referat:

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der wichtigsten Parameter von Ultraschallsensoren, wie Öffnungswinkel, maximaler und minimaler Objektabstand bzw. mögliches Abdeckungsmaterial und Temperatur sowie Feuchtigkeit auf die Sensorleistung zu untersuchen und darzustellen.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Einleitung.....	1
1.1 <i>Motivation.....</i>	1
2 Aufgabenstellung	3
3 Stand der Technik	4
3.1 <i>Arbeitsprinzip</i>	4
3.2 <i>Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit.....</i>	4
4 Konzeption und Systementwurf.....	6
4.1 <i>Konzept des Systementwurfs</i>	6
4.2 <i>Hardwarekonzept</i>	6
4.3 <i>Hardwarekomponenten</i>	7
4.3.1 <i>Arduino Mega 2560</i>	7
4.3.2 <i>STM32-Mikrocontroller</i>	7
4.3.3 <i>Arduino serielle Kommunikation</i>	8
4.3.3.1 <i>Serial</i>	8
4.3.3.2 <i>serielle Kommunikation</i>	8
5 Software.....	9
5.1 <i>CH201 Sensor-Arithmetik.....</i>	9
5.1.1 <i>Berechnung der Formel.....</i>	9
5.2 <i>Komplette Ablaufdiagramme</i>	10
5.3 <i>Erklärung des entwickelten Codes.....</i>	11
5.4 <i>Visualisierung der Ausgabedaten</i>	12
5.4.1 <i>PLX-DAQ</i>	12
5.4.2 <i>Analyse des Liniendiagramms.....</i>	13
6 Versuchsdurchführung.....	15

6.1 Wahl der Versuchsumgebung	15
6.2 Werkzeuge zum Experimentieren	15
6.3 Experimentelles Verfahren	16
7 Versuchsergebnisse	19
7.1 Versuch 1: Der Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Versuchsergebnisse	19
7.1.1 Erfassungsbereich des Sensors unter normalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen	20
7.1.2 Erfassungsbereich der Sensoren bei niedrigen Temperaturen und feuchten Bedingungen	21
7.1.3 Erfassungsbereich des Sensors bei normaler Luftfeuchtigkeit und niedrigen Temperaturen	22
7.1.4 Erfassungsbereich des Sensors bei hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchtigkeit	22
7.2 Versuch 2: Der Einfluss des Abdeckmaterials auf die Versuchsergebnisse	23
7.2.1 Der Einfluss des Papiers auf den Erfassungsbereich des Sensors	23
7.2.2 Der Einfluss von Kunststoffen auf den Erfassungsbereich von Sensoren	24
7.2.2.1 Der Einfluss des PVC-Kunststoffs als Abdeckmaterial auf den Erfassungsbereich des Sensors	24
7.2.2.2 Der Einfluss des PE-Kunststoffs als Abdeckmaterial auf den Erfassungsbereich des Sensors	25
7.2.3 Der Einfluss von Nylon auf den Erfassungsbereich des Sensors	26
7.2.4 Der Einfluss von Baumwolle auf den Erfassungsbereich des Sensors	26
7.3 Versuch 3: Der Einfluss des Neigungswinkels des Messobjekts auf die Versuchsergebnisse	28
7.3.1 β ist konstant, α ändert sich	28
7.3.1.1 Ergebnisse der Messungen	28
7.3.2 α ist konstant, β ändert sich	30
7.3.3 α und β ändern sich	30
7.3.4 α und β ändern sich mit Sensorabdeckung	32
7.3.4.1 α und β ändern sich mit Baumwolle	33
7.3.4.2 α und β ändern sich mit PE-Kunststoff	35
8 Zusammenfassung und Ausblick	37
Literatur	39
Anlagen	41
Anlagen 1, Formular zur Datenerfassung	XLII
Anlagen 2, Arduino-Programmcode	LVII

Selbstständigkeitserklärung	61
--	-----------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Messprinzipschema eines Ultraschallsensors	4
Abbildung 2	Gesamtkonzept	6
Abbildung 3	Hardwarekonzept	6
Abbildung 4	Arduino Mega 2560	7
Abbildung 5	Mikrocontroller STM32	7
Abbildung 6	Diagramm der entsprechenden Pins der seriellen Schnittstelle	8
Abbildung 7	Verkürzter Schaltplan für serielle Kommunikation	8
Abbildung 8	Inkrementelle Umrechnungen und Berechnungen	9
Abbildung 9	Beziehung zwischen I- und Q-Werten, Amplitude und Phase	10
Abbildung 10	Komplette Ablaufdiagramme	10
Abbildung 13	Messdaten zu Temperatur und Luftfeuchtigkeit	16
Abbildung 14	Code zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit	16
Abbildung 15	CAD-Diagramm des Abstands zwischen Sensor und Messobjekt	17
Abbildung 16	Bilder vom Aufstellen der Kartons	17
Abbildung 17	CAD-Modell (Versuch 1)	19
Abbildung 18	Versuchsdatenblatt unter normalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen	20
Abbildung 19	Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm unter normalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen	21
Abbildung 20	Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm bei niedrigen Temperaturen und feuchten Bedingungen	21

Abbildung 21	Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm bei normaler Luftfeuchtigkeit und niedrigen Temperaturen	22
Abbildung 22	Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm bei hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchtigkeit.	22
Abbildung 23	CAD-Modell (Versuch 2)	23
Abbildung 24	Amplituden-Entfernungskurve.....	23
Abbildung 25	Fächerdiagramm und Gepunktete Linienzeichnung mit Papier als Abdeckmaterial	24
Abbildung 26	Abbildung eines mit PVC-Kunststoff bedeckten Sensors	24
Abbildung 27	Fächerdiagramm und Gepunktete Linienzeichnung mit PVC-Kunststoff als Abdeckmaterial	25
Abbildung 28	Abbildung eines mit PE-Kunststoff bedeckten Sensors.....	25
Abbildung 29	Fächerdiagramm und Gepunktete Linienzeichnung mit PE-Kunststoff als Abdeckmaterial.....	25
Abbildung 30	Abbildung eines mit Nylon bedeckten Sensors	26
Abbildung 31	Fächerdiagramm und Gepunktete Linienzeichnung mit Nylon als Abdeckmaterial	26
Abbildung 32	Abbildung eines mit Baumwolle bedeckten Sensors	27
Abbildung 33	Fächerdiagramm und Gepunktete Linienzeichnung mit Baumwolle als Abdeckmaterial	27
Abbildung 34	CAD-Modell (Versuch 3.1)	28
Abbildung 35	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 5^\circ$	28
Abbildung 36	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 10^\circ$	29
Abbildung 37	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 15^\circ$	29
Abbildung 38	$\alpha = 0^\circ$, β vor 5° bis 65°	30

Abbildung 39	$\alpha = 0^\circ$, β vor -65° bis -5°	30
Abbildung 40	CAD-Modell (versuch 3.3)	30
Abbildung 41	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 5^\circ$	31
Abbildung 42	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 10^\circ$	31
Abbildung 43	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 15^\circ$	31
Abbildung 44	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 20^\circ$	31
Abbildung 45	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 25^\circ$	32
Abbildung 46	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 30^\circ$	32
Abbildung 47	CAD-Schema	32
Abbildung 48	CAD-Modell (versuch 3.4)	33
Abbildung 49	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 5^\circ$	33
Abbildung 50	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 10^\circ$...	33
Abbildung 51	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 15^\circ$...	34
Abbildung 52	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 20^\circ$...	34
Abbildung 53	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 25^\circ$...	34
Abbildung 54	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 30^\circ$...	34
Abbildung 55	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff für $\beta = 5^\circ$	35
Abbildung 56	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff $\beta = 10^\circ$	35
Abbildung 57	Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff für $\beta = 15^\circ$	35

Abbildung 58 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff $\beta = 20^\circ$	36
Abbildung 59 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff für $\beta = 25^\circ$	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit entsprechend der Schallgeschwindigkeitstabelle	5
Tabelle 2 Experimentelles Datenblatt.....	16
Tabelle 3 Korrespondenztabelle für Winkel und rechtwinklige Kanten.....	18

1 Einleitung

Mit der rasanten Entwicklung der Wirtschaft werden auch die Möglichkeiten der Entfernungsmessung immer vielfältiger. Gewöhnliche Methoden der Entfernungsmessung werden den Bedürfnissen der Menschen nicht gerecht. Zum einen darf sich das Objekt während der Entfernungsmessung nicht bewegen und zum anderen muss das Ende des Hindernisses berührt werden. Herkömmliche Entfernungsmessverfahren haben große Einschränkungen, aber die Ultraschall-Entfernungsmessung löst dieses Problem sehr gut.

Die berührungslose Abstandsmessung kann in vielen Situationen eingesetzt werden. Erstens kann die berührungslose Abstandsmessung bewegte Objekte messen. Bei Verkehrsanwendungen erfordert die Messung der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs Echtzeit. Die herkömmliche Kontaktabstandsmessung kann dann nicht verwendet werden. Bei der berührungslosen Entfernungsmessung ist hingegen kein Kontakt mit einem Hindernis erforderlich. Bei der Messung der Tiefe eines Bohrlochs kann beispielsweise keine berührungslose Abstandsmessung durchgeführt werden, während die berührungslose Abstandsmessung diese Aufgabe problemlos erfüllen kann.

1.1 Motivation

Ultraschall-Entfernungsmesssysteme sind aufgrund der Vorteile der hohen Richtwirkung, des geringen Energieverbrauchs und der großen Ausbreitungsdistanzen im Medium einfacher zu realisieren. Darüber hinaus wird Ultraschall während der Ausbreitung nicht durch Faktoren wie Rauch, Sichtbarkeit in der Luft, externes Licht und elektromagnetische Felder beeinträchtigt. Es wird in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Ultraschall-Entfernungsmesser können vor allem bei Rückfahrradaren für Autos, bei der automatischen Hindernisvermeidung für Roboter, bei der Messung der Tiefe von Bohrlöchern und der Länge von Rohrleitungen über große Entfernungen usw. eingesetzt werden. Bevor Sie diese Funktionen nutzen, ist es außerdem sehr wichtig, den spezifischen Messbereich des Ultraschallsensors zu kennen.

2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, die wichtigsten Parameter von Ultraschallsensoren, wie beispielsweise den Öffnungswinkel, den maximalen und minimalen Objektabstand oder den Einfluss möglicher Abdeckmaterialien auf die Sensorleistung, zu untersuchen und darzustellen.

Dazu muss eine entsprechende Testplanung und -durchführung erfolgen, bei der die relevanten Parameter gründlich überprüft werden. Diese Werte werden dann als entsprechende aussagekräftige Informationen an den PC übertragen, gespeichert und sinnvoll ausgegeben (Datenvisualisierung).

- Einarbeitung in die Thematik
- Erarbeitung eines Systemkonzeptes (Hardware, Software) unter Nutzung von Mikrokontrollern und Arduino-Boards.
- Übergabe der Parameter über einen PC
- Bilddatenvisualisierung
- Schlussfolgerung der Messergebnisse und Zusammenfassung der Daten
- Bewertung, Darstellung und Dokumentation der Projektergebnisse

3 Stand der Technik

3.1 Arbeitsprinzip

Ultraschallwellen haben wie gewöhnliche Schallwellen auch die Eigenschaften der Reflexion, Brechung, Beugung und Streuung, aber die Wellenlänge der Ultraschallwellen ist kürzer, einige sind einige Zentimeter, bis hin zu einigen tausendstel Millimetern. Je kürzer die Wellenlänge ist, desto schlechter sind die Beugungseigenschaften der Schallwellen, die sich im Medium geradlinig ausbreiten können, so dass sich Ultraschall mit kürzerer Wellenlänge besonders gut geradlinig ausbreiten kann. [1]

Ultraschallsensoren senden in regelmäßigen Abständen kurze, hochfrequente Schallwellen aus, die sich mit Schallgeschwindigkeit durch die Luft bewegen. Treffen sie auf ein Objekt, werden sie als Echosignal an den Sensor zurückgesendet, aus dem der Sensor die Entfernung zwischen ihm und dem Ziel berechnen kann, indem er die Zeitspanne zwischen der Aussendung des Signals und dem Empfang des Echos berechnet. [2]

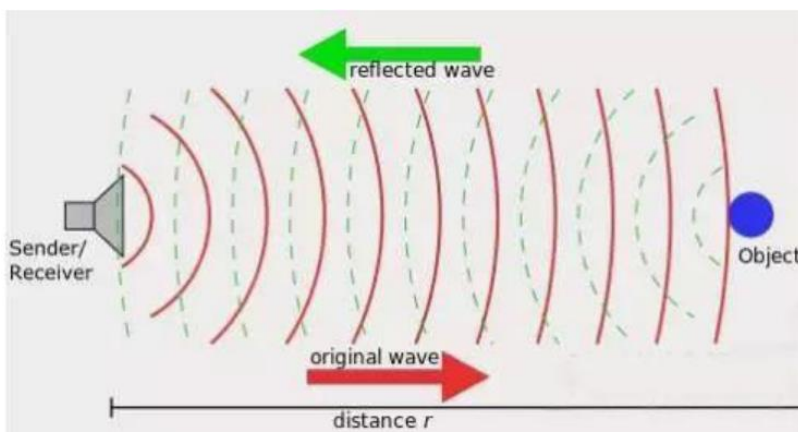


Abbildung 1 Messprinzipschema eines Ultraschallsensors[A1]

3.2 Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit

In der Luft kann die Schallgeschwindigkeit je nach Zustand der Luft (z. B. Feuchtigkeit, Temperatur, Dichte) variieren.[3]

$$v = 331.45 \left[\left(1 + \frac{T}{273.15} \right) \left(1 + 0.32 * \frac{P_w}{P} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

(Pw : der Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft)

$P_w = \text{Sättigungsdampfdruck des Wassers} \cdot \text{relative Luftfeuchtigkeit}$

T: die Temperatur P : der atmosphärische Druck)

Um schnell die der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit entsprechende Schallgeschwindigkeit zu erhalten, kann die Schallgeschwindigkeit mit Hilfe von Tabelle 1 schnell ermittelt werden.

Die horizontalen Reihen zeigen den Einfluss der Temperatur auf die Luftschallgeschwindigkeit und die vertikalen Reihen den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Luftschallgeschwindigkeit

temperatur(°C)	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Feuchtigkeit																				
10%	325,0564	325,7208	326,379	327,031	327,677	328,3171	328,9512	329,5797	330,2024	330,8196	331,4313	332,0377	332,6387	333,2344	333,8251	334,4107	334,9913	335,5671	336,1381	336,7043
15%	325,0635	325,7286	326,3874	327,0401	327,6869	328,3277	328,9628	329,5921	330,2159	330,8341	331,447	332,0545	332,6569	333,254	333,8462	334,4334	335,0157	335,5933	336,1662	336,7345
20%	325,0706	325,7363	326,3957	327,0492	327,6967	328,3383	328,9743	329,6046	330,2293	330,8487	331,4627	332,0714	332,6751	333,2736	333,8673	334,4561	335,0401	335,6195	336,1943	336,7646
25%	325,0777	325,744	326,4041	327,0583	327,7065	328,349	328,9858	329,617	330,2428	330,8632	331,4783	332,0883	332,6933	333,2932	333,8884	334,4787	335,0645	335,6456	336,2224	336,7947
30%	325,0848	325,7517	326,4125	327,0673	327,7163	328,3596	328,9973	329,6295	330,2562	330,8777	331,494	332,1052	332,7115	333,3128	333,9095	334,5014	335,0888	335,6718	336,2505	336,8249
35%	325,0919	325,7594	326,4208	327,0764	327,7262	328,3703	329,0088	329,6419	330,2697	330,8922	331,5097	332,1221	332,7297	333,3324	333,9305	334,5241	335,1132	335,698	336,2786	336,855
40%	325,099	325,7671	326,4292	327,0855	327,736	328,3809	329,0203	329,6544	330,2831	330,9067	331,5253	332,139	332,7479	333,352	333,9516	334,5468	335,1376	335,7242	336,3067	336,8852
45%	325,1061	325,7748	326,4376	327,0945	327,7458	328,3915	329,0318	329,6668	330,2966	330,9213	331,541	332,1559	332,766	333,3716	333,9727	334,5694	335,1619	335,7503	336,3348	336,9153
50%	325,1132	325,7825	326,4459	327,1036	327,7556	328,4022	329,0433	329,6792	330,31	330,9358	331,5567	332,1728	332,7842	333,3912	333,9938	334,5921	335,1863	335,7765	336,3628	336,9454
55%	325,1203	325,7902	326,4543	327,1127	327,7655	328,4128	329,0549	329,6917	330,3235	330,9503	331,5723	332,1896	332,8024	333,4108	334,0149	334,6148	335,2107	335,8027	336,3909	336,9756
60%	325,1274	325,7979	326,4627	327,1217	327,7753	328,4235	329,0664	329,7041	330,3369	330,9648	331,588	332,2065	332,8206	333,4304	334,0359	334,6375	335,235	335,8288	336,419	337,0057
65%	325,1345	325,8056	326,471	327,1308	327,7851	328,4341	329,0779	329,7166	330,3503	330,9793	331,6036	332,2234	332,8388	333,45	334,057	334,6601	335,2594	335,855	336,4471	337,0358
70%	325,1416	325,8134	326,4794	327,1399	327,795	328,4447	329,0894	329,729	330,3638	330,9938	331,6193	332,2403	332,857	333,4696	334,0781	334,6828	335,2838	335,8812	336,4752	337,0659
75%	325,1487	325,8211	326,4878	327,149	327,8048	328,4554	329,1009	329,7415	330,3772	331,0083	331,6349	332,2572	332,8752	333,4891	334,0992	334,7054	335,3081	335,9073	336,5032	337,0961
80%	325,1558	325,8288	326,4961	327,158	327,8146	328,466	329,1124	329,7539	330,3907	331,0229	331,6506	332,2741	332,8934	333,5087	334,1203	334,7281	335,3325	335,9335	336,5313	337,1262
85%	325,1629	325,8365	326,5045	327,1671	327,8244	328,4767	329,1239	329,7663	330,4041	331,0374	331,6663	332,2909	332,9116	333,5283	334,1413	334,7508	335,3568	335,9596	336,5594	337,1563
90%	325,17	325,8442	326,5129	327,1762	327,8343	328,4873	329,1354	329,7788	330,4176	331,0519	331,6819	332,3078	332,9298	333,5479	334,1624	334,7734	335,3812	335,9858	336,5875	337,1864
95%	325,1771	325,8519	326,5212	327,1852	327,8441	328,4979	329,1469	329,7912	330,431	331,0664	331,6976	332,3247	332,9479	333,5675	334,1835	334,7961	335,4055	336,0119	336,6155	337,2165

Tabelle 1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit entsprechend der Schallgeschwindigkeitstabelle

4 Konzeption und Systementwurf

In diesem Kapitel werden zunächst die Anforderungen an das System vorgestellt. Diese Anforderungen werden dann in den System-, Hardware- und Softwarekonzepten weiter spezifiziert, die dann umgesetzt werden.

4.1 Konzept des Systementwurfs

Dieses System erfordert ein Arduino-Board mit einem Mikrocontroller STM32 und der Ultraschallsensor CH201 arbeiten zusammen, um Daten an den PC auszugeben. Nachdem die Daten abgebildet wurden, wird festgestellt, ob das Messobjekt erfasst werden kann. Das hier beschriebene Systemkonzept bezieht sich auf Abbildung 2

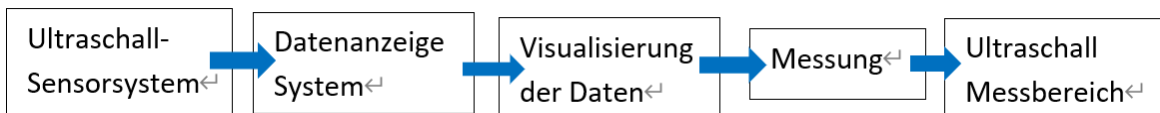


Abbildung 2 Gesamtkonzept

4.2 Hardwarekonzept

Dieses System erfordert eine serielle Kommunikation über den Mikrocontroller STM32 und das Arduino-Board. Der Mikrocontroller ist mit dem Ultraschallsensor verbunden und die Daten werden über den Mikrocontroller zur Verarbeitung an das Arduino-Board übertragen. Die endgültige Ausgabe erfolgt direkt auf dem Computer. Die wichtigere Aufgabe besteht darin, festzustellen, ob der Sensor an jeder einzelnen Position messen kann. Schließlich werden die Daten zusammengefasst.

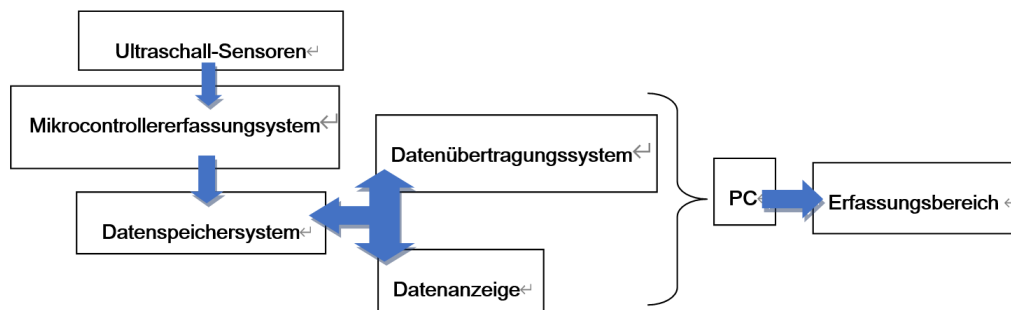


Abbildung 3 Hardwarekonzept

4.3 Hardwarekomponenten

Für dieses Projekt werden zwei Hauptplatinen benötigt: der Arduino Mega 2560 und der Mikrocontroller STM32. Im Folgenden werden die beiden Tafeln vorgestellt.

4.3.1 Arduino Mega 2560

Der Arduino Mega 2560 ist ein Mikrocontroller-Board auf Basis des ATmega2560. Er verfügt über 54 digitale Eingangs-/Ausgangs-Pins (von denen 15 als PWM-Ausgänge verwendet werden können), 16 analoge Eingänge, 4 UARTs (serielle Hardware-Ports), einen 16-MHz-Quarzoszillator, einen USB-Anschluss, eine Stromversorgungsbuchse, einen ICSP-Anschluss und eine Reset-Taste. Es enthält alles, was zur Unterstützung des Mikrocontrollers benötigt wird; kann Man es einfach über ein USB-Kabel an einen Computer anschließen oder kann Man es mit einem AC-DC-Adapter oder einer Batterie, um loszuliegen versorgen. [4]

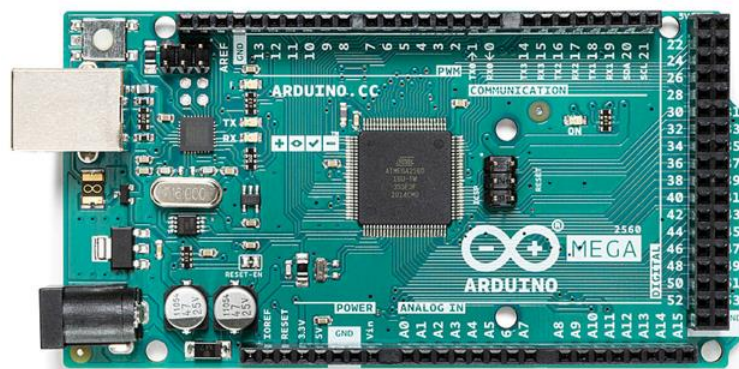


Abbildung 4 Arduino Mega 2560[A4]

4.3.2 STM32-Mikrocontroller

Die STM32 L0-Serie ist die erste Gruppe von STM32-Mikrocontrollern, die auf dem ARM Cortex-M0+ Kern basieren. [5]



Abbildung 5 Mikrocontroller STM32[A5]

4.3.3 Arduino serielle Kommunikation

4.3.3.1 Serial

Serial wird für die Kommunikation zwischen dem Arduino-Board und einem Computer oder anderen Geräten verwendet. Alle Arduino-Boards haben mindestens eine serielle Schnittstelle (auch als UART oder USART bezeichnet) und andere haben mehrere. Auf dem Mega werden die Pins 0 und 1 für die Kommunikation mit dem Computer verwendet. Wenn Man irgendetwas an diese Pins anschließt, kann dies die Kommunikation beeinträchtigen. [6] In diesem Projekt wird die serielle Schnittstelle 1 von Mega als serielle Schnittstelle für die serielle Kommunikation verwendet.

BOARD	USB CDC NAME	SERIELLE PINS	SERIAL1 PINS	SERIAL2 PINS	SERIAL3 PINS
Uno, Nano, Mini		0(RX), 1(TX)			
Mega		0(RX), 1(TX)	19(RX), 18(TX)	17(RX), 16(TX)	15(RX), 14(TX)

Abbildung 6 Diagramm der entsprechenden Pins der seriellen Schnittstelle

4.3.3.2 serielle Kommunikation

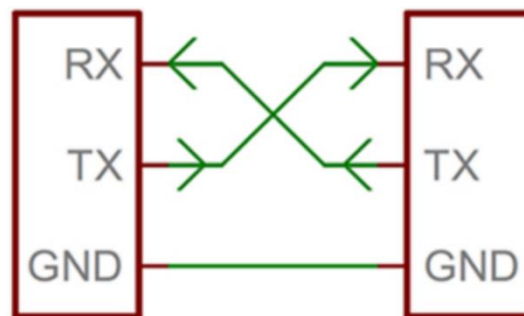


Abbildung 7 Verkürzter Schaltplan für serielle Kommunikation [A7]

Bei der Kommunikation mit seriellen Geräten (z. B. GPRS-Module, Trägerchips usw.) sind RXD und TXD immer umgekehrt, d. h. der RXD des Mikrocontrollers ist mit dem TXD des Geräts verbunden, und der TXD des Mikrocontrollers ist mit dem RXD des Geräts verbunden (außer bei speziell gekennzeichneten Geräten, deren RXD direkt mit dem RXD des Mikrocontrollers verbunden ist)

5 Software

Software ist ein wesentlicher Bestandteil meines Projekts. Vor der Programmierung sind Kenntnisse über CH201 Sensor-Arithmetik erforderlich.

5.1 CH201 Sensor-Arithmetik

Das System empfängt die Daten nach der Erkennung von "0x33,0x00,0x56,0x99,0xFF,0x00". Der nächste Schritt ist der Empfang der Anzahl der Proben, was 2 Bytes in Anspruch nimmt. Die Daten müssen verarbeitet werden: Zunächst muss eine Acht-Bit-Binärkonvertierung durchgeführt werden, und dann muss von binär nach dezimal konvertiert werden, um die Anzahl der Proben zu erhalten. Dann wird die Abtastfrequenz empfangen, die 4 Bytes einnimmt, wiederum nach 2 Binärumwandlungen. Dann werden die Samples empfangen, die jeweils 4 Bytes umfassen und aus zwei Teilen bestehen, Sample Q und Sample I. Die beiden Samples nehmen 2 Bytes ein. Dann werden die Proben kontinuierlich empfangen, bis die letzte Probe empfangen wurde. Die nachstehende Abbildung 8 zeigt ein Beispiel für die Verarbeitung der einzelnen.

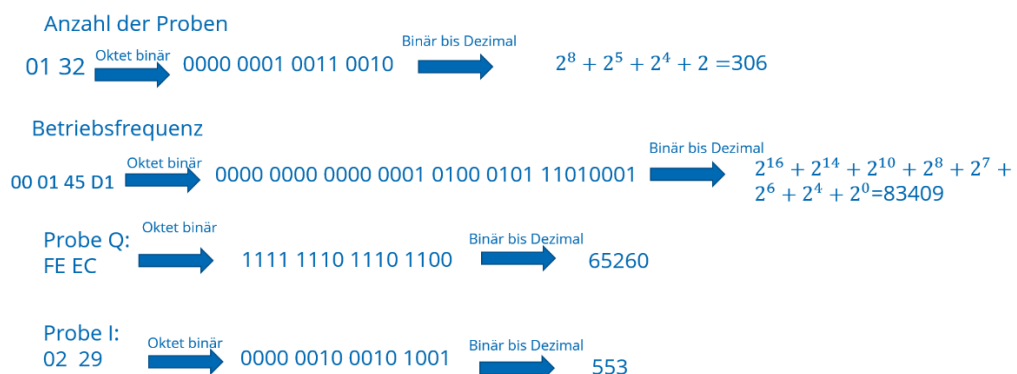


Abbildung 8 Inkrementelle Umrechnungen und Berechnungen

5.1.1 Berechnung der Formel

Die vom Sensor erzeugten I/Q-Daten sind die Grundlage der A-Scan-Darstellung. Jedes Paar von I- und Q-Daten sind die Komponenten einer komplexen Zahl ($I + jQ$), die die Amplitude und Phase eines empfangenen Ultraschallmusters darstellt, wie unten grafisch dargestellt:

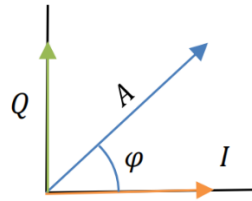


Abbildung 9 Beziehung zwischen I- und Q-Werten, Amplitude und Phase

Um ein beliebiges I/Q-Paar in die Amplitude dieser Probe umzuwandeln, quadrieren Sie sowohl I als auch Q und ziehen die Quadratwurzel aus der Summe:

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

Um die Anzahl der Proben in die entsprechende physikalische Einwegentfernung (d) umzurechnen, multiplizieren Sie mit der Schallgeschwindigkeit in Luft und teilen Sie durch zwei, z. B.

$$d = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \frac{8}{f_A} \cdot n$$

(C: Schallgeschwindigkeit in Luft f_A :Arbeitsfrequenz n: Anzahl der Probensequenzen)

5.2 Komplette Ablaufdiagramme

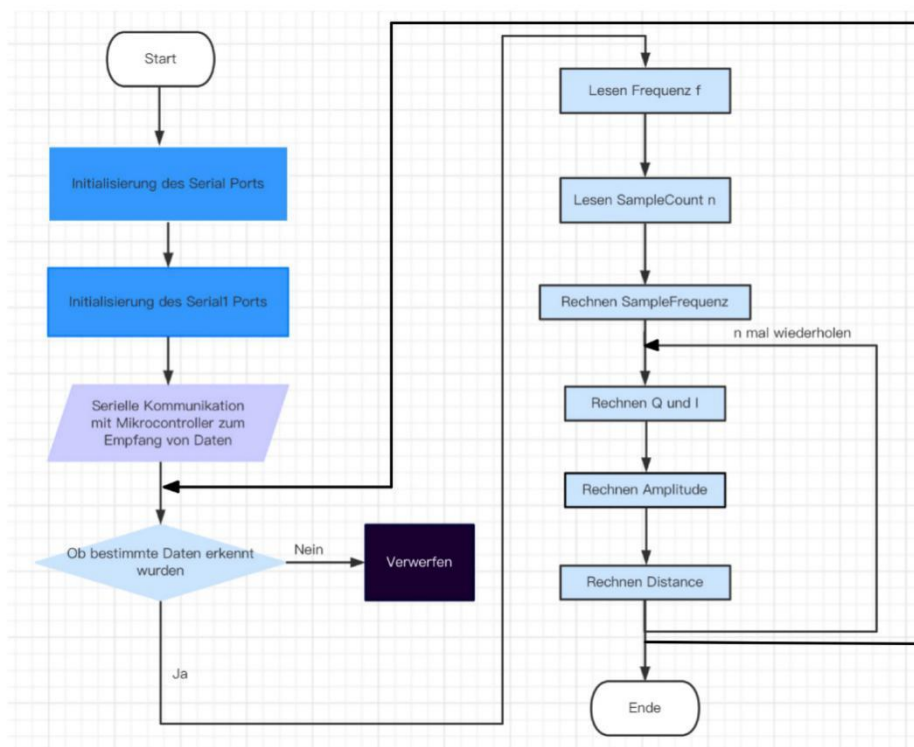


Abbildung 10 Komplette Ablaufdiagramme

5.3 Erklärung des entwickelten Codes

Die erste Zeile des Programms ist die Einstellung der Schallgeschwindigkeit. Während der Messung werden die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit gemessen, und die mit Symbol 1 ermittelten Werte werden in den Code geschrieben.

```
// Schallgeschwindigkeit in Luft, Einheit: m/s
#define SOUND_SPEED_IN_AIR      (343.0)
```

Die nächsten zu verarbeitenden Daten werden in das Programm eingegeben:

```
int i = 0; //Anzahl der Probensequenzen
int iSampleCount = 0; //Anzahl der Proben
double dblSamplingFrequency = 0; //Abtastfrequenz
double dblDistance = 0.0; //Distanz
double dblAmp = 0.0; //Amplitude
double dblQ = 0.0; //Probe Q
double dblI = 0.0; //Probe I
```

Anschließend wird die Baudrate der beiden seriellen Schnittstellen im Freien eingestellt.

```
Serial.begin(1000000);
Serial1.begin(1000000);
```

Als nächstes folgen die serielle Kommunikation und das Lesen von Daten.

```
if(uwReceiveCount < BUF_SIZE)
{
    //Daten empfangen
    while(Serial1.available() > 0 )
    {
        ucReceiveBuf[uwReceiveCount++] = Serial1.read(); ;
    }
}
```

Anschließend werden die Daten verarbeitet und die beiden wichtigsten Formeln berechnet. Verfahren zur Berechnung der Amplitude:

```
void RechnenAmplitude(void)
{
    // dblAmp = sqrt(dblQ*dblQ + dblI * dblI);
    double dblTemp = 0.0;
    dblAmp = dblQ*dblQ;
    dblTemp = dblI * dblI;
    dblAmp = dblAmp + dblTemp;
    dblAmp = sqrt(dblAmp);
}
```

Verfahren zur Berechnung der Entfernungen:

```
void RechnenDistance(void)
{
    // Calculate distance
    dblDistance = (double)1 / dblSamplingFrequency;
    dblDistance = (double)SOUND_SPEED_IN_AIR * dblDistance;
    dblDistance = dblDistance * i;
    dblDistance = dblDistance / (double)2;
}
```

5.4 Visualisierung der Ausgabedaten

Nachdem die Daten verarbeitet und ausgegeben worden sind, müssen sie grafisch dargestellt werden. Daher muss zur Visualisierung der Daten die Software PLX-DAQ verwendet werden.

5.4.1 PLX-DAQ

PLX DAQ ist ein Programm, das eine einfache Kommunikation zwischen Microsoft Excel auf einem Windows-Computer und einem beliebigen Gerät, das das serielle Schnittstellenprotokoll unterstützt, ermöglicht. Es wurde absichtlich geschrieben, um die Kommunikation zwischen Arduino und Excel zu ermöglichen. [B1] Wenn Man die Baudrate einstellt, sollte die Software die gleiche Baudrate haben, wie sie im Arduino eingestellt ist. In Abbildung 11 ist die Baudrate der seriellen Schnittstelle sowohl für den STM32 als auch für den Arduino 1000000.

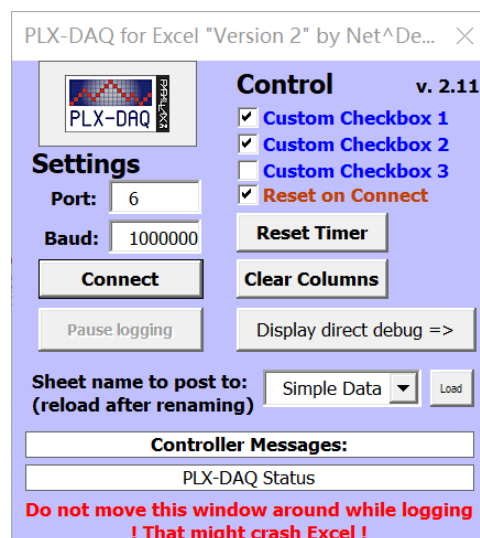


Abbildung 11 PLX-DAQ

Der Arduino-Code muss lediglich geändert werden, damit der PLX-DAQ die Tabellen automatisch generieren kann. Im Abschnitt SETUP muss das folgende Programm hinzugefügt werden.

```
Serial.begin(1000000);
Serial.println("CLEARDATA");
Serial.println("LABEL,TIMER,Amp,Distance");
```

Im Abschnitt LOOP muss Folgendes hinzugefügt werden.

```
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(dblAmp);
Serial.print(",");
Serial.println(dblDistance*100);
```

Sobald diese beiden Teile abgeschlossen sind, können die Daten in EXCEL in ein Liniendiagramm umgewandelt werden.

Achtung:

```
delay(300);
```

PLX-DAQ stürzt manchmal automatisch ab, das hat nichts mit der Baudrate zu tun, sondern hauptsächlich mit der Häufigkeit des Auslesens von Daten. Bei diesem Problem muss lediglich die Frequenz des Datenlesens auf etwa 10 Hz reduziert werden. Daher werden die Daten um 0,3 Sekunden verzögert, um einen stabilen Systembetrieb zu gewährleisten.

5.4.2 Analyse des Liniendiagramms

Eine Amplitudenspitze tritt auf, wenn der Sensor ein Objekt erkennt. Anhand dieses Bildes lässt sich feststellen, dass sich das Objekt in einem Abstand von 202 cm zum Sensor befindet (siehe Abbildung 12). Bei der nächsten Messung kann das Objekt daraufhin vermessen werden, ob die Amplitude mit der tatsächlichen Entfernung übereinstimmt.

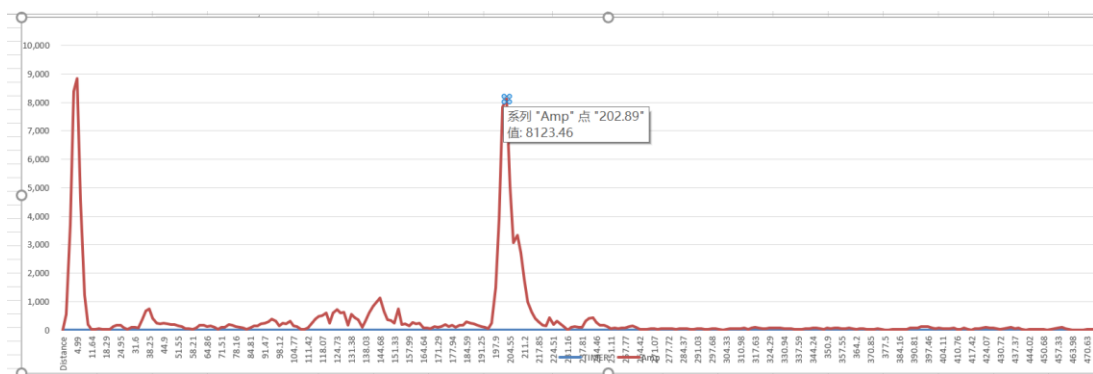


Abbildung 12 Liniendiagramm der Amplitude gegen die entsprechende Entfernung

6 Versuchsdurchführung

Da die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängt, ist auch die Wahl der Umgebung, in der die Messungen durchgeführt werden, von Bedeutung. Im Folgenden sind die Einflusspunkte der Umgebung aufgeführt.

6.1 Wahl der Versuchsumgebung

➤ Temperatur

Eine zu hohe oder zu niedrige Temperatur kann zu erheblichen Abweichungen bei den Messergebnissen führen. Die Versuche können jedoch bei normalen Außentemperaturen durchgeführt werden.[7]

➤ Druck

Wenn der Druck in der Umgebung, in der sich die Schallwelle befindet, vom atmosphärischen Druck abweicht, werden die Ergebnisse ebenfalls stark beeinflusst. (z. B. bei der Messung von Flüssigkeits- oder Objektständen in Druckbehältern) [7]

➤ Luftstrom

Einige Schallwellen können durch starke Luftströmungen "weggeblasen" werden. Das bedeutet, dass bei starkem Wind die Schallwellen beeinträchtigt werden. Um die Genauigkeit der Daten zu gewährleisten, wurde der Messstandort so windstill wie möglich gewählt. [7]

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ist, dass Ultraschallsensoren von mehr Faktoren beeinflusst werden und ihre Genauigkeit im Allgemeinen nicht hoch ist. [7]

Da die maximale Entfernung in der Regel zwischen 20 cm und 500 cm liegt, wurde das Projekt so weit wie möglich im Freien durchgeführt.

6.2 Werkzeuge zum Experimentieren

➤ Thermo-Hygrometer

➤ Bandmaß

➤ Winkelmesser

- Große Papierschachtel(40cm*40cm*62cm)
- Dünne Holzbretter(26cm*60cm)

6.3 Experimentelles Verfahren

Zunächst werden die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit mit einem Temperatur- und Feuchtigkeitsmesser gemessen, wie in der Abbildung dargestellt.



Abbildung 13 Messdaten zu Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Als Nächstes ermitteln Sie die entsprechende Schallgeschwindigkeit gemäß Tabelle 1 und ändern sie in der Arduino-Software, wie in Abbildung 14 gezeigt.

```
#define SOUND_SPEED_IN_AIR      (344.38)
```

Abbildung 14 Code zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

Der Karton oder die Platte wird dann an die entsprechende Stelle in Tabelle 2 in der nachstehenden Abbildung gestellt.

winkel Abstand (cm)	linkn 40	link 35	link 30°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht 30°	Recht 35	Recht 40
5															
10															
20															
50															
100															
115															
120															
125															
150															
180															
200															
220															
230															
250															
260															
300															
325															
350															
400															
420															
430															
450															
460															

Tabelle 2 Experimentelles Datenblatt

Mit einem Maßband und einem Winkelmesser wird dann die Position des zu messenden Objekts bestimmt. Da die Länge a zwischen dem Sensor und dem Messobjekt schwieriger direkt mit dem Maßband zu bestimmen ist, wird die Messung zunächst mit den rechtwinkligen Seiten b und c schneller durchgeführt, wie in Abbildung 15.

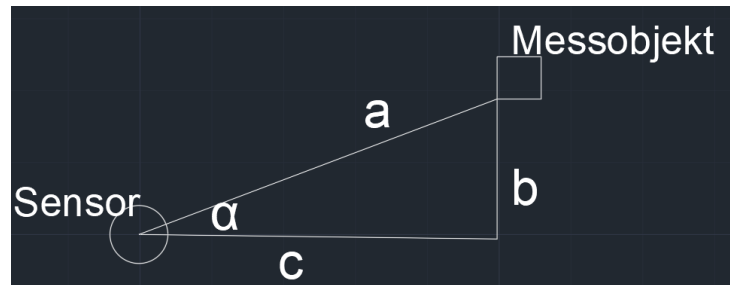


Abbildung 15 CAD-Diagramm des Abstands zwischen Sensor und Messobjekt

Nachfolgend sehen Sie ein Bild des tatsächlichen Maßes mit platziertem Karton.



Abbildung 16 Bilder vom Aufstellen der Kartons

Um die Messung zu erleichtern, werden die Längen der beiden rechtwinkligen Seiten wie in der nachstehenden Tabelle angegeben.

a \ b	5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°	
	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b
20	19.92	1.74	19.7	3.48	19.32	5.18	18.8	6.84	18.12	8.46	17.32	10	16.38	11.48	15.32	12.86
30	29.88	2.61	29.55	5.22	28.98	7.77	28.2	10.26	27.18	12.69	25.98	15	24.57	17.22	22.98	19.29
40	39.84	3.48	39.4	6.96	38.64	10.36	37.6	13.68	36.24	16.92	34.64	20	32.76	22.96	30.64	25.72
50	49.8	4.35	49.25	8.7	48.3	12.95	47	17.1	45.3	21.15	43.3	25	40.95	28.7	38.3	32.15
60	59.76	5.22	59.1	10.44	57.96	15.54	56.4	20.52	54.36	25.38	51.96	30	49.14	34.44	45.96	38.58
65	64.74	5.655	64.025	11.31	62.79	16.835	61.1	22.23	58.89	27.495	56.29	32.5	53.235	37.31	49.79	41.795
70	69.72	6.09	68.95	12.18	67.62	18.13	65.8	23.94	63.42	29.61	60.62	35	57.33	40.18	53.62	45.01
75	74.7	6.525	73.875	13.05	72.45	19.425	70.5	25.65	67.95	31.725	64.95	37.5	61.425	43.05	57.45	48.225
80	79.68	6.96	78.8	13.92	77.28	20.72	75.2	27.36	72.48	33.84	69.28	40	65.52	45.92	61.28	51.44
85	84.66	7.395	83.725	14.79	82.11	22.015	79.9	29.07	77.01	35.955	73.61	42.5	69.615	48.79	65.11	54.655
90	89.64	7.83	88.65	15.66	86.94	23.31	84.6	30.78	81.54	38.07	77.94	45	73.71	51.66	68.94	57.87
95	94.62	8.265	93.575	16.53	91.77	24.605	89.3	32.49	86.07	40.185	82.27	47.5	77.805	54.53	72.77	61.085
100	99.6	8.7	98.5	17.4	96.6	25.9	94	34.2	90.6	42.3	86.6	50	81.9	57.4	76.6	64.3
110	109.56	9.57	108.35	19.14	106.26	28.49	103.4	37.62	99.66	46.53	95.26	55	90.09	63.14	84.26	70.73
120	119.52	10.44	118.2	20.88	115.92	31.08	112.8	41.04	108.72	50.76	103.92	60	98.28	68.88	91.92	77.16
130	129.48	11.31	128.05	22.62	125.58	33.67	122.2	44.46	117.78	54.99	112.58	65	106.47	74.62	99.58	83.59
140	139.44	12.18	137.9	24.36	135.24	36.26	131.6	47.88	126.84	59.22	121.24	70	114.66	80.36	107.24	90.02
150	149.4	13.05	147.75	26.1	144.9	38.85	141	51.3	135.9	63.45	129.9	75	122.85	86.1	114.9	96.45
160	159.36	13.92	157.6	27.84	154.56	41.44	150.4	54.72	144.96	67.68	138.56	80	131.04	91.84	122.56	102.88
165	164.34	14.355	162.525	28.71	159.39	42.735	155.1	56.43	149.49	69.795	142.89	82.5	135.135	94.71	126.39	106.095
170	169.32	14.79	167.45	29.58	164.22	44.03	159.8	58.14	154.02	71.91	147.22	85	139.23	97.58	130.22	109.31
180	179.28	15.66	177.3	31.32	173.88	46.62	169.2	61.56	163.08	76.14	155.88	90	147.42	103.32	137.88	115.74
190	189.24	16.53	187.15	33.06	183.54	49.21	178.6	64.98	172.14	80.37	164.54	95	155.61	109.06	145.54	122.17
200	199.2	17.4	197	34.8	193.2	51.8	188	68.4	181.2	84.6	173.2	100	163.8	114.8	153.2	128.6
210	209.16	18.27	206.85	36.54	202.86	54.39	197.4	71.82	190.26	88.83	181.86	105	171.99	120.54	160.86	135.03
220	219.12	19.14	216.7	38.28	212.52	56.98	206.8	75.24	199.32	93.06	190.52	110	180.18	126.28	168.52	141.46
230	229.08	20.01	226.55	40.02	222.18	59.57	216.2	78.66	208.38	97.29	199.18	115	188.37	132.02	176.18	147.89
240	239.04	20.88	236.4	41.76	231.84	62.16	225.6	82.08	217.44	101.52	207.84	120	196.56	137.76	183.84	154.32
250	249	21.75	246.25	43.5	241.5	64.75	235	85.5	226.5	105.75	216.5	125	204.75	143.5	191.5	160.75
260	258.96	22.62	256.1	45.24	251.16	67.34	244.4	88.92	235.56	109.98	225.16	130	212.94	149.24	199.16	167.18
270	268.92	23.49	265.95	46.98	260.82	69.93	253.8	92.34	244.62	114.21	233.82	135	221.13	154.98	206.82	173.61
280	278.88	24.36	275.8	48.72	270.48	72.52	263.2	95.76	253.68	118.44	242.48	140	229.32	160.72	214.48	180.04
290	288.84	25.23	285.65	50.46	280.14	75.11	272.6	99.18	262.74	122.67	251.14	145	237.51	166.46	222.14	186.47
300	298.8	26.1	295.5	52.2	289.8	77.7	282	102.6	271.8	126.9	259.8	150	245.7	172.2	229.8	192.9

Tabelle 3 Korrespondenztabelle für Winkel und rechtwinklige Kanten

Nachdem Sie das Messobjekt platziert haben, kann Man die PLX-DAQ-Software öffnen. kann Man auf Verbinden klicken. Und warten , bis die Daten hochgeladen werden, das Liniendiagramm wird gezeichnet und Sie können feststellen, ob das Messobjekt erfasst werden kann und die Versuchsergebnisse ableiten.

7 Versuchsergebnisse

Nach der Vorbereitung wie in Kapitel 6 werden die Ergebnisse der Versuche im Folgenden vorgestellt. Im Folgenden werden 3 Versuchsreihen unter dem Gesichtspunkt der Temperatur und Feuchtigkeit des Sensors, der Abdeckung und des Messobjekts durchgeführt, die die 3 Einflussfaktoren auf die Versuche darstellen.

7.1 Versuch 1: Der Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Versuchsergebnisse

Anhand der Gleichung für den Zusammenhang zwischen Schallgeschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchtigkeit lässt sich leicht erkennen, dass sich Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf den Erfassungsbereich auswirken. Man kann also Messungen bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeit vornehmen. Im Folgenden sieht Man ein CAD-Modell der Messung

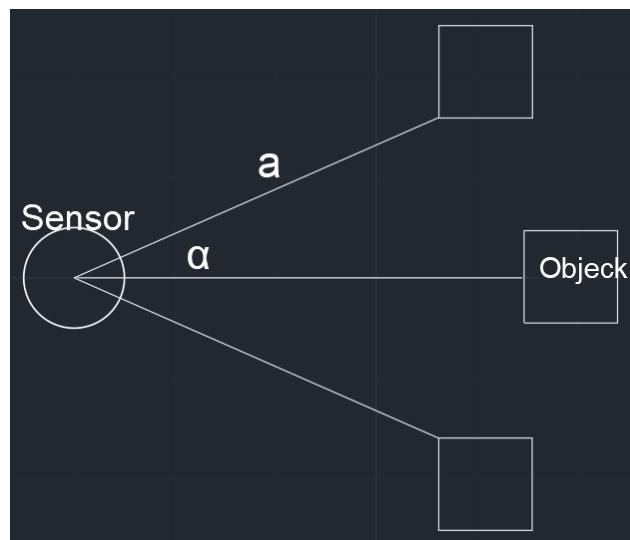


Abbildung 17 CAD-Modell (Versuch 1)

- Ergebnisse der Messungen

Der erste Datensatz wurde bei einer Temperatur von 20,26°C und einer Luftfeuchtigkeit von 50.81% gemessen, als die Schallgeschwindigkeit 343,15m/s betrug. Dieser Datensatz wurde bei normaler Temperatur und Luftfeuchtigkeit gemessen.

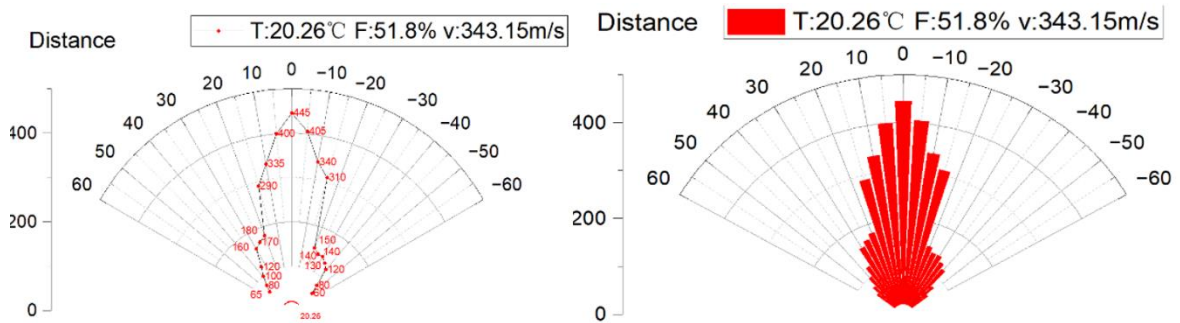


Abbildung 19 Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm unter normalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen

7.1.2 Erfassungsbereich der Sensoren bei niedrigen Temperaturen und feuchten Bedingungen

Die folgenden Zahlen beziehen sich auf eine Temperatur von 14,7°C. Die Luftfeuchtigkeit wurde mit 81,20 % gemessen. Diese Daten wurden nach Regen gemessen.

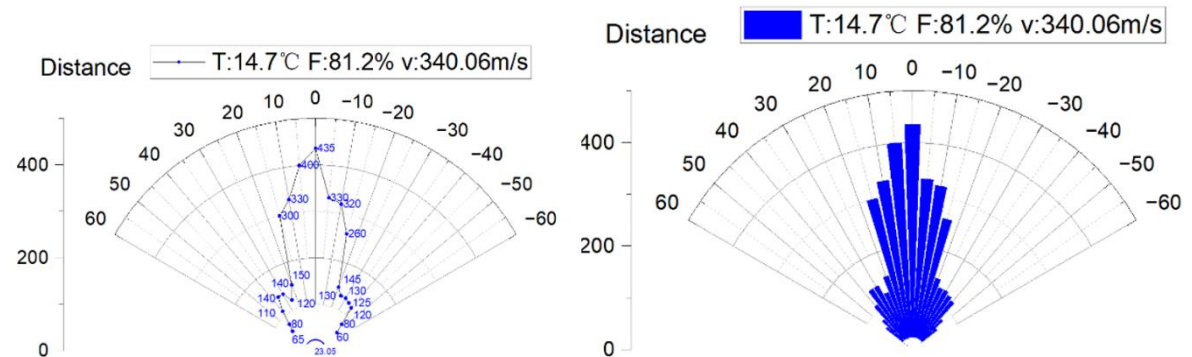


Abbildung 20 Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm bei niedrigen Temperaturen und feuchten Bedingungen

7.1.3 Erfassungsbereich des Sensors bei normaler Luftfeuchtigkeit und niedrigen Temperaturen

Die folgenden Daten wurden bei einer Temperatur von 13,8°C und einer Luftfeuchtigkeit von 53,22% gemessen. Dieser Datensatz wurde mitten in der Nacht gemessen.

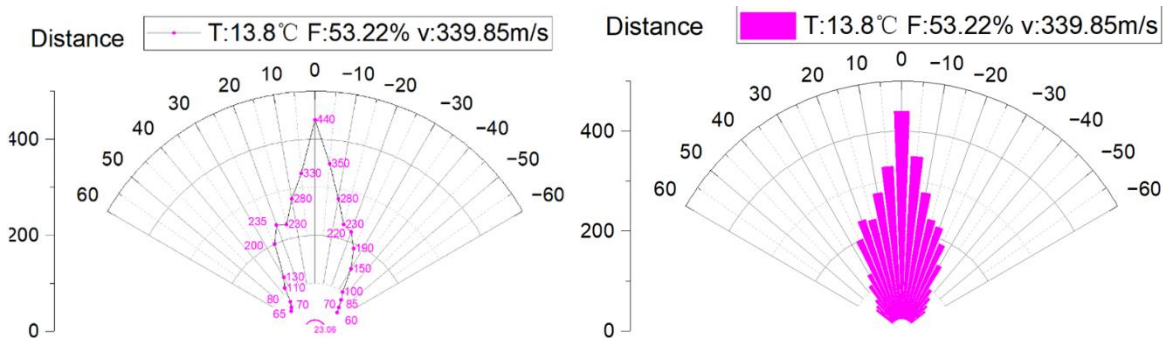


Abbildung 21 Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm bei normaler Luftfeuchtigkeit und niedrigen Temperaturen

7.1.4 Erfassungsbereich des Sensors bei hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchtigkeit.

Die folgenden Daten wurden bei einer Temperatur von 31,47°C und einer Luftfeuchtigkeit von 19,12% gemessen.

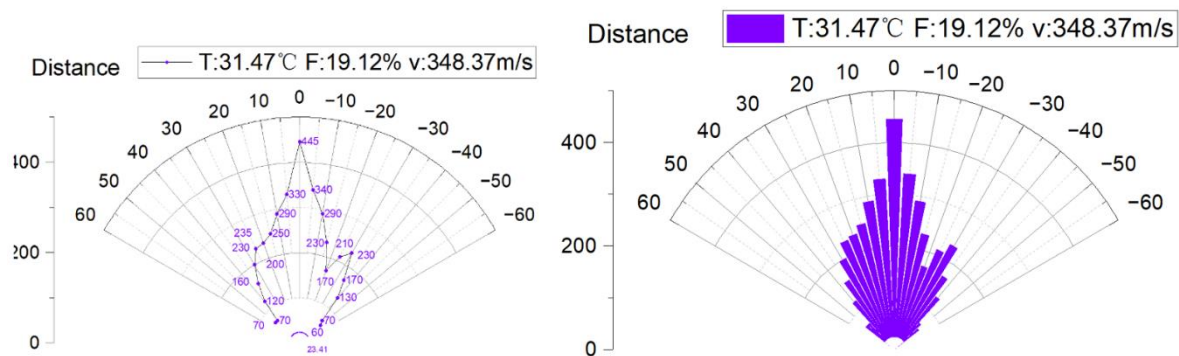


Abbildung 22 Datenpunkt-Liniendiagramm und Fächerdiagramm bei hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchtigkeit.

Analyse der Daten:

Die obigen Daten zeigen, dass der messbare Bereich umso größer ist, je höher die Temperatur ist. Die Luftfeuchtigkeit hat jedoch wenig Einfluss auf den Erfassungsbereich des Sensors.

7.2 Versuch 2: Der Einfluss des Abdeckmaterials auf die Versuchsergebnisse

Verschiedene Materialien können unterschiedliche Auswirkungen auf den Messbereich des Sensors haben. Im Folgenden werden vier verschiedene Materialien untersucht: Papier, Kunststoff, Nylon und Wolle. Eine CAD-Simulation des Sensors und des Messobjekts ist unten abgebildet.

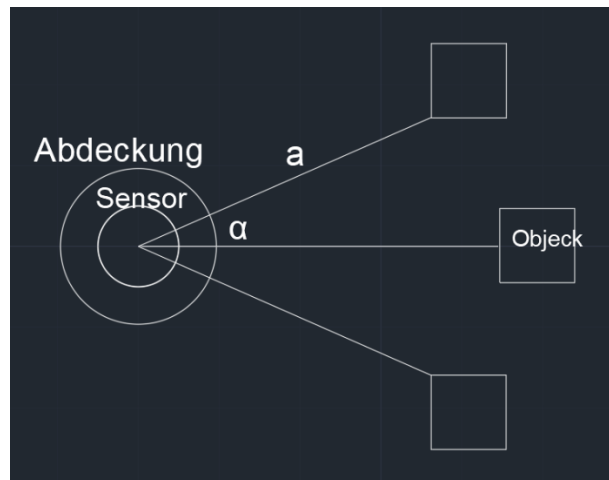


Abbildung 23 CAD-Modell (Versuch 2)

7.2.1 Der Einfluss des Papiers auf den Erfassungsbereich des Sensors

Dieser Datensatz wurde bei einer Temperatur von 24,5 °C und 33 % Luftfeuchtigkeit gemessen.

Hinweis: Da die Amplituden-Entfernungskurve einen eher zufälligen Verlauf von 0 cm bis etwa 50 oder 60 cm nach der Bedeckung des Sensors durch das Abdeckmaterial aufweist (siehe Abbildung 24), ist die entsprechende Mindestentfernung für jeden Winkel schwer zu bestimmen, weshalb in den nächsten Messungen nur die maximale Entfernung untersucht wird.

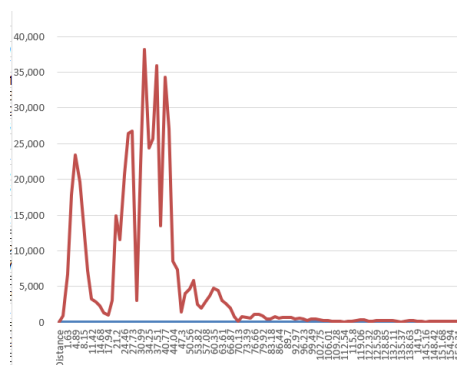


Abbildung 24 Amplituden-Entfernungskurve

Die Ergebnisse des Versuchs sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

- Ergebnisse der Messungen

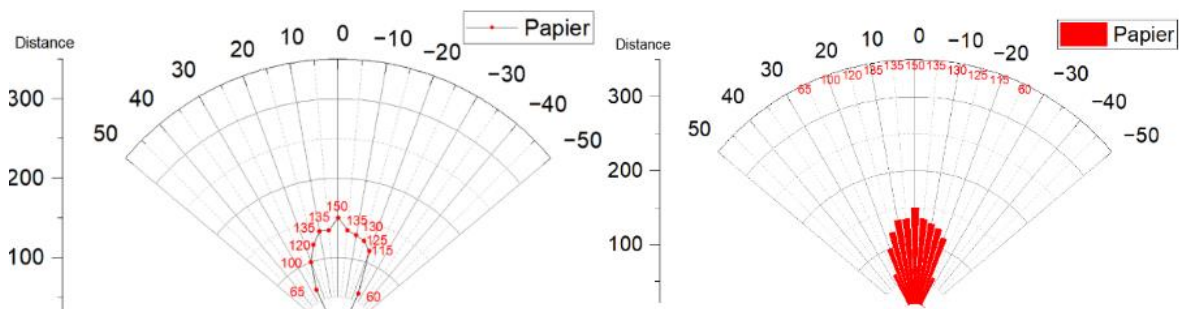


Abbildung 25 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Papier als Abdeckmaterial

7.2.2 Der Einfluss von Kunststoffen auf den Erfassungsbereich von Sensoren

Es gibt viele verschiedene Arten von Kunststoff. Dieses Projekt konzentriert sich auf zwei Arten von Kunststoffen, die im täglichen Leben häufig verwendet werden: Polyvinylchlorid (PVC) und Polyethylen (PE).

7.2.2.1 Der Einfluss des PVC-Kunststoffs als Abdeckmaterial auf den Erfassungsbereich des Sensors

Polystyrol wird im Allgemeinen als Dekorationsmaterial verwendet, und diese Messung wurde an einem transparenten Kunststoffschirm vorgenommen. Nachfolgend sehen Sie ein Diagramm der Szene während der Messung.



Abbildung 26 Abbildung eines mit PVC-Kunststoff bedeckten Sensors

- Ergebnisse der Messungen

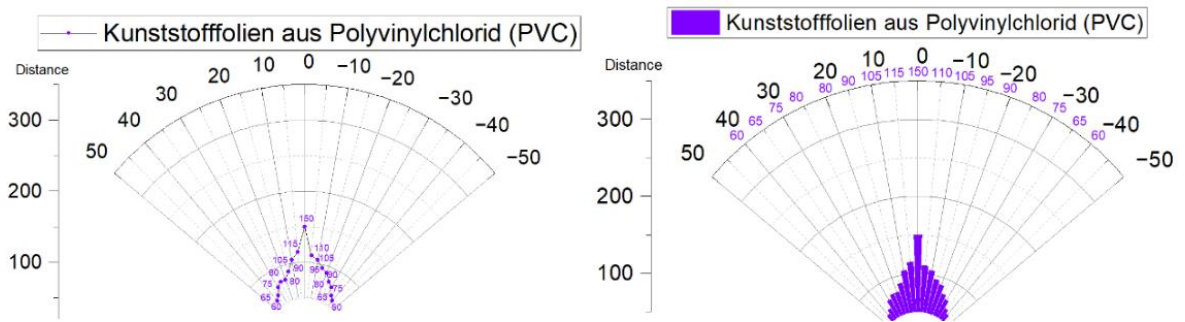


Abbildung 27 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PVC-Kunststoff als Abdeckmaterial

7.2.2.2 Der Einfluss des PE-Kunststoffs als Abdeckmaterial auf den Erfassungsbereich des Sensors

Gewöhnliche Plastiktüten bestehen aus Polyethylen (PE), daher wurde diese Messung mit einer Plastiktüte als Abdeckung durchgeführt. Die Bilder unten.



Abbildung 28 Abbildung eines mit PE-Kunststoff bedeckten Sensors

- Ergebnisse der Messungen

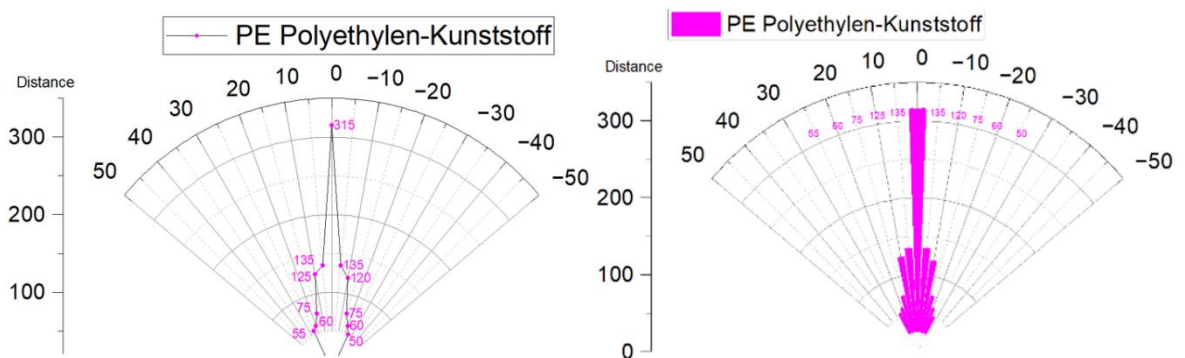


Abbildung 29 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff als Abdeckmaterial

7.2.3 Der Einfluss von Nylon auf den Erfassungsbereich des Sensors

Nylon ist eine Kunstfaser, die zur Herstellung von Regenschirmen, Zelten, Reifen usw. verwendet wird. Der Regenschirm diente bei dieser Messung als Abdeckung.



Abbildung 30 Abbildung eines mit Nylon bedeckten Sensors

● Ergebnisse der Messungen

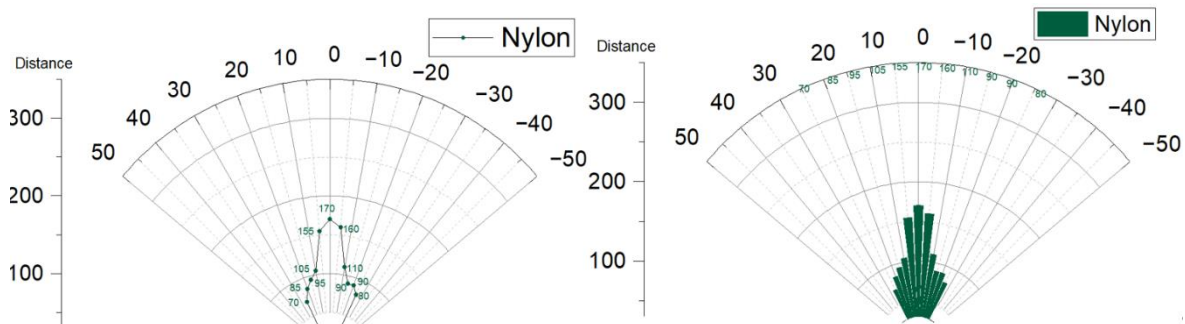


Abbildung 31 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Nylon als Abdeckmaterial

7.2.4 Der Einfluss von Baumwolle auf den Erfassungsbereich des Sensors

Baumwolle wird hauptsächlich als Material für gewebte Gegenstände wie Baumwollkleidung, Steppdecken, Jeansstoffe usw. verwendet. Die für diese Messung verwendeten Bezüge waren Hemden.



Abbildung 32 Abbildung eines mit Baumwolle bedeckten Sensors

- Ergebnisse der Messungen

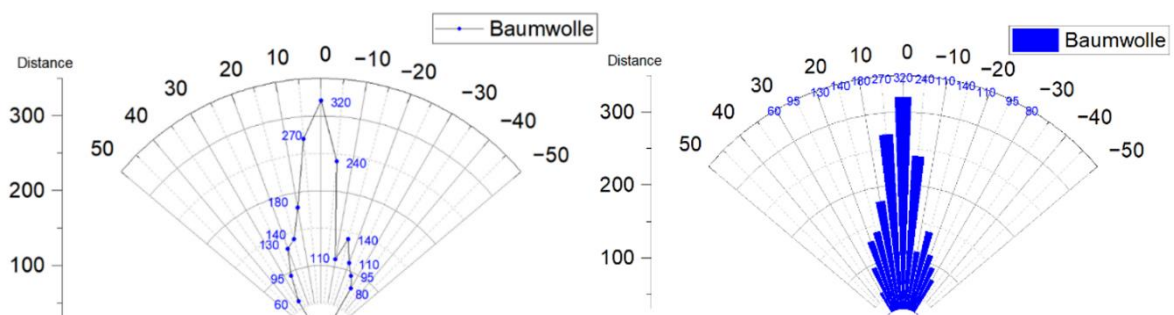


Abbildung 33 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle als Abdeckmaterial

Analyse der Daten:

Aus der obigen Datentabelle ist leicht ersichtlich, dass verschiedene Materialien unterschiedliche Messbereiche für den Sensor haben, da verschiedene Materialien unterschiedliche Schallabsorptionsraten und unterschiedliche Reflexionswinkel haben, so dass der effektive Messabstand von einem Deckmaterial zum anderen variiert. Der spezifische Empfindlichkeitsbereich in absteigender Reihenfolge ist: Baumwolle > PE-Kunststoff > Papier > Nylon > PVC-Kunststoff.

7.3 Versuch 3: Der Einfluss des Neigungswinkels des Messobjekts auf die Versuchsergebnisse

Neben der Abdeckung hat auch der Neigungswinkel des Objekts selbst einen Einfluss auf den Messbereich des Sensors. In diesem Abschnitt wurden vier Gruppen von Experimenten untersucht. Für bessere Messungen wurden dünne Holzbretter als Messobjekte verwendet. Der Neigungswinkel des Messobjekts selbst wird mit β angenommen, und der Winkel zwischen dem Messobjekt und dem Sensor und der horizontalen Linie ist α .

7.3.1 β ist konstant, α ändert sich

Zunächst wird der Neigungswinkel des Objekts konstant gehalten und der Abstand zwischen dem Sensor und dem Brett durch Änderung der Größe von α gemessen. Eine CAD-Simulation der Messung ist unten abgebildet.

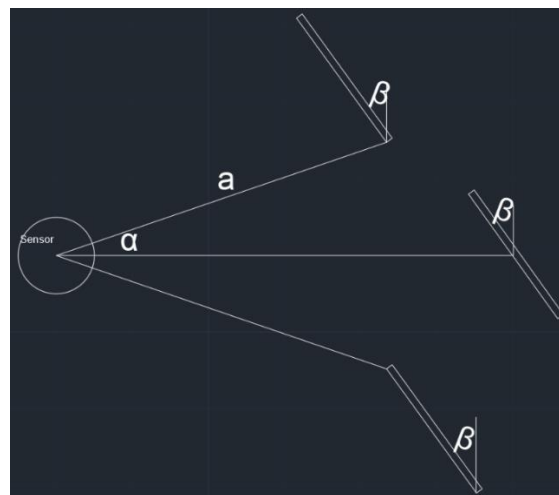


Abbildung 34 CAD-Modell (Versuch 3.1)

7.3.1.1 Ergebnisse der Messungen (Versuch 3.1)

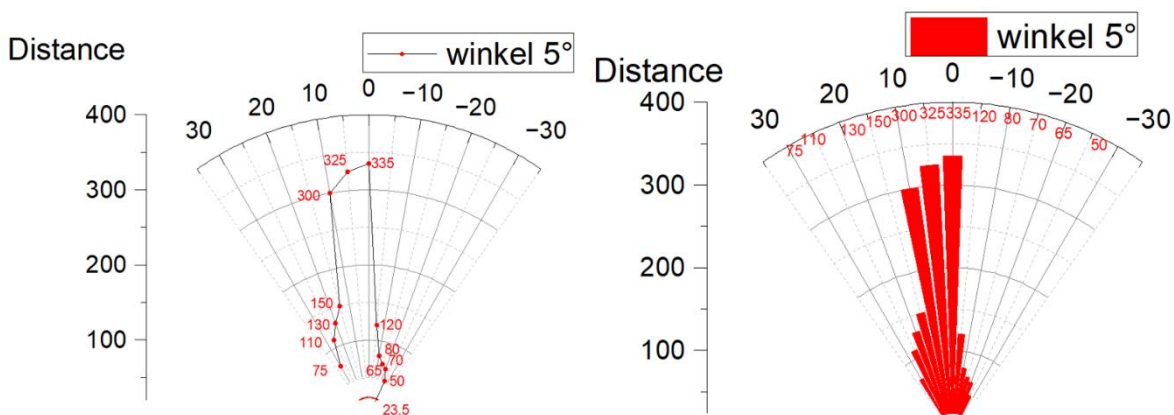
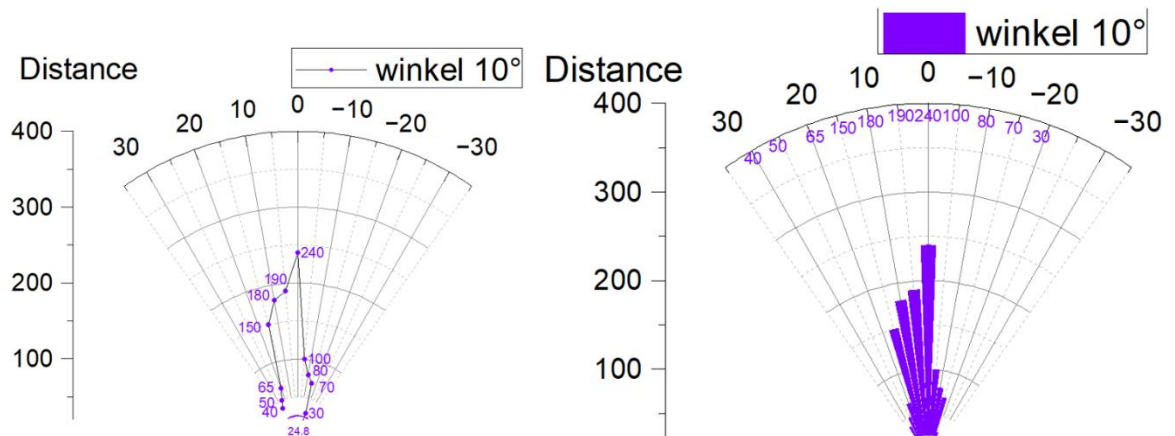
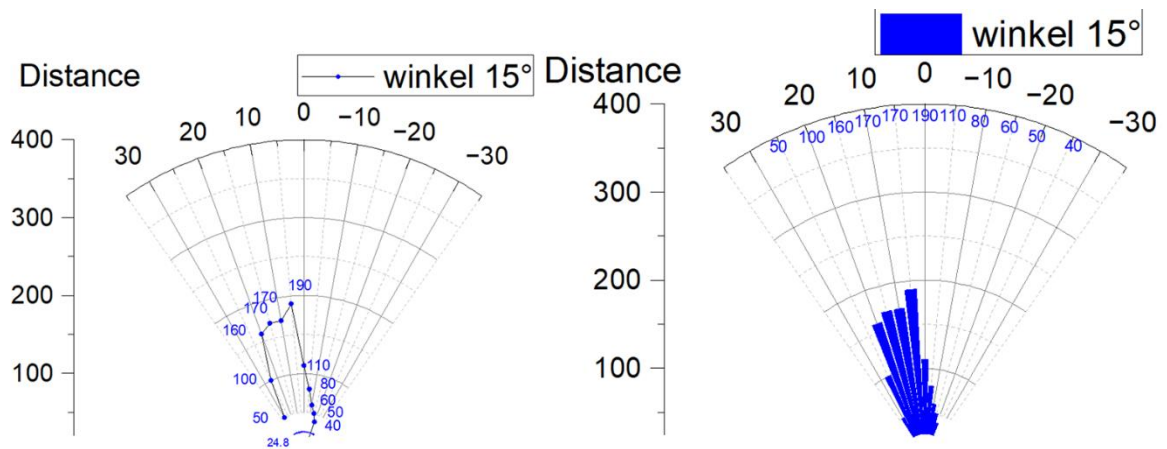


Abbildung 35 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 5^\circ$

Abbildung 36 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 10^\circ$ Abbildung 37 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 15^\circ$

Analyse der Daten:

Wenn die reflektierende Oberfläche des zu messenden Objekts nicht der Ultraschallquelle zugewandt ist, gibt es nur 2 Möglichkeiten für die Entfernungsmessung: die eine ist, dass sie nicht gemessen werden kann, die andere ist, dass sie genau gemessen werden kann und es keine Fehler gibt, die aufgrund der Existenz eines Winkels auf der reflektierenden Oberfläche beseitigt werden können.

Im ersten Fall ist der Neigungswinkel der reflektierenden Oberfläche zu groß, um den Ultraschall zurück zu reflektieren, so dass die Messung nicht durchgeführt werden kann. (Wenn α größer als 0° ist)

Im zweiten Fall ist der Neigungswinkel der reflektierenden Oberfläche klein genug, um einen Teil des Ultraschalls zurück zu reflektieren, so dass die Messung genau durchgeführt werden kann. (Wenn α kleiner als 0° ist)

7.3.2 α ist konstant, β ändert sich

Dann wurde der Neigungswinkel des Brettes verändert, wobei die Ausrichtung des Objekts konstant gehalten wurde. Das folgende CAD-Diagramm zeigt die maximale Entfernung, die für den entsprechenden Neigungswinkel der Platte gemessen werden kann.

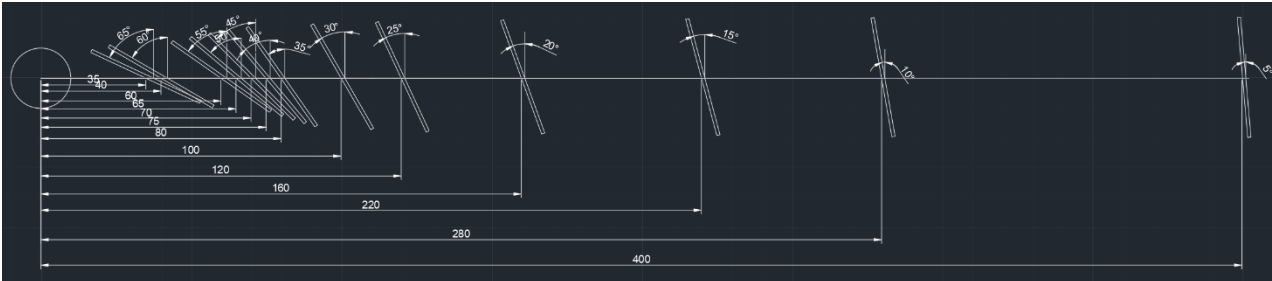


Abbildung 38 $\alpha = 0^\circ$, β vor 5° bis 65°

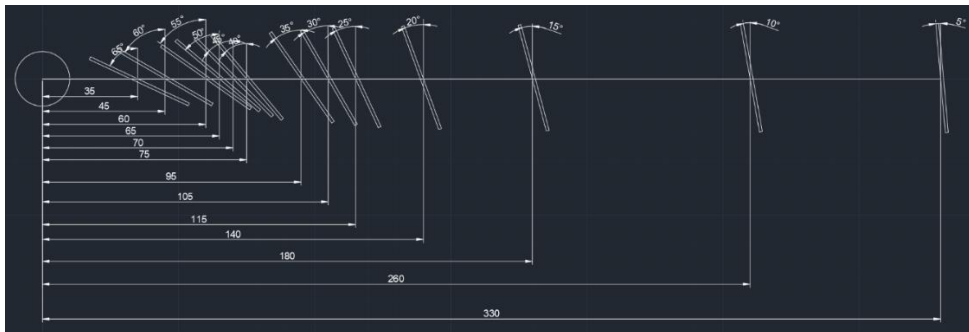


Abbildung 39 $\alpha = 0^\circ$, β vor -65° bis -5°

Analyse der Daten:

Wie aus den beiden obigen Winkel-Abstands-Diagrammen ersichtlich ist, ist der Messbereich, der einem positiven β entspricht, größer als der, der einem negativen β entspricht.

7.3.3 α und β ändern sich

Wenn sich das Brett dann bewegt, ändern sich sowohl α als auch β . Das CAD-Modell ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

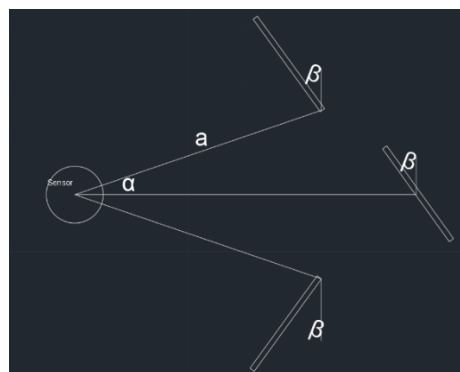
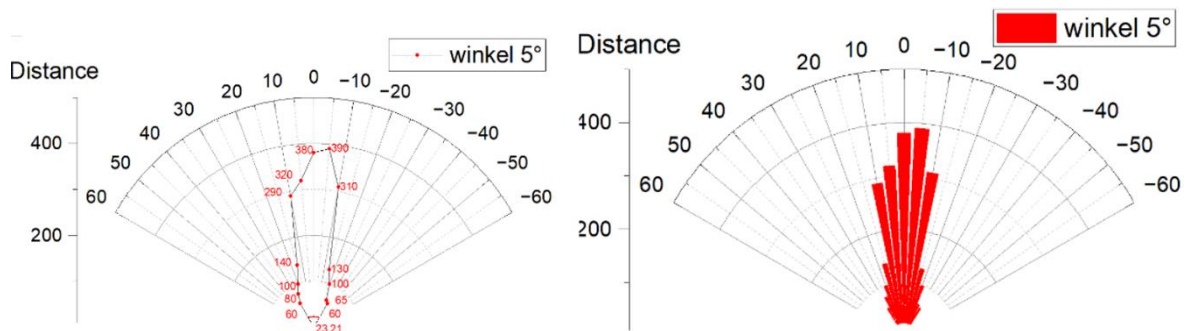
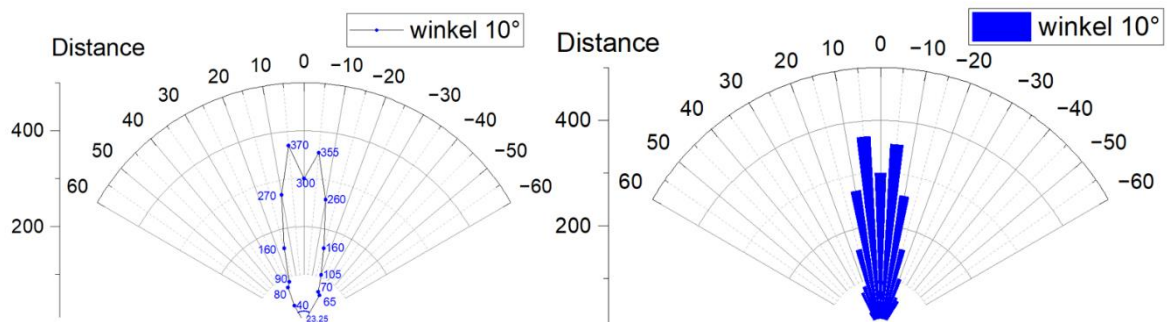
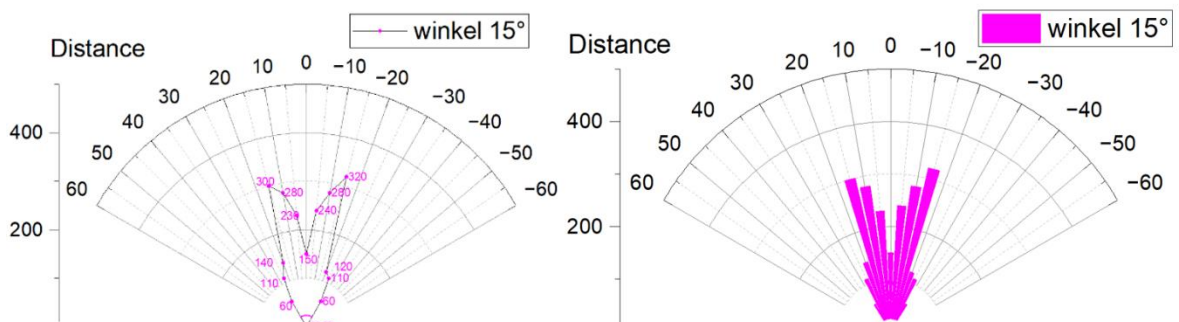
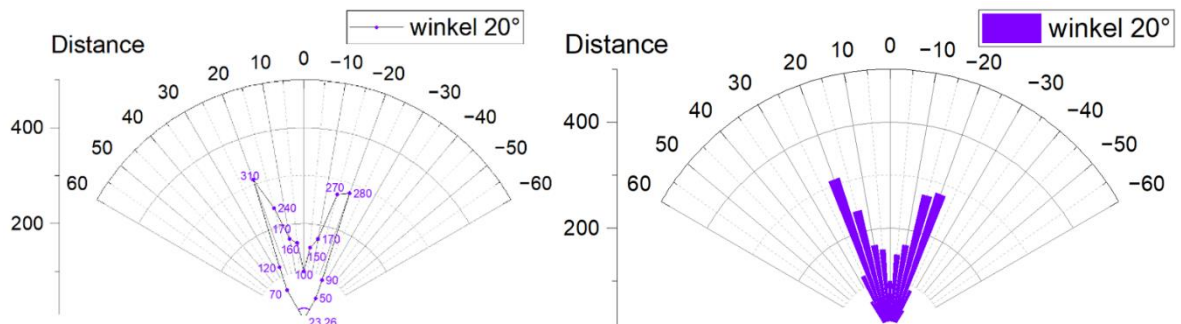


Abbildung 40 CAD-Modell (versuch 3.3)

- Ergebnisse der Messungen

Abbildung 41 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 5^\circ$ Abbildung 42 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 10^\circ$ Abbildung 43 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 15^\circ$ Abbildung 44 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 20^\circ$

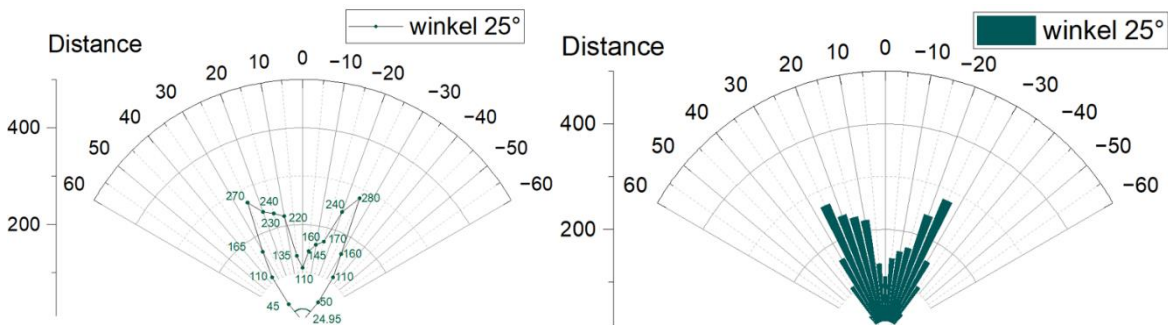


Abbildung 45 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm $\beta = 25^\circ$

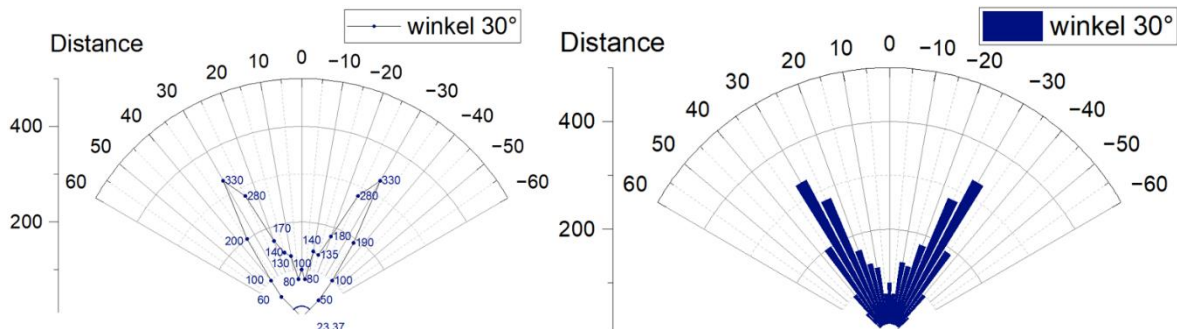


Abbildung 46 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm für $\beta = 30^\circ$

Analyse der Daten:

Mit diesen Datensätzen wurde festgestellt, dass die weiteste Entfernung gemessen werden konnte, wenn $\alpha = \beta$. Denn wenn α gleich β ist, bilden der Sensor und die Platine einen rechten Winkel von 90 Grad, so dass die Ultraschallwellen direkt vom Sensor aufgenommen werden können; die schematische Darstellung ist wie folgt.

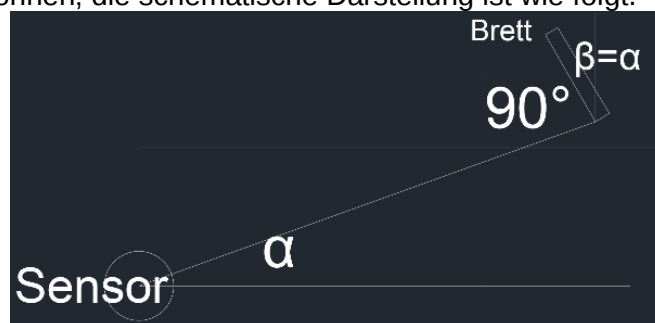


Abbildung 47 CAD-Schema

7.3.4 α und β ändern sich mit Sensorabdeckung

Nach den oben genannten Versuchen wird das Abdeckmaterial auf den Sensor gelegt und die Neigung des Objekts gemessen. Das CAD-Diagramm der Messsimulation sieht wie folgt aus.

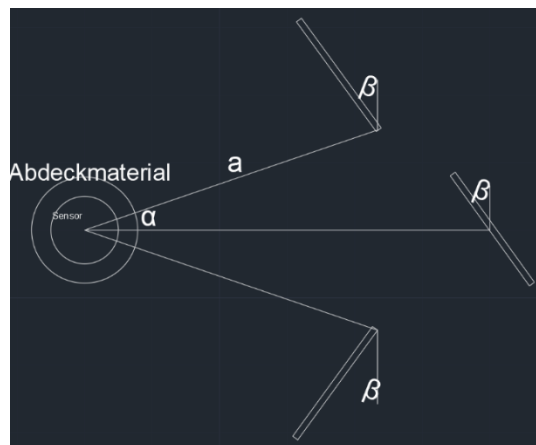
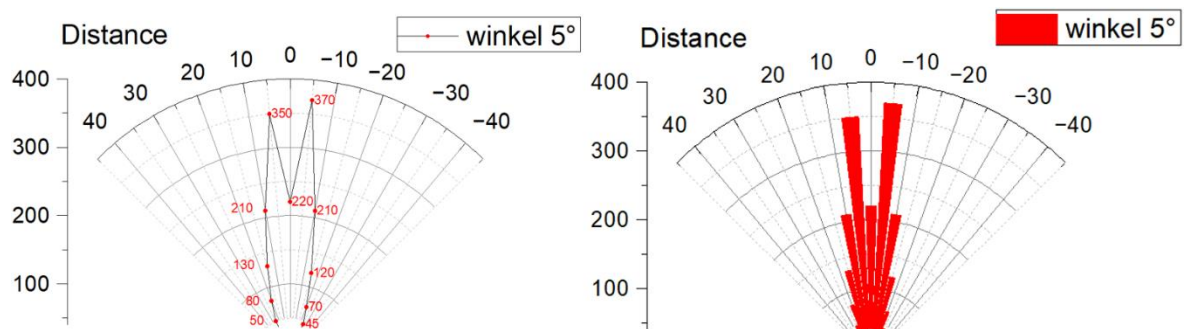
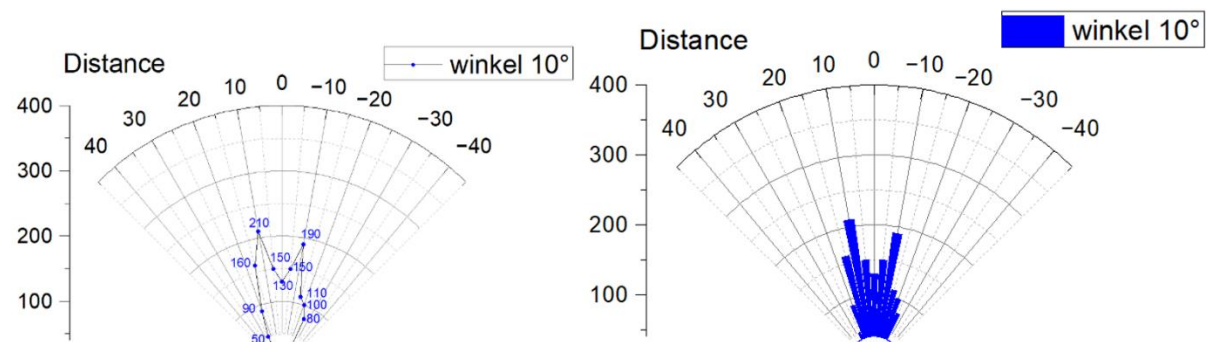


Abbildung 48 CAD-Modell (versuch 3.4)

7.3.4.1 α und β ändern sich mit Baumwolle

● Ergebnisse der Messungen

Abbildung 49 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 5^\circ$ Abbildung 50 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 10^\circ$

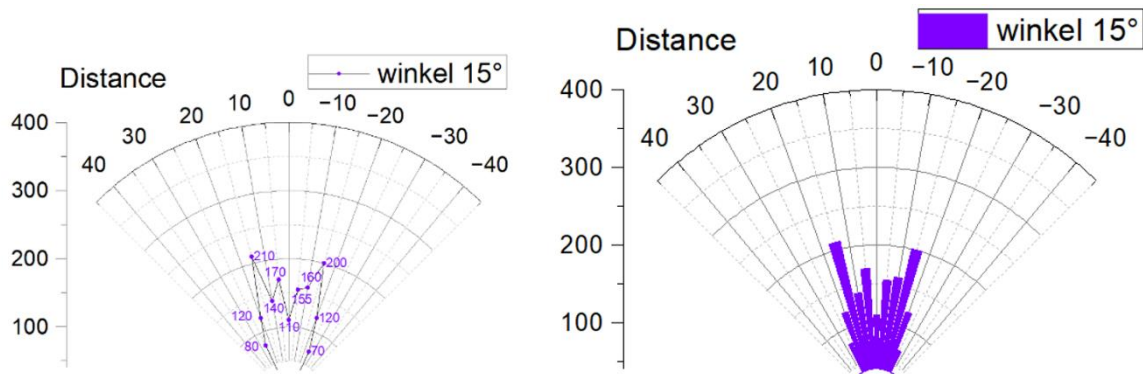


Abbildung 51 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 15^\circ$

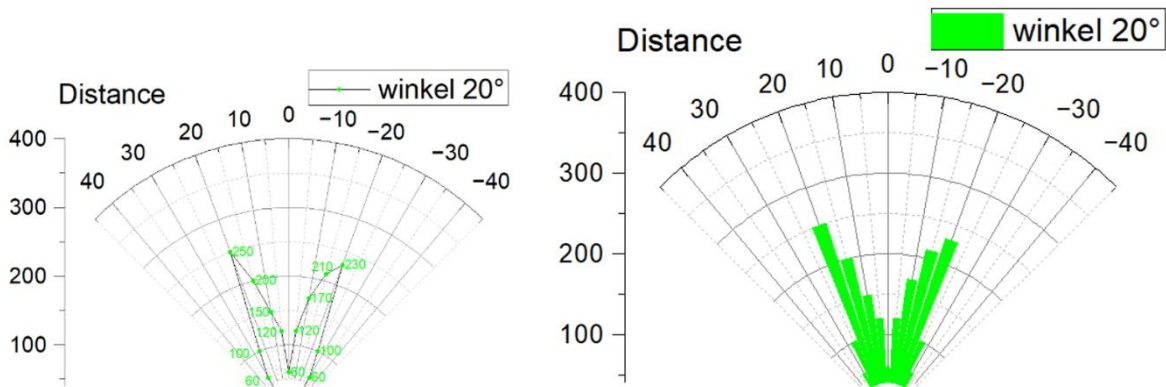


Abbildung 52 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 20^\circ$

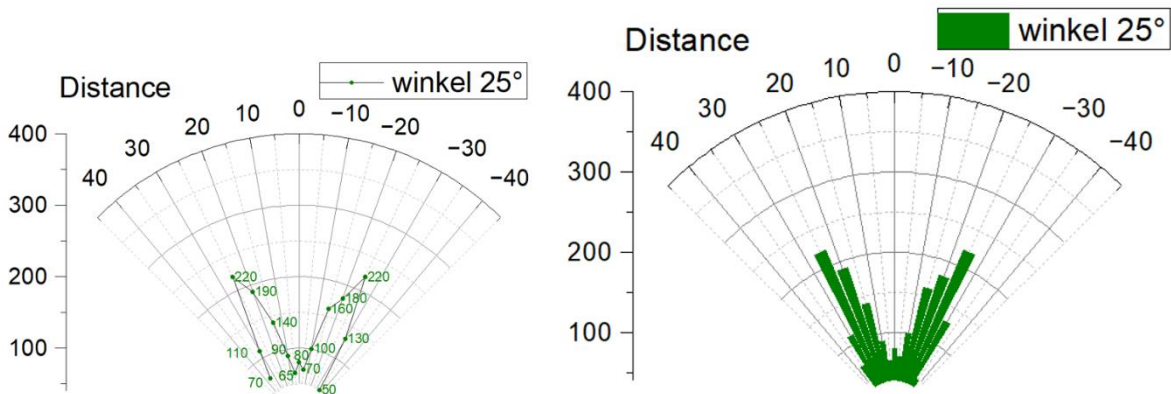


Abbildung 53 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 25^\circ$

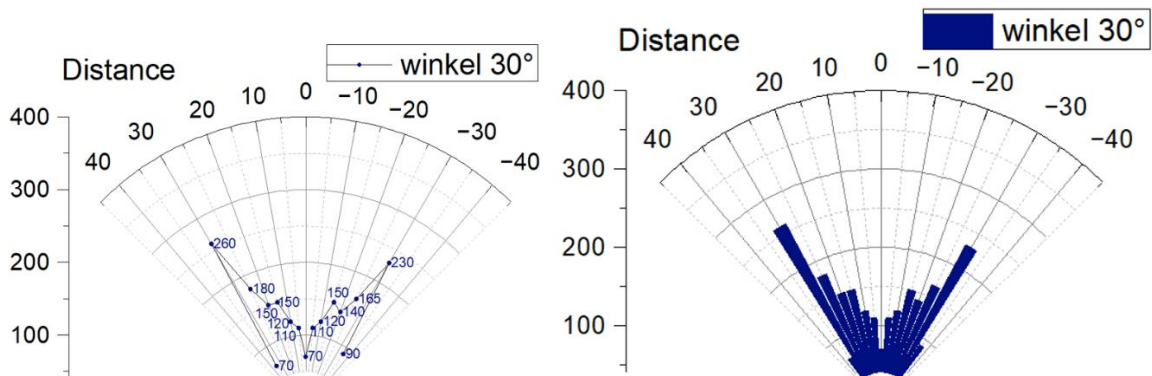


Abbildung 54 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit Baumwolle $\beta = 30^\circ$

7.3.4.2 α und β ändern sich mit PE-Kunststoff

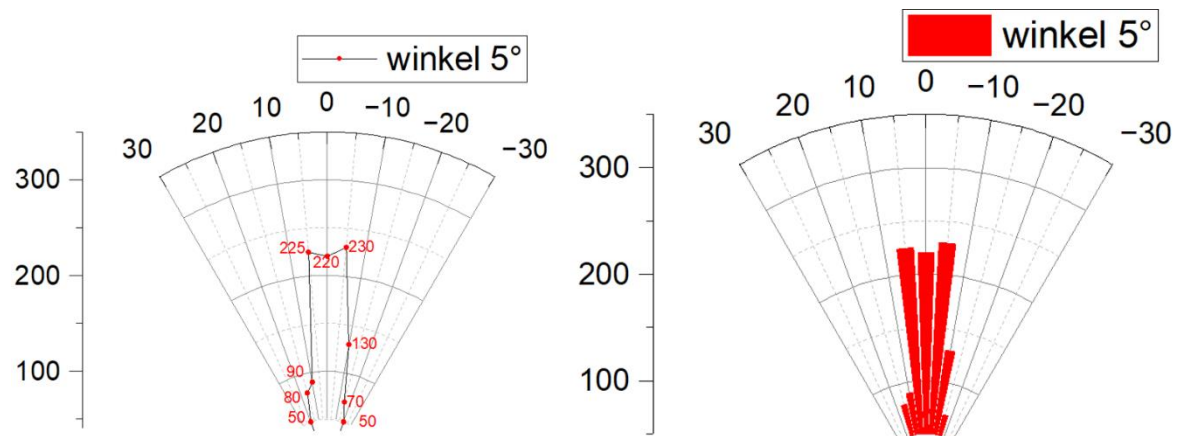


Abbildung 55 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff für $\beta = 5^\circ$

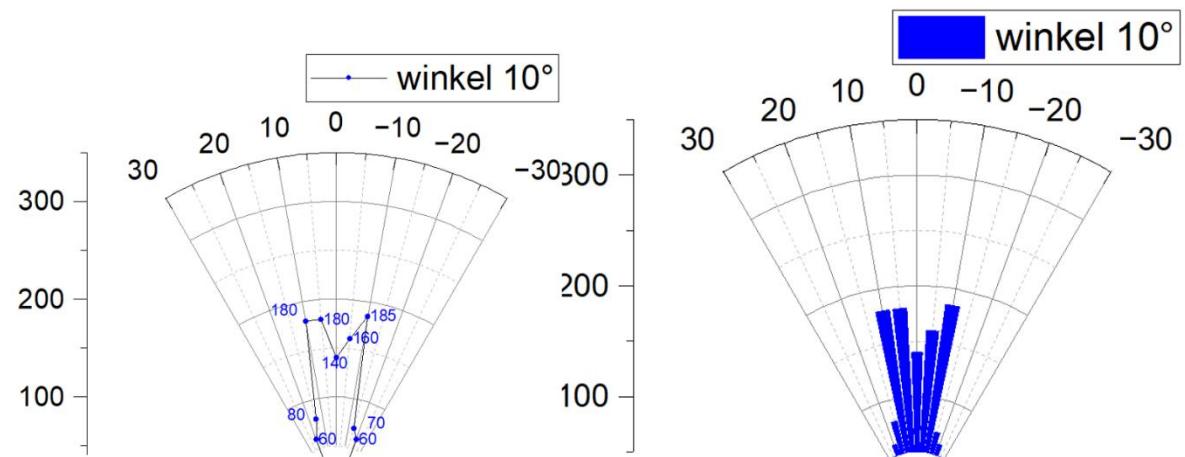


Abbildung 56 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff $\beta = 10^\circ$

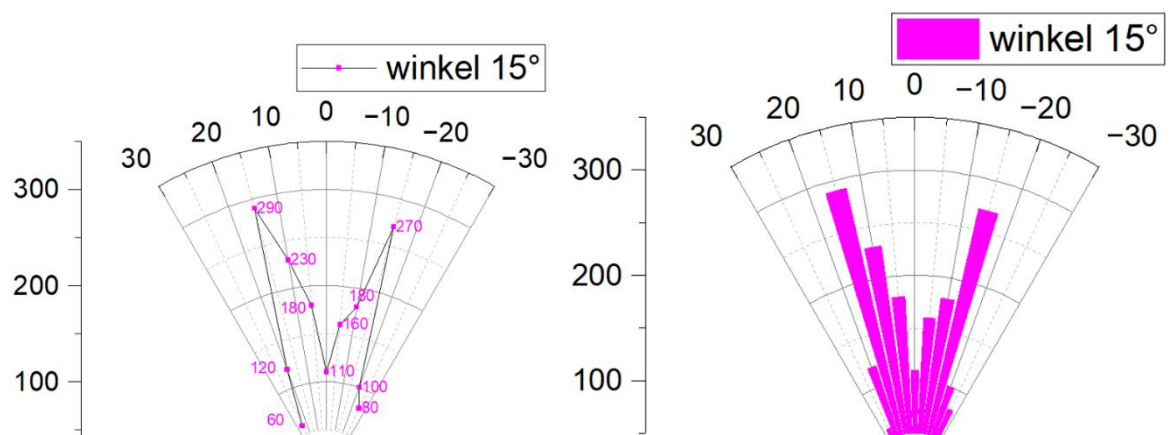


Abbildung 57 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff für $\beta = 15^\circ$

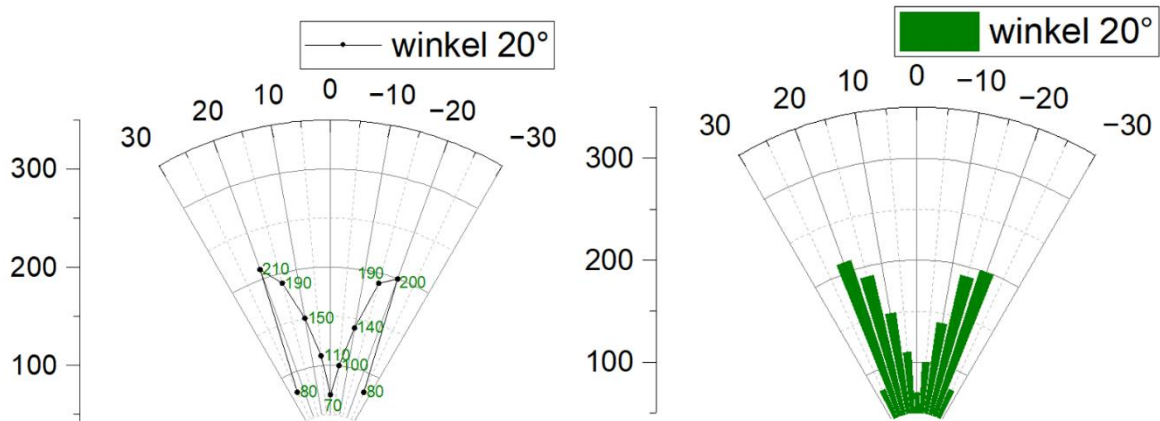


Abbildung 58 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff $\beta = 20^\circ$

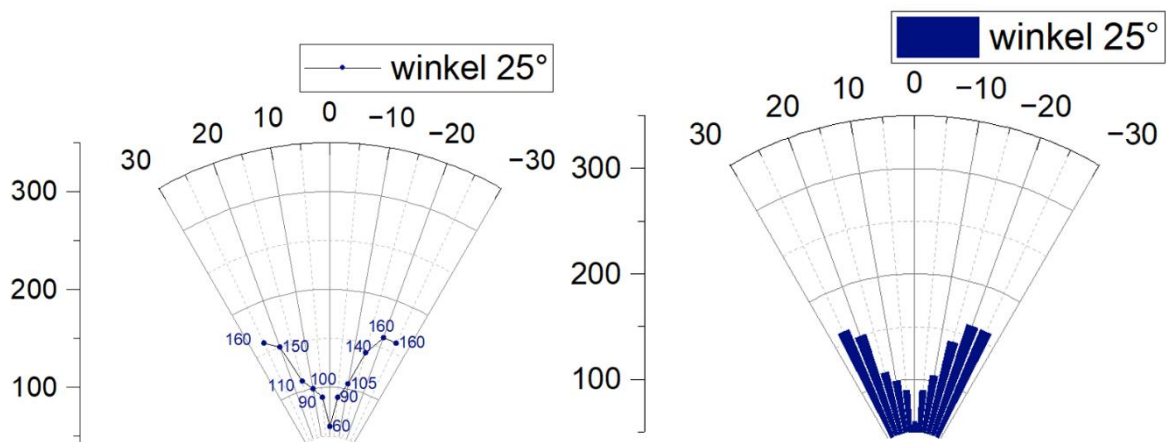


Abbildung 59 Punkt-Linien-Diagramm und Fächerdiagramm mit PE-Kunststoff für $\beta = 25^\circ$

Analyse der Daten:

Diese beiden Datensätze bestätigen erneut die Schlussfolgerung aus 7.3.3: die maximale Grenzentfernung, die gemessen werden kann, wenn α und β gleich sind. Dies steht auch im Einklang mit der Schlussfolgerung in 7.2, dass der Messbereich für Baumwolle größer ist als für PE-Kunststoff.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Projekt konzentriert sich auf den Erfassungsbereich von Ultraschallsensoren.

Untersucht wurde der Einfluss folgender Faktoren auf den Messbereich von Ultraschallsensoren:

- Temperatur und Luftfeuchtigkeit,
- Abdeckungsmaterial
- Neigungswinkel des Messobjekts.

Die folgenden 4 Phasen wurden in diesem Projekt unterteilt.

1. Softwareprogrammierung
2. Vorbereitung der Messung
3. Durchführung der Messung
4. Datenverarbeitung

Während der zweimonatigen Messung war es zunächst wichtig, ausdauernd und geduldig zu sein und mehrere Messungen vorzunehmen, um genaue Werte zu erhalten. Auf diese Weise konnten Erfahrungen gesammelt werden, um eine allgemeine Vorstellung von den Entfernungsdaten aus verschiedenen Winkeln zu erhalten und die Zahl der ungültigen Messungen zu verringern. Da alle Daten im Freien gemessen werden, kann es während des Messvorgangs zu leichten Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen kommen, die kleine Fehler in den Messergebnissen verursachen können.

Durch diese Messung wurde im Detail gemessen, dass jeder Einflussfaktor einen unterschiedlichen Einflussgrad auf den Ultraschallsensor hat.

Mit Blick auf die Zukunft, Ultraschall-Sensoren als eine neue Art von sehr wichtigen und nützlichen Instrumenten in allen Aspekten wird eine Menge Raum für die Entwicklung, wird es in Richtung mehr hohe Positionierung und hohe Präzision, um die wachsenden sozialen Bedürfnisse, wie die Entwicklung von Sonar, vor allem zur Lösung des Problems der Ziel-Identifikation in flachem Wasser. Zweifellos ist die Zukunft der Ultraschall-Sensoren werden im Einklang mit der Automatisierung von intelligenten, integrierten und verschmolzen mit anderen Sensoren zu einem Multi-Sensor.

Literatur

E- Bücher

- [E1] Beginners Guide to PLX DAQ v2 by Net Devil. (Revision 1)
Kapitel 1, S1

Bild

- [A1] URL : https://www.microsonic.de/de/Medien/Medien/Relaunch-2015/Service/ultraschallprinzip_en.png
- [A4] URL : https://cdn.shopify.com/s/files/1/0438/4735/2471/products/A000067_00.front_1000x750.jpg?v=1637830343
- [A5] URL : <https://www.mouser.de/images/market-ingid/2014/img/112135815.png?v=030722.0936>
- [A7] URL : <https://m.iask.sina.com.cn/jxwd/6cbvzu1ApuK.html>

Internet

- [1] Funktionsweise von Ultraschallsensoren
URL : <https://tech.sina.com.cn/roll/2020-06-18/doc-iir-czymk7639406.shtml>
- [2] Ultraschall-Prinzip

URL : <https://www.microsonic.de/cn/support/ultrasonic-technology/principle.htm>

- [3] Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit

URL : <https://zhidao.baidu.com/question/91233931>

- [4] Arduino mega-2560

URL : <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>

- [5] stm32l0538

URL : <https://www.mikrocontroller.net/articles/STM32>

- [6] serial

URL : <https://www.arduino.cc/reference/de/language/functions/communication/serial/>

- [7] Arbeitsweise von Ultraschallsensoren

URL : <http://www.gongkong.com/article/202010/91182.html>
URL : <http://www.gongkong.com/article/202010/91182.html>

Anlagen

- Formular zur Datenerfassung
- Arduino-Programmcode

Messdaten bei verschiedenen Temperaturen und Feuchtigkeitsgraden

Temperatur		14,7°C		Feuchtigkeit			81,20%		Geschwindigkeit					340,06 m/s											
winkel																									
Abstand (cm)																									
		link 50	link 45	link 40	link 35	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht 25°	Recht 30°	Recht 35	Recht 40	Recht 45	Recht 50			
23,05	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
	15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	25	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	30	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	35	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
	40	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	45	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	50	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	55	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	60	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	65	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	70	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	75	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	80	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	85	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	90	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	95	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	100	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	110	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	120	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x			
	125	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	x			
130	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	x				
140	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	x				
145	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
150	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
160	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
230	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
250	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
260	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
280	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
290	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
300	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
310	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
320	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
330	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
335	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
340	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
350	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
400	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
405	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
420	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
430	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
435	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
440	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
445	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
450	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x				
455	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x				
460	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x				

[illegible]

Messdaten unter verschiedenen Materialien:

Temperatur		20.5°C		Feuchtigkeit		40.00%		Abdeckung		Kunststofffolien aus Polyvinylchlorid (PVC)		Geschwindigkeit		340.23 m/s					
Abstand (cm)	winkel	linkn 40	link 35	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Rechts°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	Recht 35	Recht 40	
5		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
10		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
20		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
50		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
60		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
65		×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
70		×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
75		×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
80		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
85		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	
90		×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	
95		×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	
100		×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	
105		×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	
110		×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	
115		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	
120		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	
125		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	
150		×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	
160		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
180		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
200		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	

Temperatur		20.8°C		Feuchtigkeit		58.50%		Abdeckung		PE Polyethylen-Kunststoff		Geschwindigkeit		343.83 m/s			
Abstand (cm)	winkel	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Rechts°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht 25°					
5		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
10		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
20		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
50		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
55		×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
60		×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×					
65		×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×					
70		×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×					
75		×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×					
80		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
85		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
90		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
95		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
100		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
115		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
120		×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
125		×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×					
130		×	×	×	×	✓	✓	✓	×		×	×					
135		×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×					
150		×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×					
180		×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×					
200		×	×	×	×	×	✓	×	×			×					
300		×	×	×	×	×	✓	×	×								
315		×	×	×	×	×	✓	×	×								

[illegible][illegible]

Temperatur		27.8°C	Feuchtigkeit			38.83%	Winkel		5						
winkel	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°		
Abstand (cm)	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	23.5	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	50	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	60	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	65	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	70	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	75	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	80	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	85	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	90	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	95	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	100	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	105	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	110	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	115	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	120	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	125	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	130	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x		
	140	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x		
	150	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x		
	160	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	180	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	200	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	220	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	240	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	260	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	270	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	280	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	300	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x		
	320	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x	x	x		
	325	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x		
	330	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x		
335	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x			
340	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

Temperatur		26.7°C	Feuchtigkeit			44.70%	346.86 m/s			Winkel		10		
winkel	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	
Abstand (cm)	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	24.8	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	30	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	40	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
	50	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
	60	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
	65	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
	70	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
	75	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
	80	x	x	x	x	✓	✓							

Temperatur		16.1°C		Feuchtigkeit: 70.00%				341.12 m/s		Winkel		15			
Abstand (cm)	Winkel	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	
		link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	
5		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
10		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
20		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
24.8		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
30		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
40		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
50		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
60		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
65		x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
70		x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
75		x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
80		x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
85		x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
90		x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
95		x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
100		x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
105		x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
110		x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
115		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
120		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
125		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
130		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
140		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
150		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
160		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x	x	
170		x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	
180		x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	
190		x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	
200		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
220		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
240		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
260		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
270		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
280		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Messdaten bei unterschiedlichen Messobjektwinkeln (Versuch 3.4)

Temperatur		21.7°C		Feuchtigkeit: 34.90%				344.03 m/s		Winkel		5			
Abstand (cm)	Winkel	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	
		link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	
5		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
10		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
20		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
23.21		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
30		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
40		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
50		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
60		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
65		x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
70		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
75		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
80		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	
85		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
90		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
95		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
100		x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	
105		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
110		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
115		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
120		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
125		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
130		x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
140		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	
150		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
160		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
170		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
180		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
190		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
200		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
210		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
220		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
230		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
240		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
250		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
260		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
270		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
280		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
290		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
300		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
310		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
320		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
330		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
340		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
350		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
360		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
380		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
390		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	
400		x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	

Temperatur winkel Abstand (cm)	25,02°C	Feuchtigkeit			36,60%		345,62 m/s			Winkel		25						
	link 40°	link 35°	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	Recht35°	Recht40°	
5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
24,95	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
60	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
65	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
70	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
75	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
80	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
85	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
90	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
95	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
100	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
105	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
110	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
115	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
120	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
125	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
130	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
135	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
140	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
145	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
150	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
160	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
165	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	
170	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
180	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
185	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
190	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
200	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
210	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
220	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
230	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	
240	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	×	×	×	
250	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	
260	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	
270	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	
280	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
290	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
300	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	

Temperatur		Feuchtigkeit					347,39 m/s					Winkel									
winkel		43,95%										30									
Abstand (cm)	link 45°	link 40°	link 35°	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht 30°	Recht35°	Recht40°	Recht45°		
	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
23,37	10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	30	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	40	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	60	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	65	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	70	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	75	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	80	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
350	85	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	90	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	95	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	100	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	105	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	110	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	115	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	120	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	125	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	130	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
350	135	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	140	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	150	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	160	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	170	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	180	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	185	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	190	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	200	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	210	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
350	230	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	240	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	250	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	260	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	270	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	280	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	290	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	300	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	310	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	320	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
350	330	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	340	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	350	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		

Messdaten bei verschiedenen Winkeln des Messobjekts (Material: Baumwolle)

Temperatur		27..47℃	Feuchtigkeit:		59.52%			347.15	m/s			Winkel	5°	Baumwollen
Abstand (cm)	winkel	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°		
	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	50	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	60	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
	65	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
	70	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
	75	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
	80	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	
	85	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	90	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	95	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	100	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	105	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	110	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	115	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	120	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	125	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	130	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	
	135	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
	140	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
	150	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
	185	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
	190	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
	200	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	
	210	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	
	220	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	
	230	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×	
	240	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×	
	300	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×	
	330	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×	
	350	×	×	×	×	✓	×	✓	×	×	×	×	×	
	360	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	
	370	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	
	380	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	

[illegible]

[illegible]

Temperatur		Feuchtigkeit								345.7 m/s				Winkel				25°				Baunwollen			
Abstand (cm)	winkel	link 35°	link 30°	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°	Recht30°	Recht35°									
	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									
	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	60	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	65	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	70	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
	75	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x									
	80	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	x									
	85	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x									
	90	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x									
	95	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	x									
	100	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x									
	105	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x									
	110	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓	x									
	115	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x									
	120	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x									
	125	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x									
	130	x	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x									
	135	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x									
	140	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x									
	150	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	155	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	160	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	170	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	180	x	x	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	185	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	190	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	x	x									
	200	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x									
	210	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x									
	220	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	x									
	230	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x									

[illegible]

Messdaten bei verschiedenen Winkeln des Messobjekts (Material: PE Kunststoff)

[illegible]

[illegible][illegible]

Temperatur	30.72°C	Feuchtigkeit					27.70%				347.08 m/s				Winkel	20°	PE kunststoff
Abstand (cm)	winkel	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°					
5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
65	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
70	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
75	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
80	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
85	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	×					
90	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	×					
95	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	×					
100	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	×					
105	×	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×					
110	×	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×					
115	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×					
120	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×					
125	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×					
130	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×					
135	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×					
140	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×					
150	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	×					
160	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×					
170	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×					
180	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×					
190	×	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×					
200	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×					
210	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×					
220	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					

Temperatur	30.72°C	Feuchtigkeit					27.70%				347.08 m/s				Winkel	25°	PE kunststoff
Abstand (cm)	winkel	link 25°	link 20°	link 15°	link 10°	link 5°	0°	Recht5°	Recht10°	Recht15°	Recht20°	Recht25°					
5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
65	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
70	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
75	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
80	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
85	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓					
95	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓					
100	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓					
105	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓					
110	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	✓					
115	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
120	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
125	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
130	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
135	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
140	✓	✓	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
150	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓					
160	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓					
170	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
180	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
190	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
200	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
210	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					
220	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×					

Anlagen 2, Arduino-Programmcode

```
1. #define SOUND_SPEED_IN_AIR    (343)
2. #define BUF_SIZE    1236
3. unsigned char ucReceiveBuf[BUF_SIZE];
4. unsigned char ucBuf[BUF_SIZE];
5. unsigned int uwReceiveCount = 0;
6. int i = 0;
7.
8.
9. int iSampleCount = 0;
10. double dblSamplingFrequency = 0;
11. double dblDistance = 0.0;
12. double dblAmp = 0.0;
13. double dblQ = 0.0;
14. double dblI = 0.0;
15.
16. union
17. {
18.     unsigned long udwData;
19.     unsigned char ucData[4];
20. }unionWorkingFrequency;
21.
22.
23. union
24. {
25.     int iData;
26.     unsigned char ucData[2];
27. }unionQIData;
28.
29.
30. union
31. {
32.     unsigned short iData;
33.     unsigned char ucData[2];
34. }unionSampleCount;
35.
36. void ClearBuf(void)
37. {
38.     uwReceiveCount = 0;
39.     //Leerer Puffer
40.     for(i=0; i<BUF_SIZE; i++)
41.     {
42.         ucReceiveBuf[i] = 0x00;
43.         ucBuf[i] = 0x00;
44.     }
45.     dblAmp = 0;
46. }
47.
48. void setup()
49. {
50.
51.     Serial.begin(1000000);
52.     Serial1.begin(1000000);
53.
54.     ClearBuf();
55.     Serial.begin(1000000);
56.     Serial.println("CLEARDATA");
57.     Serial.println("LABEL,TIMER,Amp,Distance");
```

```

58.
59. }
60.
61. void loop()
62. {
63.
64.   Package_Read();
65.
66.   Package_Process();
67. }
68.
69.
70. void Package_Read(void)
71. {
72.   if(uwReceiveCount < BUF_SIZE)
73.   {
74.     //Daten empfangen
75.     while(Serial1.available() > 0 )
76.     {
77.       ucReceiveBuf[uwReceiveCount++] = Serial1.read(); ;
78.     }
79.   }
80. }
81.
82.
83. void LesenFrequenz(void)
84. {
85.   // Take the working frequency, four bytes, pay attention to the or-
   der, and the high order is the first
86.   unionWorklingFrequency.ucData[3] = ucReceiveBuf[8];
87.   unionWorklingFrequency.ucData[2] = ucReceiveBuf[9];
88.   unionWorklingFrequency.ucData[1] = ucReceiveBuf[10];
89.   unionWorklingFrequency.ucData[0] = ucReceiveBuf[11];
90.
91. }
92.
93. void LesenSampleCount(void)
94. {
95.   // Take the sample count,two bytes, pay attention to the or-
   der, and the high order is the first
96.   unionSampleCount.ucData[1] = ucReceiveBuf[6];
97.   unionSampleCount.ucData[0] = ucReceiveBuf[7];
98.   iSampleCount = (unsigned int )(unionSampleCount.iData);
99. }
100.
101.   void RechnenSampleFrequenz(void)
102.   {
103.     // Calculate sampling frequency
104.     dblSamplingFrequency = (double)(unionWorklingFrequency.ud-
   wData) / (double)8;
105.   }
106.
107.   void RechnenQundI(void)
108.   {
109.     // Calculated amplitude = sqrt (square of Q + square of I)
110.     // Take two bytes, the value of Q, pay attention to the or-
   der, and the high order comes first
111.     unionQIData.ucData[1] = ucReceiveBuf[12+i*4];
112.     unionQIData.ucData[0] = ucReceiveBuf[12+i*4+1];
113.     dblQ = (double)(unionQIData.iData);
114.
115.     // Take two bytes, the value of I, pay attention to the or-
   der, and the high order comes first
116.     unionQIData.ucData[1] = ucReceiveBuf[12+i*4+2];
117.     unionQIData.ucData[0] = ucReceiveBuf[12+i*4+3];

```

```
118.         dblI = (double)(unionQIData.iData);
119.
120.     }
121.
122.     void RechnenAmplitude(void)
123.     {
124.         // dblAmp = sqrt(dblQ*dblQ + dblI * dblI);
125.         double dblTemp = 0.0;
126.         dblAmp = dblQ*dblQ;
127.         dblTemp = dblI * dblI;
128.         dblAmp = dblAmp + dblTemp;
129.         dblAmp = sqrt(dblAmp);
130.
131.     }
132.
133.     void RechnenDistance(void)
134.     {
135.         // Calculate distance
136.         dblDistance = (double)1 / dblSamplingFrequency;
137.         dblDistance = (double)SOUND_SPEED_IN_AIR * dblDistance;
138.         dblDistance = dblDistance * i;
139.         dblDistance = dblDistance / (double)2;
140.     }
141.
142.     void Package_Process(void)
143.     {
144.         // Receive package finished, processing package
145.         if(uwReceiveCount >= BUF_SIZE)
146.         {
147.             // Check whether the packet frame header is cor-
148.             // rect. If not, discard it
149.             if(ucReceiveBuf[0] == 0x33 && ucReceiveBuf[1] == 0x00 && ucRe-
150.             ceiveBuf[2] == 0x56 && ucReceiveBuf[3] == 0x99 && ucRe-
151.             ceiveBuf[4] == 0xFF && ucReceiveBuf[5] == 0x00 )
152.             {
153.                 // Take the working frequency
154.                 LesenFrequenz();
155.
156.                 // Take the sample count
157.                 LesenSampleCount();
158.
159.                 // Calculate sampling frequency
160.                 RechnenSampleFrequenz();
161.
162.                 // Calculate the amplitude
163.                 for(i=0; i<iSampleCount; i++)
164.                 {
165.                     // Calculate QundI
166.                     RechnenQundI();
167.
168.                     // Calculate Amplitude
169.                     RechnenAmplitude();
170.
171.                     // Calculate distance
172.                     RechnenDistance();
173.
174.                     // Output serial
175.
176.                     delay(300);
177.                     Serial.print("DATA,TIME,");
178.                     Serial.print(dblAmp);
179.                     Serial.print(",");
180.                     Serial.println(dblDistance*100);
181.                 }
182.             }
183.         }
184.     }
```

```
180.  
181.      ClearBuf();  
182.      while(Serial1.available() > 0 )  
183.      {  
184.          Serial1.read();  
185.      }  
186.  }  
187.  
188.      ClearBuf();  
189.      while(Serial1.available() > 0 )  
190.      {  
191.          Serial1.read();  
192.      }  
193.  }  
194. }
```

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 20.Juli 2022

Yue Zhu

Ort, Datum Mittweida, den 20.Juli 2022

Vorname Nachname; Yue Zhu