



Versuchsprotokoll

Ein Versuch zur Evaluation des Algorithmus zur Objektdetektion mittel RPLIDAR

Inhalt

1 Versuch zur Evaluation	1
1.1 Versuchsbeschreibung.....	1
1.2 Versuchsaufbau	1
1.3 Erwartetes Ergebnis und Fehlerquellen	2
1.4 Messergebnisse.....	3
1.4.1 Kreisförmiges Objekt	3
Messergebnisse 1 Meter	4
Messergebnisse 2 Meter	5
Messergebnisse 3 Meter	6
1.4.2 Rechteckiges Objekt	8
Messergebnisse 1 Meter	8
Messergebnisse 2 Meter	10
Messergebnisse 3 Meter	11
1.4.3 Lineares Objekt	13
Messergebnisse 1 Meter	13
Messergebnisse 2 Meter	14
Messergebnisse 3 Meter	16
1.5 Auswertung.....	18
1.5.1 Kreisförmiges Objekt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.5.2 Rechteckiges Objekt	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.5.3 Lineares Objekt	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Versuch zur Evaluation

1.1 Versuchsbeschreibung

Durch den Versuch zur Evaluation des in dieser Arbeit umgesetzten Algorithmus zur Objektdetektion mittels RPLIDAR soll geprüft werden, ob aus den Daten des Laserscanners Objekte in der Sensorumgebung erkannt und richtig klassifiziert werden können. Ebenfalls wird überprüft, wie genau die Positionierung (Mittelpunkt des Objektes in kartesischen Koordinaten), sowie die Maße (Länge, Breite, Radius) des berechnet werden kann. Dafür werden drei verschieden zu klassifizierende Objekte im statischen Zustand geprüft.

1.2 Versuchsaufbau

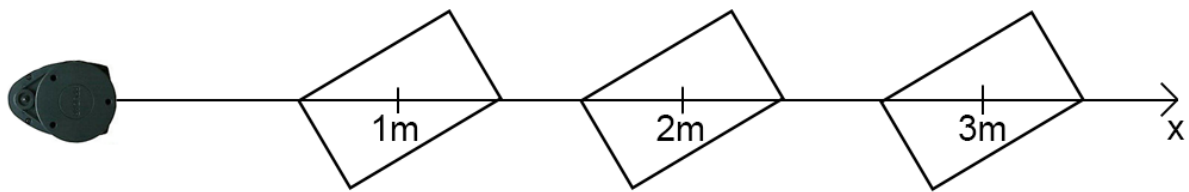


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit rechteckigem Objekt

Dafür wird jeweils ein rechteckiges, ein rundes und ein lineares Objekt in den Abständen ein Meter, zwei Meter und drei Meter zum Sensor platziert. Ebenfalls soll das Objekt so genau wie möglich auf der festgelegten x-Achse der Messung positioniert werden. Pro Objekt und Abstand werden dabei 20 Messungen durchgeführt. Wie in Abbildung 2 dargestellt, wurde als rechteckiges Objekt ein weißer Karton verwendet. Die zu messenden Kantenlängen des Kartons betragen 46 cm und 39,5 cm. Die längere Kante wurde ebenfalls für die Versuchsreihe des linearen Objekts verwendet, indem der Karton zum Sensor so positioniert wurde, dass nur eine der Quaderflächen vom Sensor erfasst wird. Als kreisförmiges Objekt wurde ein schwarzer Eimer verwendet. Damit die Oberfläche des Eimers der des Kartons ähnelt, wurde auf dem Eimer weißes Papier im Messbereich des Sensors befestigt. Da der Durchmesser des Eimers nicht konstant ist, wurde der Durchmesser bei der Maßbestimmung mit dem Durchmesser des Eimers auf der Messhöhe des Sensors festgelegt. Dieser beträgt auf der Messhöhe 37 cm.

Für die Messungen wurde jeweils der Mittelpunkt der verschiedenen Objekte, wie in Abbildung 1 gezeigt, auf den zu messenden Abständen positioniert. Dadurch soll neben der richtigen Klassifizierung auch die gesamte Mittelpunktberechnung geprüft werden.

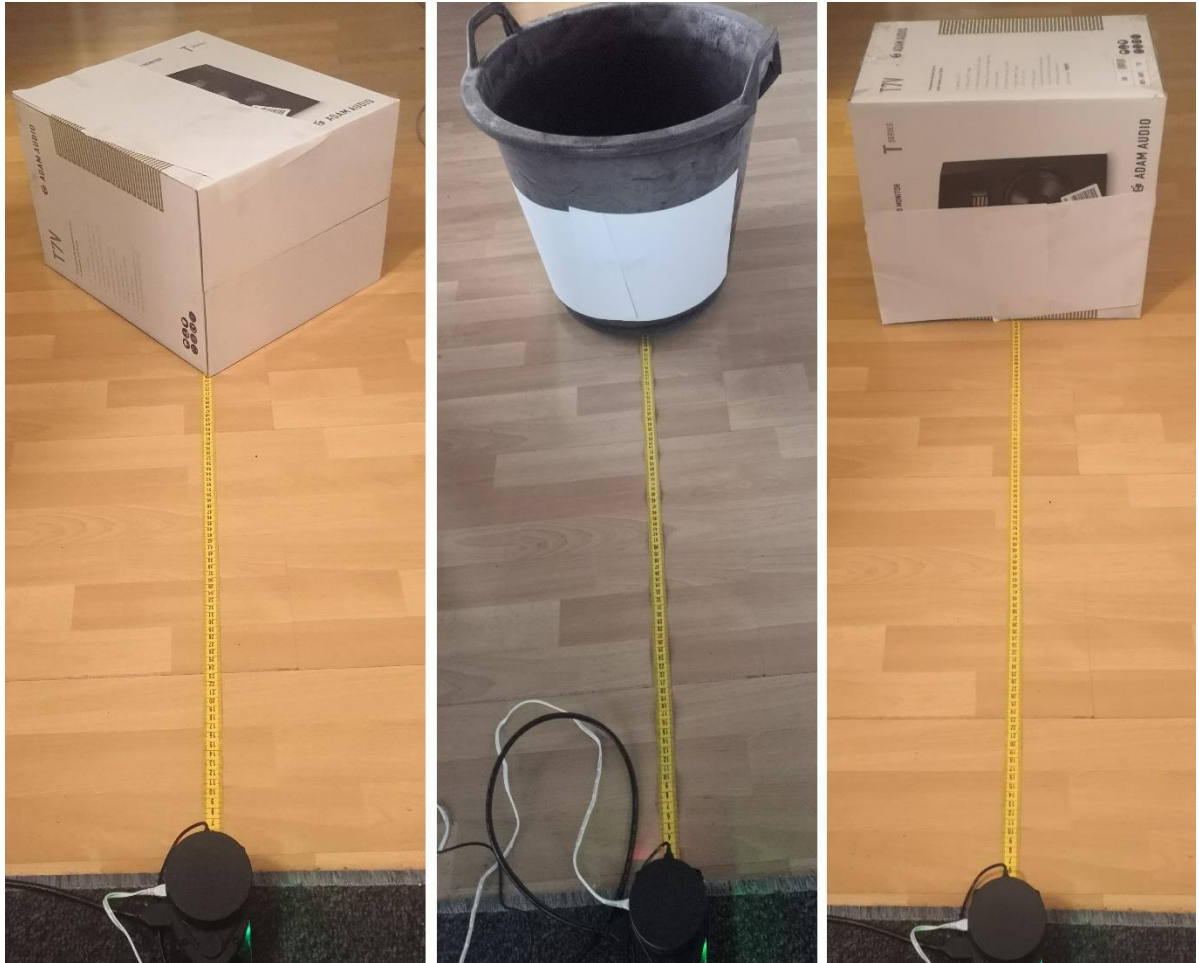


Abbildung 2: Versuchsaufbau mit Karton (Rechteck), Eimer (rund) und Karton (linear) mit einem Meter Abstand zum Sensor

1.3 Erwartetes Ergebnis und Fehlerquellen

Neben den offensichtlichsten Fehlerquellen, wie den Messtoleranzen des Sensors ($<1\%$ des gemessenen Abstands) sowie den Messfehlern im Versuchsaufbau wird erwartet, dass sich das Ergebnis der Objekterkennung und parallel dazu auch die berechneten Werte mit zunehmenden Messabständen verschlechtert. Je größer die Entfernung zwischen Sensor und dem zu messenden Objekt ist, desto weniger Messpunkte stehen zur Objekterkennung und Klassifizierung zur Verfügung. Dies resultiert aus den gleichbleibenden Winkelabständen zwischen den einzelnen Messpunkten. Durch eine geringere Anzahl von Messpunkten, die zur Klassifizierung zur Verfügung stehen, haben ebenfalls die Messtoleranzen des Sensors eine größere Auswirkung auf die Berechnung. Es wird erwartet, dass sich dieser Effekt besonders bei der Kreisklassifizierung bemerkbar macht, da aufgrund der geringen Anzahl von Objektmesspunkten sowie der durch die Messtoleranzen entstehenden Winkeländerungen, nicht mehr 80% der Winkel größer als die zu vergleichenden Winkel sind (detailliert in der Dokumentation dieser Arbeit erklärt).

Außerdem werden zu kleine Objekte bei großen Entfernungen, wegen der in der Segmentierung festgelegten Mindestanzahl von Messpunkten für ein Objekt, nicht mehr als Objekte klassifiziert. Die Objektgröße für diesen Versuch wurde aber bewusst so gewählt, dass auch bei einer Entfernung von drei Metern immer noch genug Messpunkte von den Objekten reflektiert werden.

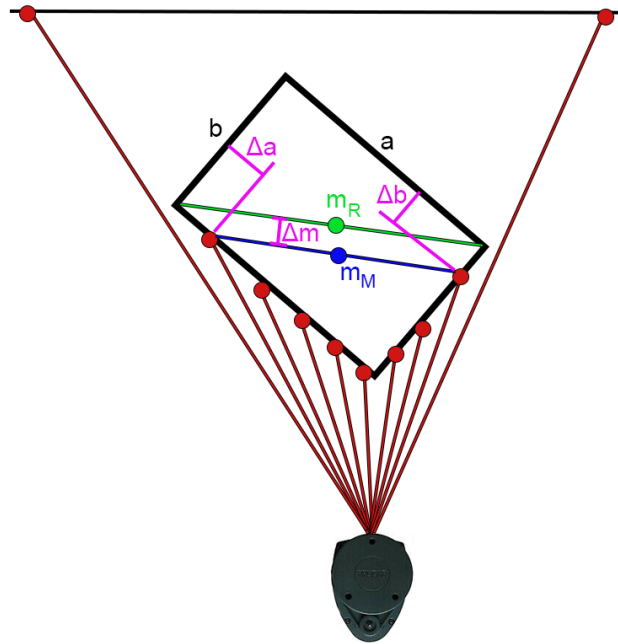


Abbildung 3: Fehlerquellen der Abstands- sowie Maßberechnung

Außerdem wird erwartet, dass es wie in Abbildung 3 am Beispiel eines rechteckigen Objektes dargestellt, aufgrund der Winkelschritte zwischen den Messpunkten zu fehlerbehafteten Abstands- sowie Maßberechnungen kommt. Somit werden nicht die gesamten Kantenlängen a und b vom Sensor erfasst. Daraus resultiert, dass die Eckpunkte des erkannten Rechtecks fehlerbehaftet positioniert werden und somit die berechneten Werte um die Fehler Δa und Δb abweichen. Ebenfalls entsteht dadurch eine fehlerhafte Abstandsberechnung um Δm zwischen dem realen Mittelpunkt m_R und dem gemessenen Mittelpunkt m_M . Es wird ebenfalls erwartet, dass dieser Fehler bei steigenden Abständen zunimmt. Die in Abbildung 3 dargestellte Fehlerquelle wirkt sich ebenfalls auf die Abstands- und Radius- bzw. Längenberechnung bei kreisförmigen und linearen Objekten aus.

1.4 Messergebnisse

Im Folgenden sind die gemessenen und berechneten Ergebnisse der 20 aufgenommenen Werte und die dazugehörigen Normalverteilungsdiagramme dargestellt.

1.4.1 Kreisförmiges Objekt

Tabelle 1: Rundes Objekt

Objekt	Runder Eimer
Länge	37cm
Oberfläche	Papier
Farbe	Weiß

Messergebnisse 1 Meter

Tabelle 2: Messergebnisse rundes Objekt bei einem Meter Abstand

Messung	Erkannt	Gemessener Abstand [m]	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Durchmesser [m]
1	ja	1,001	1,001	-0,036	-2,032	0,385
2	ja	1,013	1,013	-0,035	-1,996	0,408
3	ja	1,008	1,008	-0,005	-0,307	0,380
4	ja	1,013	1,013	-0,005	-0,274	0,392
5	ja	1,001	1,008	-0,004	-0,232	0,368
6	ja	0,999	0,999	-0,004	-0,232	0,360
7	ja	1,007	1,007	0,006	0,338	0,379
8	ja	1,009	1,009	0,006	0,355	0,383
9	ja	1,029	1,029	-0,011	-0,611	0,425
10	ja	1,030	1,030	-0,011	-0,610	0,429
11	ja	0,992	0,992	-0,034	-1,952	0,365
12	ja	0,987	0,987	-0,006	-0,334	0,339
13	ja	1,002	1,002	0,005	0,313	0,369
14	ja	1,003	1,003	-0,009	-0,526	0,370
15	ja	1,001	1,001	0,005	0,286	0,367
16	ja	1,005	1,005	0,004	0,245	0,375
17	ja	1,001	1,001	0,005	0,286	0,367
18	ja	0,999	0,999	0,005	0,269	0,363
19	ja	1,001	1,001	-0,010	-0,554	0,364
20	ja	0,996	0,996	-0,036	-2,060	0,374

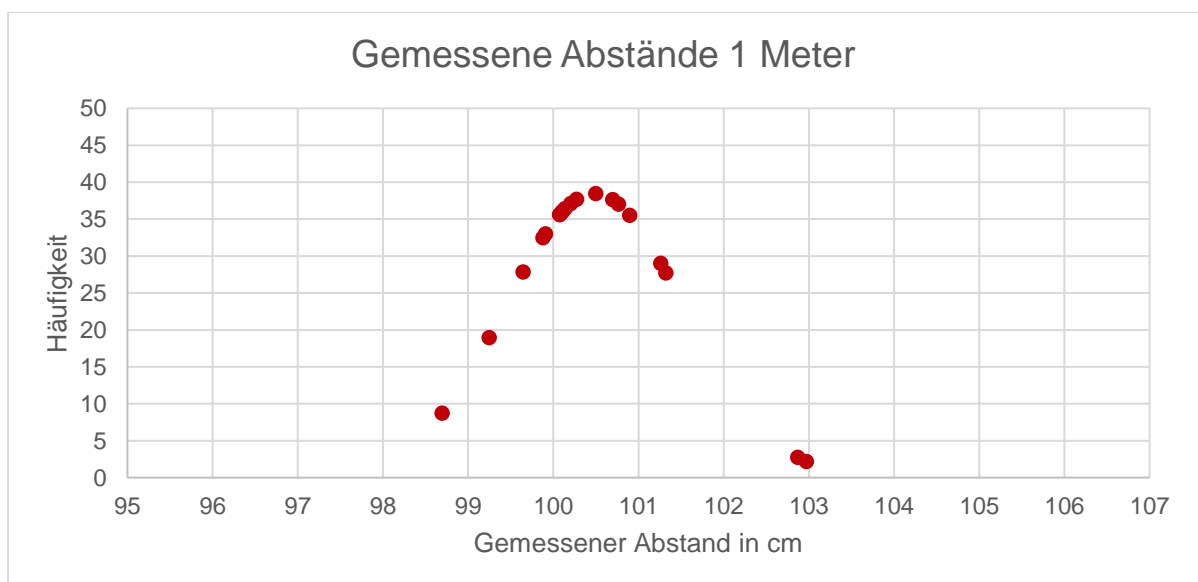


Abbildung 4: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 1 Meter Abstand

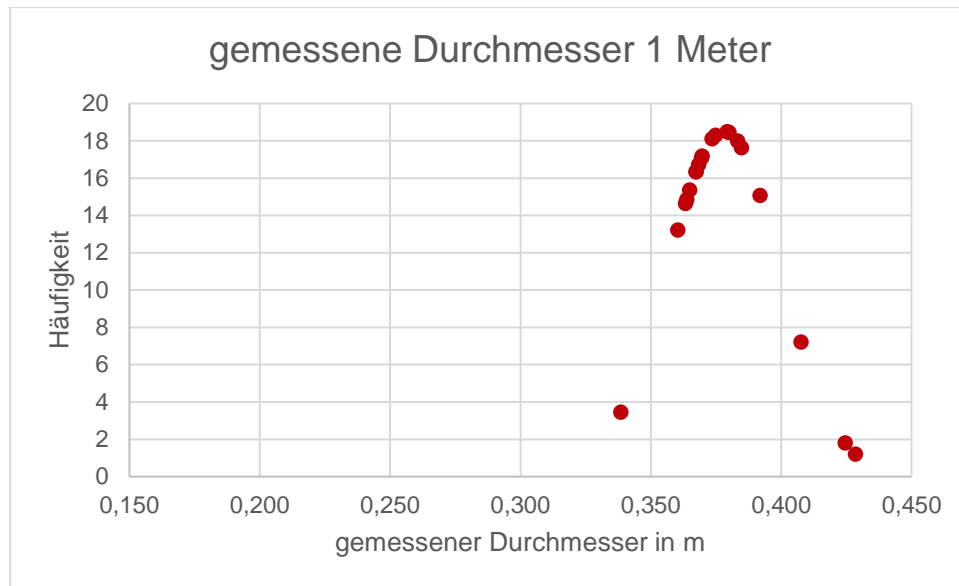


Abbildung 5: Normalverteilungsdigramm von den gemessenen Durchmessern bei 1 Meter Abstand

Messergebnisse 2 Meter

Tabelle 3: Messergebnisse rundes Objekt bei zwei Meter Abstand

Messung	Erkannt	Gemessener Abstand [m]	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Durchmesser [m]
1	ja	2,000	2,000	-0,036	-1,017	0,381
2	ja	1,997	1,997	0,028	0,793	0,399
3	ja	1,995	1,995	0,027	0,787	0,397
4	ja	2,019	2,019	-0,027	-0,774	0,428
5	ja	2,026	2,026	-0,028	-0,792	0,440
6	ja	2,024	2,024	-0,028	-0,796	0,435
7	ja	2,021	2,021	-0,028	-0,798	0,423
8	ja	2,023	2,023	-0,028	-0,802	0,427
9	ja	1,975	1,975	0,029	0,827	0,363
10	ja	1,981	1,981	-0,035	-1,012	0,343
11	ja	1,979	1,979	-0,035	-1,017	0,340
12	ja	1,982	1,982	-0,034	-0,991	0,345
13	ja	1,975	1,975	-0,035	-1,009	0,332
14	ja	1,966	1,966	0,028	0,819	0,344
15	ja	1,984	1,984	0,027	0,793	0,374
16	ja	1,975	1,975	-0,035	-1,012	0,326
17	ja	1,995	1,995	0,027	0,774	0,396
18	ja	1,998	1,998	0,027	0,778	0,402
19	ja	2,007	2,007	0,027	0,770	0,418
20	ja	1,982	1,982	-0,035	-0,998	0,343

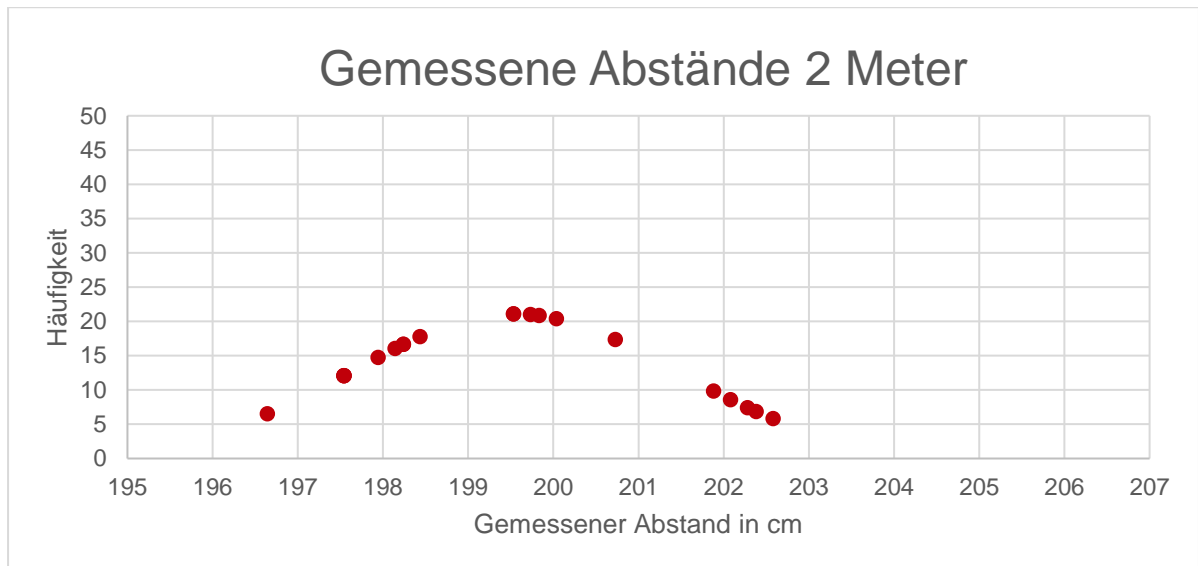


Abbildung 6: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 2 Meter Abstand

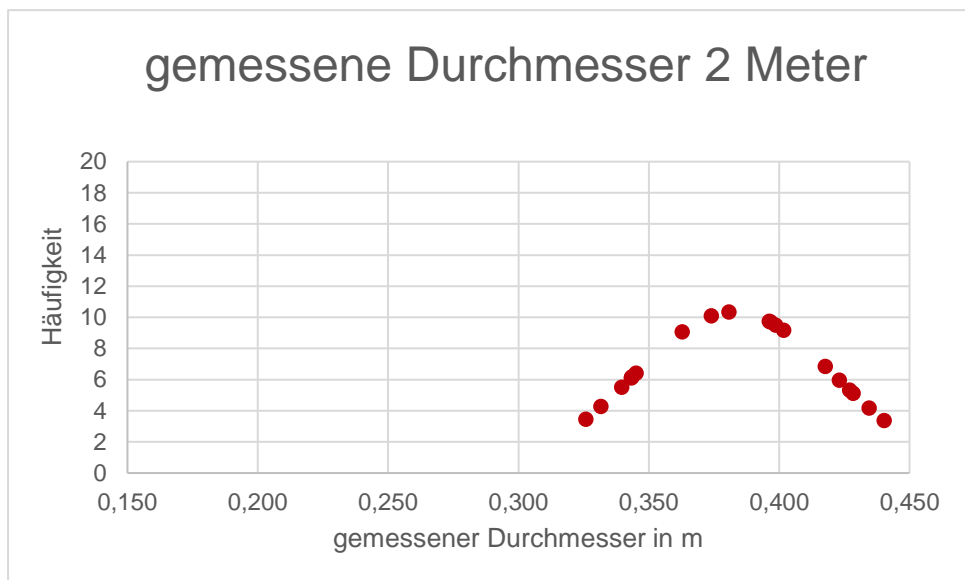


Abbildung 7: : Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Durchmessern bei 2 Meter Abstand

Messergebnisse 3 Meter

Tabelle 4: Messergebnisse rundes Objekt bei drei Meter Abstand

Messung	Erkannt	Gemessener Abstand [m]	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Durchmesser [m]
1	ja	2,933	2,932	-0,051	-0,993	0,280
2	ja	2,915	2,915	0,048	0,936	0,349
3	ja	2,917	2,917	0,048	0,933	0,351
4	ja	2,915	2,915	0,047	0,930	0,353
5	ja	2,893	2,893	-0,001	-0,014	0,181
6	ja	2,930	2,930	-0,002	-0,041	0,269
7	nein					
8	nein					
9	ja	2,903	2,902	-0,099	-1,951	0,341

10	ja	2,905	2,904	-0,050	-0,979	0,343
11	ja	2,906	2,905	-0,050	-0,979	0,204
12	ja	2,920	2,919	-0,099	-1,935	0,356
13	ja	2,935	2,934	-0,049	-0,963	0,275
14	ja	2,960	2,959	-0,051	-0,978	0,332
15	nein					
16	ja	2,939	2,938	-0,050	-0,978	0,289
17	ja	2,945	2,944	-0,050	-0,971	0,298
18	nein					
19	nein					
20	ja	2,942	2,942	0,048	0,939	0,396

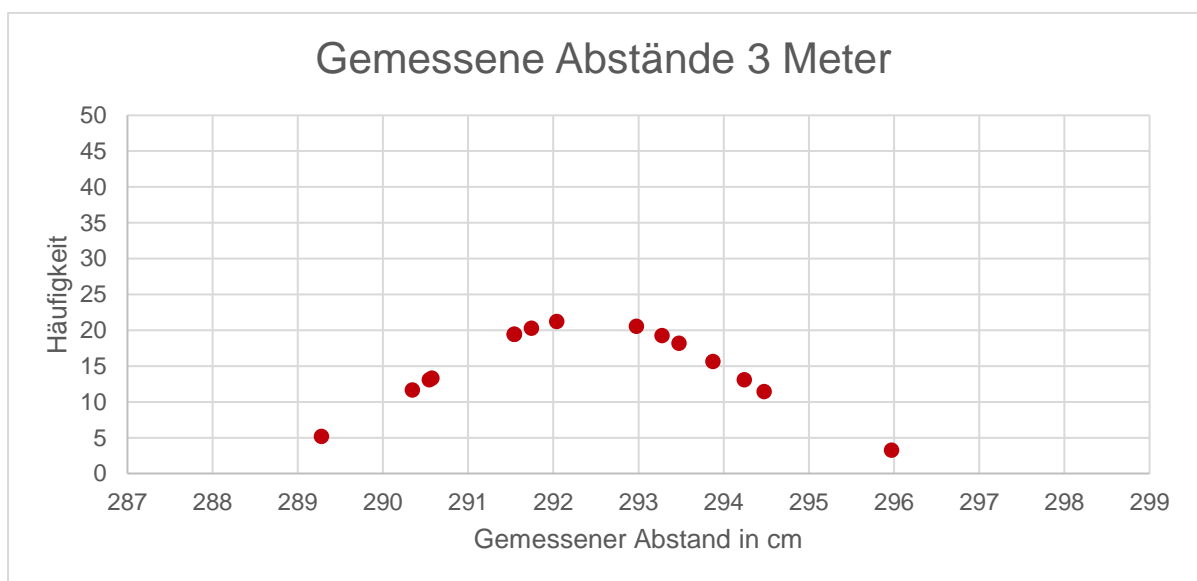


Abbildung 8: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 3 Meter Abstand

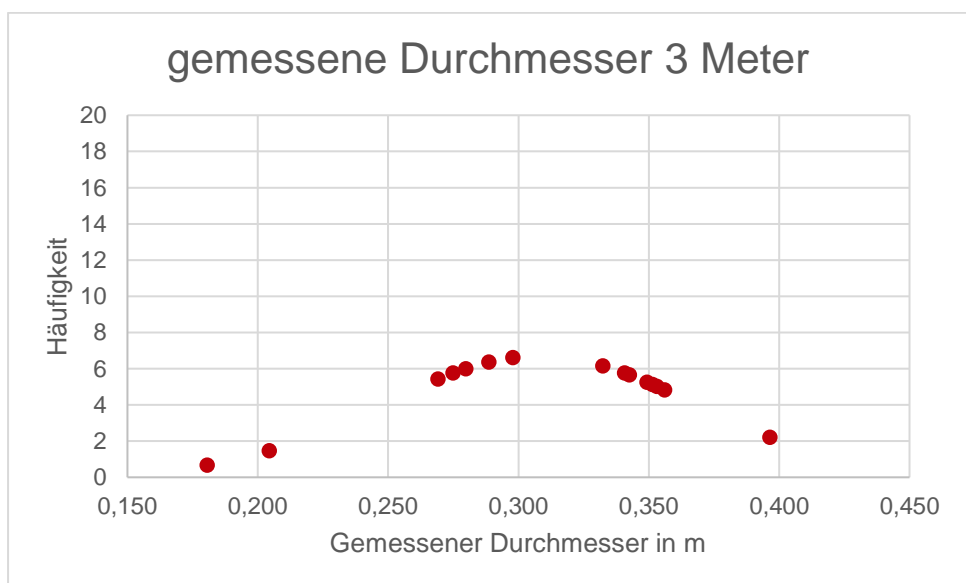


Abbildung 9: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Durchmessern bei 3 Meter Abstand

1.4.2 Rechteckiges Objekt

Tabelle 5: Rechteckiges Objekt

Objekt	Rechteck Karton
Länge a	46cm
Breite b	39,5cm
Oberfläche	Papier
Farbe	Weiß

Messergebnisse 1 Meter

Tabelle 6: Messergebnisse rechteckiges Objekt bei einem Meter Abstand

Messung	Erkannt	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Gemessener Abstand [m]	Länge [m]	Breite [m]
1	ja	0,986	0,012	0,673	0,986	0,365	0,438
2	ja	0,979	0,010	0,556	0,979	0,365	0,425
3	ja	0,985	-0,003	-0,161	0,985	0,393	0,420
4	ja	0,981	-0,001	-0,085	0,981	0,386	0,420
5	ja	0,983	-0,001	-0,045	0,983	0,386	0,425
6	ja	0,991	0,003	0,149	0,991	0,382	0,443
7	ja	0,993	0,002	0,115	0,993	0,386	0,443
8	ja	0,985	0,013	0,769	0,985	0,367	0,433
9	ja	0,988	0,013	0,727	0,988	0,372	0,434
10	ja	0,987	0,013	0,736	0,987	0,363	0,443
11	ja	0,989	0,013	0,743	0,989	0,372	0,436
12	ja	0,989	0,013	0,734	0,989	0,373	0,436
13	ja	0,985	0,012	0,673	0,985	0,365	0,438
14	ja	0,981	0,010	0,602	0,981	0,373	0,421
15	ja	0,985	0,012	0,669	0,985	0,378	0,429
16	ja	0,993	0,000	0,012	0,993	0,392	0,438
17	ja	0,996	0,001	0,064	0,996	0,392	0,442
18	ja	0,988	0,013	0,743	0,988	0,363	0,444
19	ja	0,993	0,002	0,122	0,993	0,386	0,444
20	ja	0,988	0,013	0,743	0,988	0,363	0,444

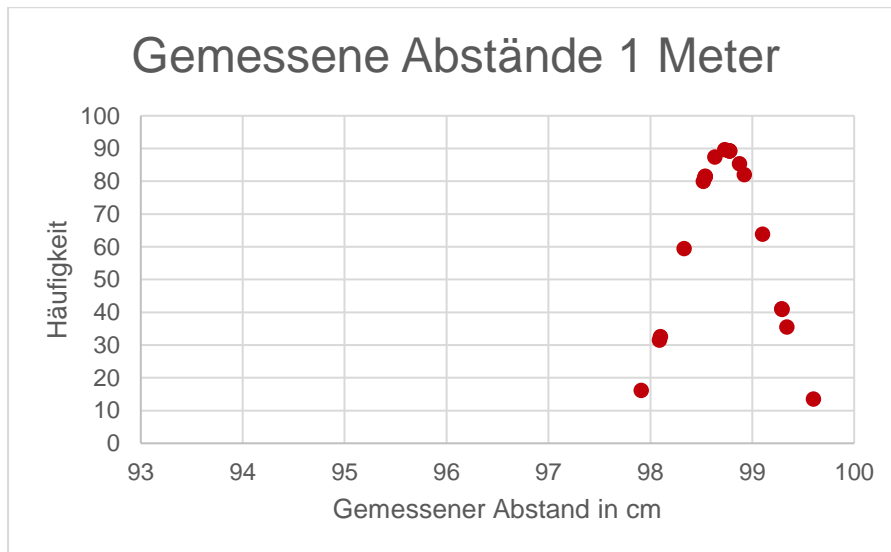


Abbildung 10: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 1 Meter Abstand

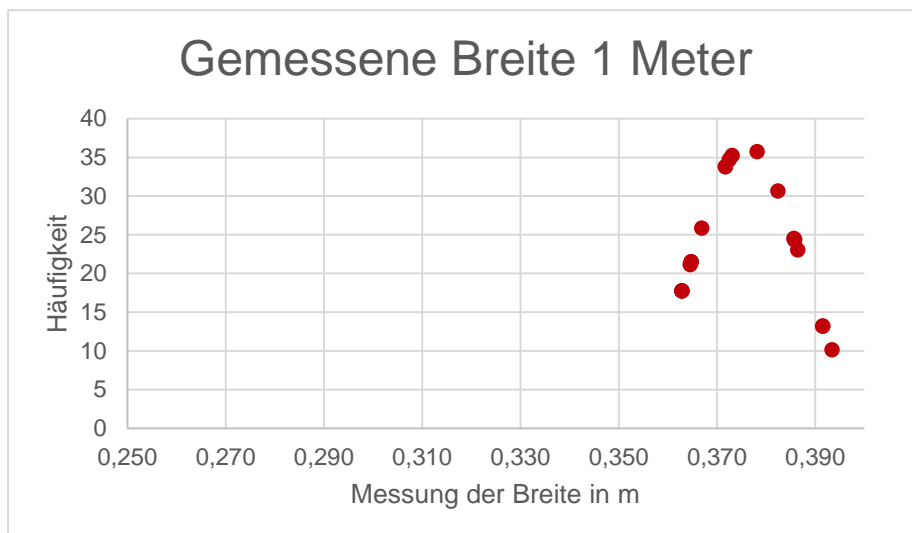


Abbildung 11 Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Breiten bei 1 Meter Abstand

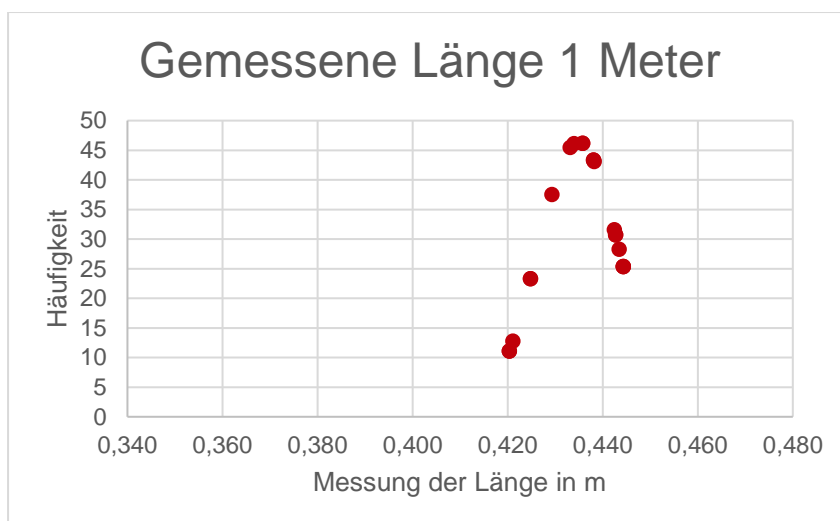


Abbildung 12: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Längen bei 1 Meter Abstand

Messergebnisse 2 Meter

Tabelle 7: Messergebnisse rechteckiges Objekt bei zwei Meter Abstand

Messung	Erkannt	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Gemessener Abstand [m]	Länge [m]	Breite [m]
1	ja	1,970	0,076	2,212	1,971	0,342	0,424
2	ja	1,969	0,076	2,210	1,971	0,343	0,424
3	ja	1,979	0,058	1,665	1,980	0,365	0,447
4	ja	1,978	0,058	1,667	1,979	0,385	0,424
5	ja	1,970	0,076	2,206	1,972	0,346	0,426
6	ja	1,969	0,076	2,202	1,971	0,344	0,422
7	ja	1,979	0,058	1,667	1,980	0,386	0,425
8	ja	1,981	0,058	1,673	1,982	0,385	0,427
9	ja	1,954	0,036	1,043	1,954	0,363	0,379
10	ja	1,944	0,054	1,585	1,945	0,342	0,354
11	ja	1,947	0,054	1,581	1,948	0,345	0,355
12	ja	1,973	0,076	2,194	1,974	0,326	0,444
13	ja	1,972	0,076	2,198	1,974	0,347	0,424
14	ja	1,972	0,076	2,196	1,973	0,347	0,423
15	ja	1,972	0,076	2,198	1,974	0,347	0,424
16	ja	1,970	0,076	2,208	1,971	0,343	0,424
17	ja	1,969	0,076	2,214	1,971	0,342	0,424
18	ja	1,947	0,055	1,607	1,948	0,343	0,364
19	ja	1,949	0,054	1,600	1,950	0,321	0,383
20	ja	1,971	0,076	2,204	1,972	0,340	0,418

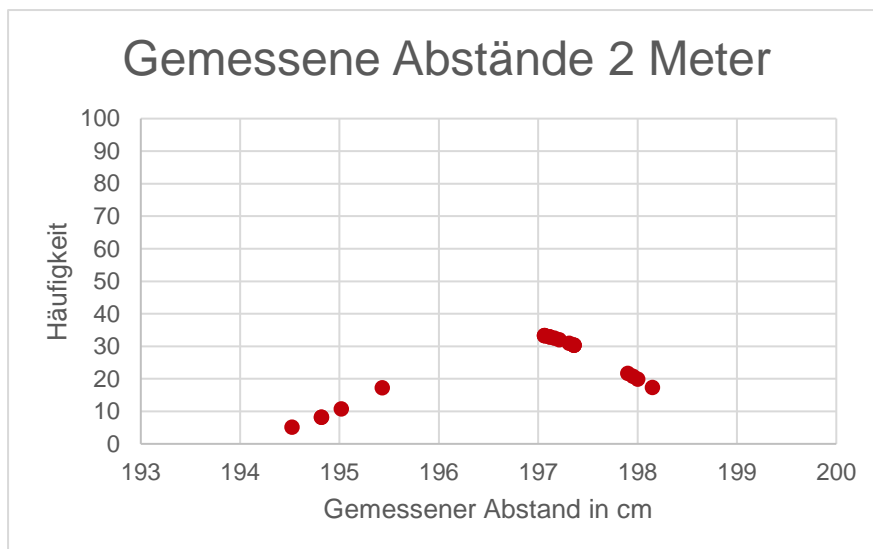


Abbildung 13: Normalverteilungsdigramm von den gemessenen Abständen bei 2 Meter Abstand

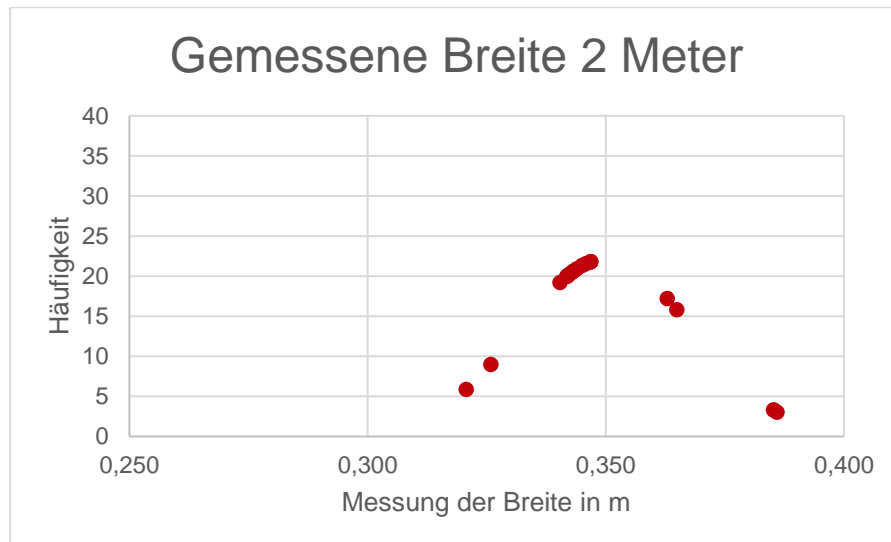


Abbildung 14: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Breiten bei 2 Meter Abstand

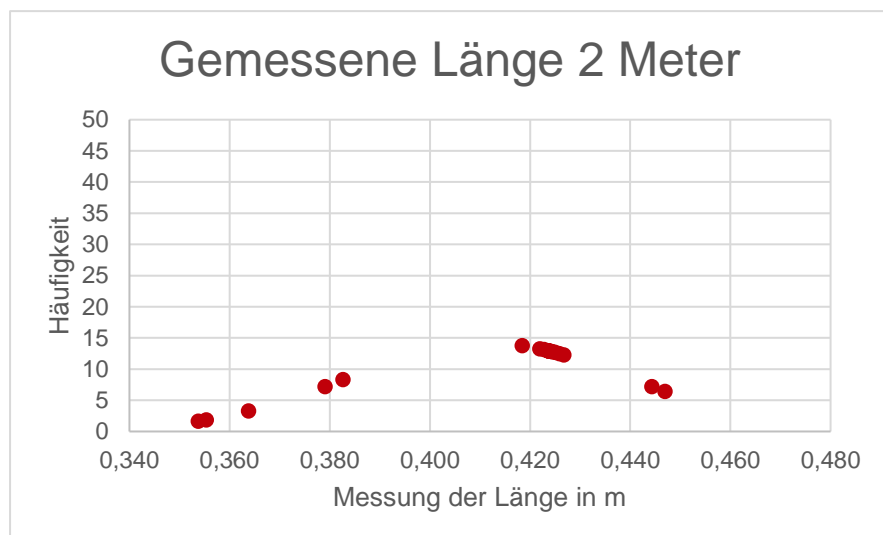


Abbildung 15: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Längen bei 2 Meter Abstand

Messergebnisse 3 Meter

Tabelle 8: Messergebnisse rechteckiges Objekt bei drei Meter Abstand

Messung	Erkannt	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Gemessener Abstand [m]	Länge [m]	Breite [m]
1	ja	2,998	-0,022	-0,428	2,998	0,365	0,460
2	ja	2,985	-0,021	-0,403	2,985	0,347	0,461
3	ja	2,982	-0,021	-0,399	2,982	0,343	0,461
4	ja	2,941	-0,051	-0,984	2,941	0,345	0,359
5	ja	2,939	-0,051	-0,987	2,939	0,344	0,355
6	ja	2,949	-0,051	-0,994	2,949	0,355	0,360
7	ja	2,943	-0,051	-0,992	2,944	0,351	0,358
8	ja	2,949	-0,051	-0,994	2,949	0,355	0,360
9	als Kreis						
10	als Kreis						

11	ja	2,998	-0,022	-0,421	2,998	0,364	0,464
12	ja	2,952	-0,051	-0,995	2,953	0,363	0,368
13	ja	2,994	-0,022	-0,428	2,994	0,364	0,457
14	ja	2,958	0,007	0,132	2,958	0,368	0,453
15	als Kreis						
16	ja	2,987	-0,022	-0,415	2,987	0,349	0,453
17	ja	2,981	-0,021	-0,404	2,981	0,340	0,453
18	ja	2,981	-0,021	-0,401	2,981	0,338	0,452
19	ja	2,981	-0,021	-0,401	2,981	0,342	0,457
20	ja	2,939	-0,051	-0,991	2,940	0,345	0,353

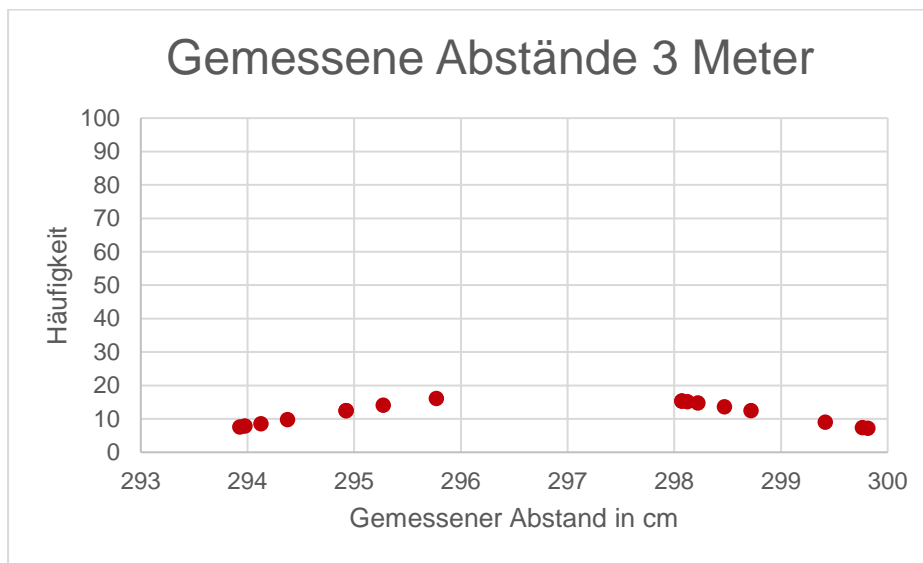


Abbildung 16: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 3 Meter Abstand

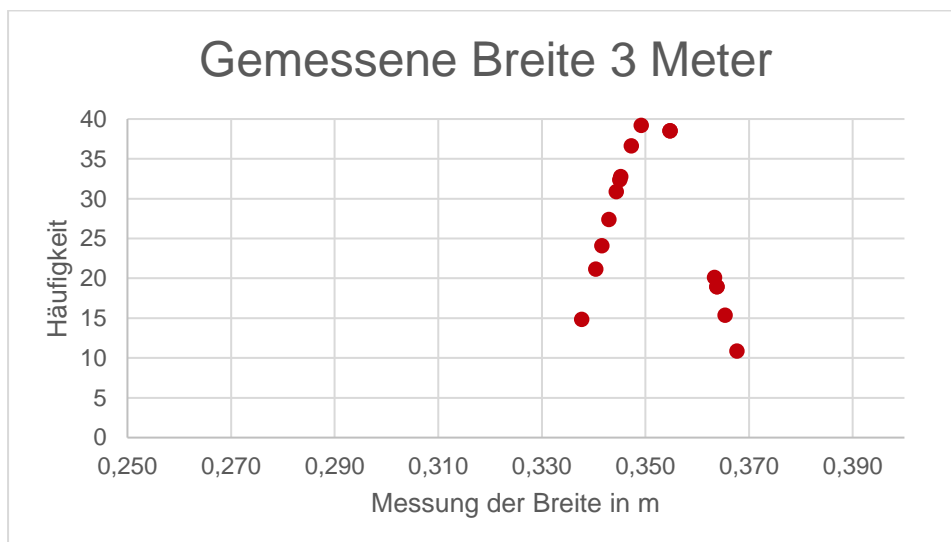


Abbildung 17: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Breiten bei 3 Meter Abstand

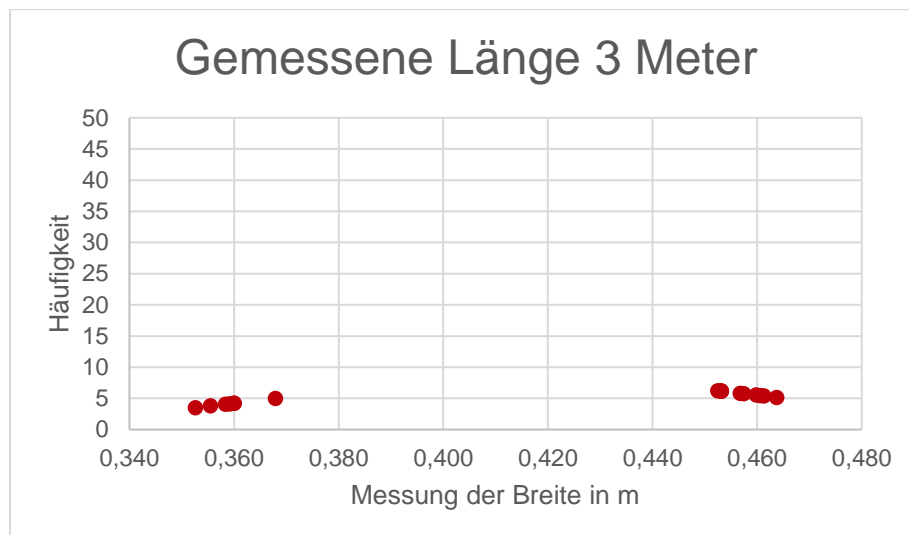


Abbildung 18: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Längen bei 3 Meter Abstand

1.4.3 Lineares Objekt

Tabelle 9: Lineares Objekt

Objekt	Linie Karton
Länge	46cm
Oberfläche	Papier
Farbe	Weiß

Messergebnisse 1 Meter

Tabelle 10: Messergebnisse lineares Objekt bei einem Meter Abstand

1	ja	0,999	-0,008	-0,475	0,999	0,443
2	ja	1,000	-0,017	-0,988	1,000	0,425
3	ja	0,999	-0,017	-0,994	0,999	0,425
4	ja	0,998	-0,008	-0,481	0,998	0,443
5	ja	0,998	-0,008	-0,488	0,998	0,442
6	ja	0,999	-0,008	-0,488	0,999	0,443
7	ja	1,010	-0,018	-1,036	1,001	0,462
8	ja	1,001	-0,018	-1,039	1,001	0,462
9	ja	1,000	-0,018	-1,032	1,000	0,462
10	ja	0,998	-0,008	-0,488	0,998	0,442
11	ja	1,007	-0,020	-1,128	1,008	0,466
12	ja	1,003	-0,019	-1,090	1,004	0,464
13	ja	0,999	-0,018	-1,026	0,999	0,461
14	ja	1,003	-0,019	-1,090	1,004	0,464
15	ja	0,999	-0,018	-1,026	0,999	0,461
16	ja	0,999	-0,008	-0,488	0,999	0,443
17	ja	0,998	-0,008	-0,481	0,998	0,443
18	ja	0,999	-0,008	-0,475	0,999	0,443

19	ja	1,002	-0,019	-1,071	1,002	0,463
20	ja	0,999	-0,008	-0,488	0,999	0,443

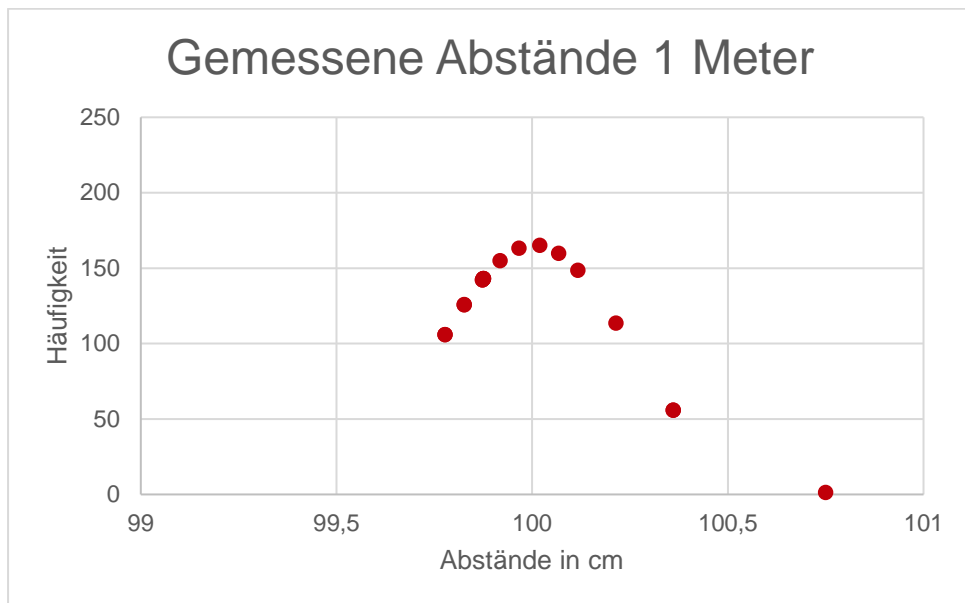


Abbildung 19: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 1 Meter Abstand

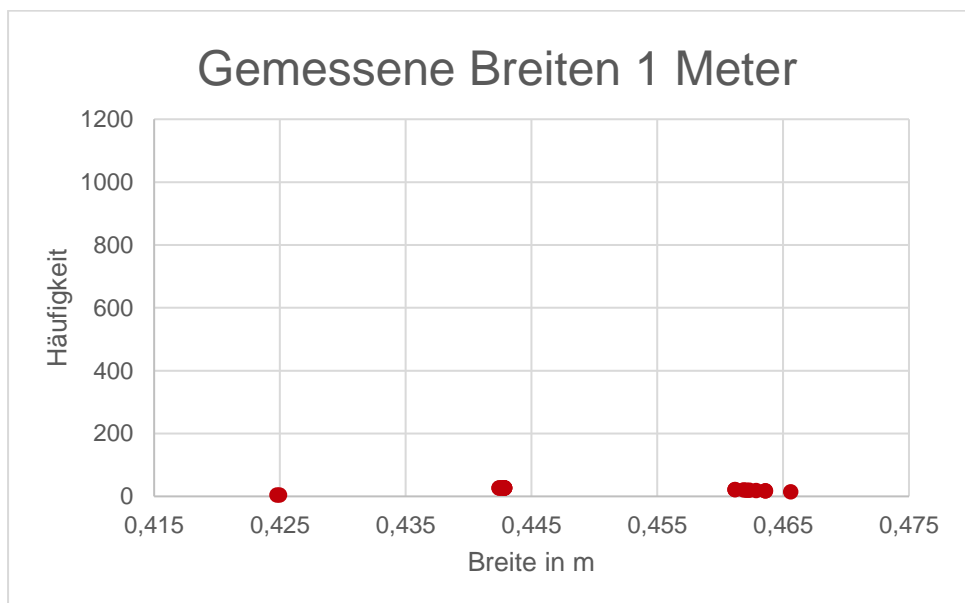


Abbildung 20: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Breiten bei 1 Meter Abstand

Messergebnisse 2 Meter

Tabelle 11: : Messergebnisse lineares Objekt bei zwei Meter Abstand

Messung	Erkannt	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Gemessener Abstand [m]	Länge [m]
1	ja	2,001	-0,035	-1,001	2,001	0,421
2	ja	2,002	-0,035	-1,000	2,002	0,421
3	ja	1,997	-0,035	-1,010	1,997	0,420
4	ja	2,001	-0,035	-1,000	2,001	0,421

5	ja	1,999	-0,035	-1,001	1,999	0,420
6	ja	1,996	-0,035	-1,005	1,997	0,420
7	ja	1,998	-0,035	-1,010	1,998	0,420
8	ja	1,998	-0,035	-1,009	1,998	0,420
9	ja	1,997	-0,051	-1,469	1,997	0,420
10	ja	1,998	-0,035	-1,007	1,998	0,420
11	ja	1,999	-0,035	-1,010	1,999	0,420
12	ja	1,999	-0,035	-1,012	1,999	0,420
13	ja	1,998	-0,035	-1,012	1,998	0,420
14	ja	1,999	-0,035	-1,009	1,999	0,420
15	ja	1,997	-0,035	-1,006	1,997	0,420
16	ja	1,996	-0,035	-1,009	1,996	0,420
17	ja	1,994	-0,035	-1,003	1,994	0,419
18	ja	1,995	-0,035	-0,998	1,996	0,419
19	ja	1,998	-0,035	-1,007	1,998	0,420
20	ja	1,999	-0,035	-1,006	1,999	0,420

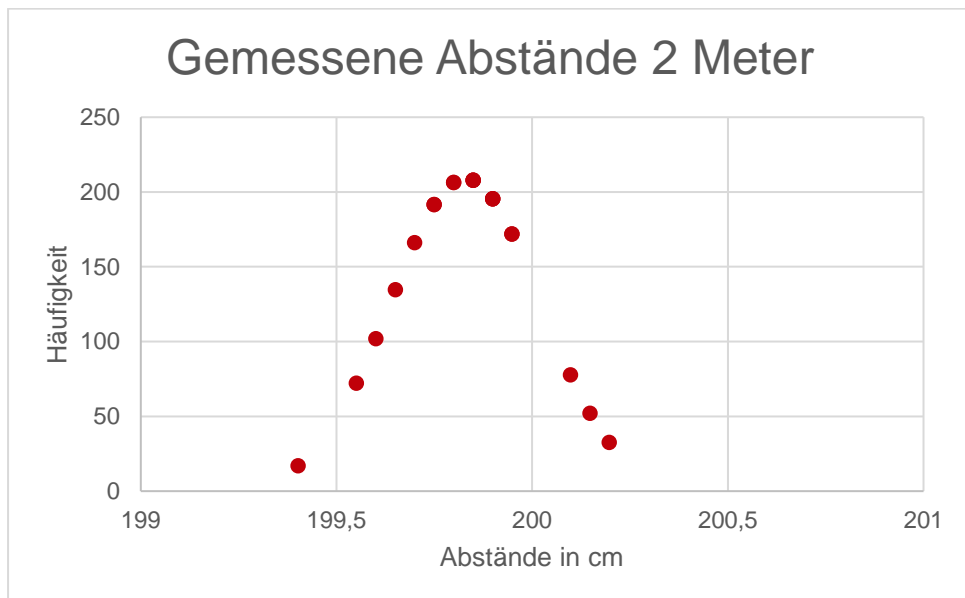


Abbildung 21: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 2 Meter Abstand

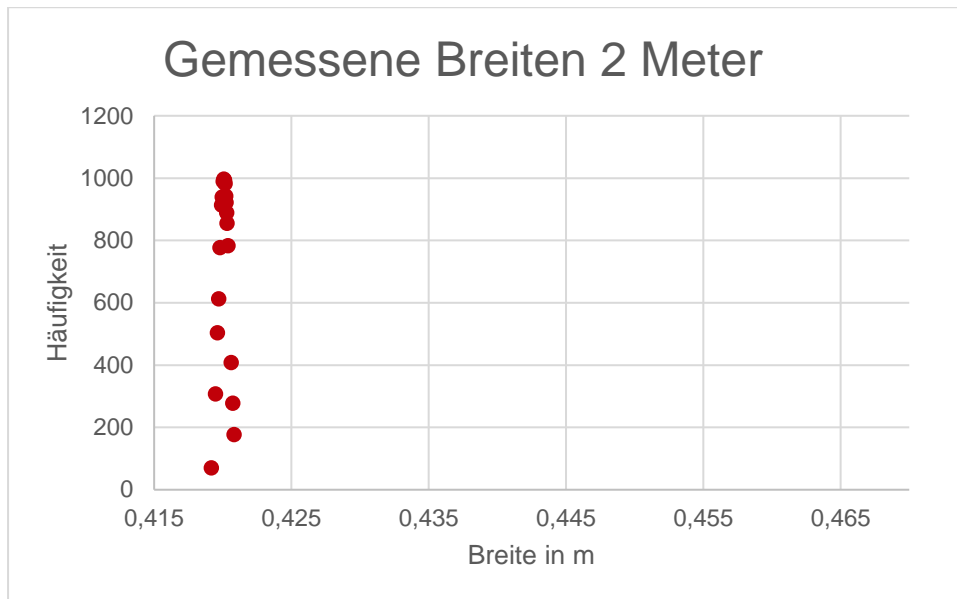


Abbildung 22: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Breiten bei 2 Meter Abstand

Messergebnisse 3 Meter

Tabelle 12: : Messergebnisse lineares Objekt bei drei Meter Abstand

Messung	Erkannt	x [m]	y [m]	Winkel [°]	Gemessener Abstand [m]	Länge [m]
1	ja	2,996	-0,051	-0,981	2,996	0,420
2	ja	2,995	-0,051	-0,981	2,995	0,420
3	ja	2,995	-0,051	-0,982	2,995	0,420
4	ja	2,991	-0,051	-0,977	2,992	0,420
5	ja	2,992	-0,051	-0,976	2,993	0,420
6	ja	2,993	-0,051	-0,975	2,993	0,420
7	ja	2,998	-0,051	-0,983	2,999	0,420
8	ja	2,997	-0,078	-1,488	2,998	0,421
9	ja	2,993	-0,051	-0,980	2,994	0,420
10	ja	2,992	-0,051	-0,981	2,993	0,419
11	ja	2,995	-0,051	-0,978	2,995	0,420
12	ja	2,995	-0,051	-0,979	2,996	0,420
13	ja	2,997	-0,051	-0,981	2,998	0,420
14	ja	3,004	-0,051	-0,972	3,005	0,422
15	ja	2,999	-0,052	-0,984	3,000	0,420
16	ja	3,000	-0,051	-0,983	3,000	0,420
17	ja	2,997	-0,051	-0,981	2,997	0,420
18	ja	2,996	-0,051	-0,980	2,997	0,420
19	ja	2,993	-0,052	-0,986	2,993	0,419
20	ja	2,996	-0,051	-0,982	2,996	0,420

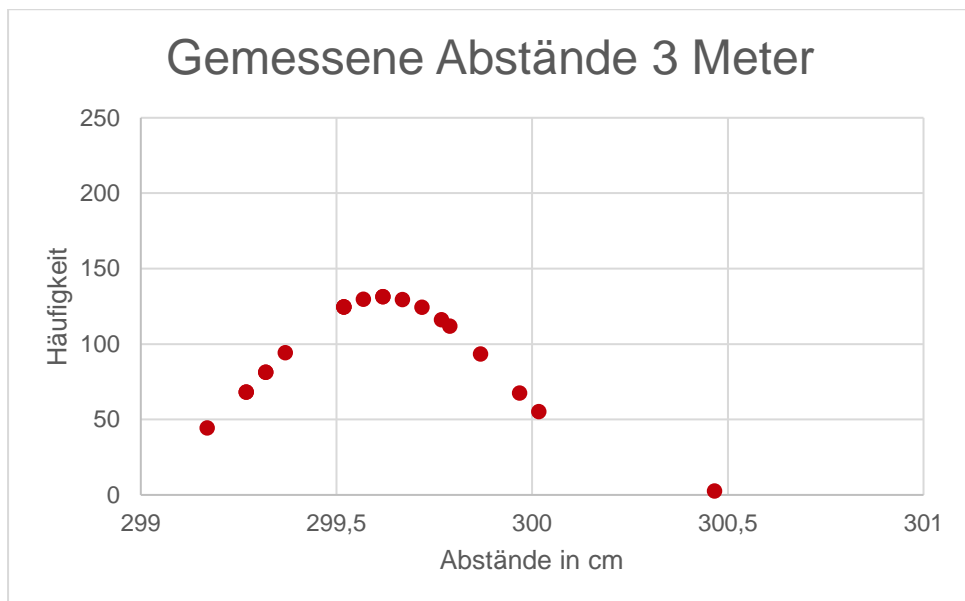


Abbildung 23: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Abständen bei 3 Meter Abstand

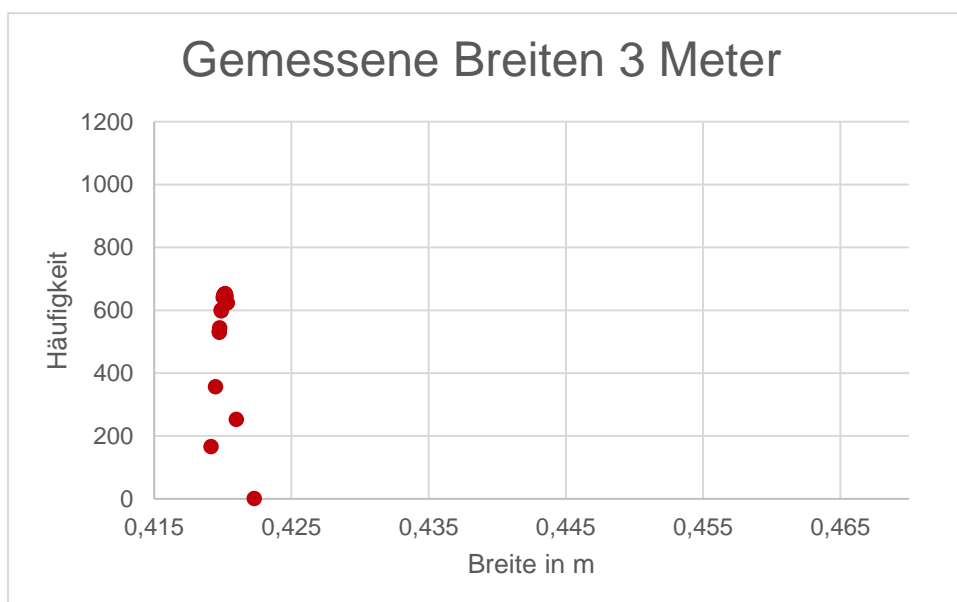


Abbildung 24: Normalverteilungsdiagramm von den gemessenen Breiten bei 3 Meter Abstand

1.5 Auswertung

Zur Auswertung der gemessenen und berechneten Ergebnisse wurde aus den 20 aufgenommenen Werten der Mittelwert (\bar{x}) und die Standardabweichung (σ_x) gebildet, wobei x als Variable für die jeweils zu messende Größe zu verstehen ist. Im Anhang dieser Arbeit findet sich ein ausführliches Versuchsprotokoll, in dem die einzelnen Messwerte sowie die daraus resultierenden Normalverteilungsdiagramme dargestellt sind.

1.5.1 Kreisförmiges Objekt

Tabelle 13: Versuchsergebnisse kreisförmiges Objekt

Objekt	Rund Eimer						
Durchmesser	37cm						
Oberfläche	Papier						
Farbe	Weiß						
Realer Abstand R	Erkannt zu	\bar{R} [cm]	σ_R [cm]	$\bar{\varphi}$ [°]	σ_φ [°]	\bar{D} [cm]	σ_D [cm]
100cm	100%	100,5	1	-0,5	0,9	37,8	2,2
200cm	100%	199,5	1,9	-0,2	0,9	38,3	3,8
300cm	75%	292,4	1,8	-0,5	1	30,8	5,9

Bei der Kreismessung wird das Objekt bei einem Abstand von 100cm, aber auch noch bei 200cm zu 100% (von 20 Messungen) als Kreis klassifiziert. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben nimmt dieser Wert erwartungsgemäß bei größeren Abständen ab. Bei 300cm Abstand wird das Objekt nur noch in 75% der Messungen als Kreis erkannt.

Die Differenz $\Delta R = \bar{R} - R$ fällt ebenfalls bei den Messungen im Abstand von 100cm und 200cm mit $\Delta R = 0,5 \text{ cm}$ sehr gering aus. Bei der Messung von 300cm wächst diese etwas an und liegt bei $\Delta R = 7,6 \text{ cm}$. Dies bestätigt den in Abbildung 45 dargestellten Fehler, wodurch nicht das gesamte Objekt durch den Sensor erkannt wird und der Abstand somit zu gering berechnet wird. Ebenfalls spiegelt sich dies in der Durchmesserberechnung wieder, wobei der Durchmesser bei 300cm mit $\Delta D = -6,2$ deutlich kleiner ausfällt. Wie die Standardabweichung zeigt, sind die gemessenen Abstände bei allen realen Abständen mit einem maximalen Wert von $\sigma_R = 1,9 \text{ cm}$ bei der 200 cm Messung sehr konstant. Bei der Durchmesserberechnung nimmt die Standardabweichung mit größer werdenden Abständen zu.

Bei der Winkelbestimmung beinhaltet vermutlich die reale Positionierung des Objekts zur x-Achse die größere Fehlerquelle als die Messung selbst, wobei das Objekt mit einer maximalen Winkeldifferenz von $\Delta\varphi = -0,5^\circ$ mit einem sehr geringen Abstand zur x-Achse platziert wurde. Ebenfalls ist die Standardabweichung σ_φ bei jeglichen Entfernungen mit maximal $\sigma_\varphi = 1^\circ$ sehr konstant, was zeigt, dass der Mittelpunkt der runden Objekte mit einem geringen Fehler im Raum platziert wird.

1.5.2 Rechteckiges Objekt

Tabelle 14: Versuchsergebnisse rechteckiges Objekt

Objekt	Rechteck Karton
Länge a	46cm

Breite b	39,5cm								
Oberfläche	Papier								
Farbe	Weiß								
Realer Abstand R	Erkannt zu	\bar{R} [cm]	σ_R [cm]	$\bar{\varphi}$ [°]	σ_φ [°]	\bar{a} [cm]	σ_a [cm]	\bar{b} [cm]	σ_b [cm]
100cm	100%	98,7	0,4	0,4	0,4	43,5	0,9	37,6	1,1
200cm	100%	196,8	1,2	1,9	0,4	41,7	2,8	35,0	1,8
300cm	85%	296,8	2,2	-0,6	0,3	41,7	5,0	34,6	2,2

Wie bei dem kreisförmigen Objekt wurde das rechteckige zu 100% bei einem Abstand von 100cm und 200cm erkannt. Bei einem Abstand von 300cm wurde das Objekt in 85% der Messungen als Rechteck klassifiziert. Dazu muss aber hinzugefügt werden, dass in den restlichen 15% das Objekt als Kreis klassifiziert wurde und somit nicht weiter geprüft wurde, ob ggf. die Kriterien einer Rechteckklassifizierung ebenfalls zutreffend waren. Die Abstände wurden bei allen Messungen etwas zu gering berechnet. Bei der 300cm Messung liegt die Differenz zum realen Wert bei $\Delta R = -3,2 \text{ cm}$, was darauf schließen lässt, dass die Abstandsberechnung der rechteckigen Objekte bessere Ergebnisse liefert als die der Kreisklassifikation. Was aber auffällt ist, dass die Standardabweichung der berechneten Abstandswerte mit größeren Abständen ansteigt.

Der Mittelwert der berechneten Winkel zur x-Achse ist wiederum schwer zu bewerten, da der Objektmittelpunkt vermutlich nicht genau auf der x-Achse platziert worden ist. Die geringe Standardabweichungen aller Winkel von maximal $\sigma_\varphi = 0,4^\circ$ zeigt aber auch, dass das Objekt konstant ohne große Abweichungen im Raum platziert werden kann.

Die Kantenlängen wurden bei allen Messabständen im Durchschnitt kleiner wahrgenommen, als es der Realität entspricht. Dies resultiert vermutlich aus dem in Abbildung 45 gezeigten Fehler. Insgesamt bleiben die Kantenlängen aber auch mit steigenden Abständen fast konstant. Somit sind diese bei der 200cm und der 300cm nahezu identisch. Wie erwartet steigen aber auch die Standardabweichungen der gemessenen Kantenlänge mit größer werdenden Abstand zum Sensor mit an.

1.5.3 Lineares Objekt

Tabelle 15: Versuchsergebnisse Lineares Objekt

Objekt	Linie Karton						
Länge	46cm						
Oberfläche	Papier						
Farbe	Weiß						
Realer Abstand	Erkannt zu	\bar{R} [cm]	σ_r [cm]	$\bar{\varphi}$ [°]	σ_φ [°]	\bar{a} [cm]	σ_a [cm]
100cm	100%	100,0	0,2	-0,8	0,3	45,0	1,3
200cm	100%	199,8	0,2	-1,0	0,1	42,0	0,0
300cm	100%	299,6	0,3	-1,0	0,1	41,7	1,2

Die Versuchsergebnisse der linearen Objekte weichen von den drei verschiedenen Objekttypen am wenigsten von den Realwerten ab. Außerdem wurde in allen Messungen in den

drei zu messenden Abständen das Objekt als lineares Objekt erkannt. Ebenfalls ist der durchschnittlich gemessene Abstandswert mit einer maximalen Differenz von $\Delta R = -0,4 \text{ mm}$ bei der 300cm Messung sehr gering. Auch die geringen Werte der Standardabweichungen von σ_r zeigen, dass der Abstand konstant realitätsnah berechnet wurde. Dies resultiert aber auch daraus, dass das Objekt senkrecht zur x-Achse platziert wurde und somit durch die Berechnung bzw. die Objektmaße keine Abweichungen in der Mittelpunktberechnung entstehen.

Ähnlich wie bei den anderen Objekten konnte der Winkel mit einer geringen Standardabweichung σ_φ berechnet werden. Dies lässt wiederum darauf schließen, dass das Objekt im Versuchsaufbau geringfügig neben der x-Achse platziert wurde, die Berechnungen aber ein gutes Ergebnis liefern.

Ausschließlich bei der Messung der Länge kommt es bei größer werdenden Abständen zu größeren Fehlern in der Berechnung. Dies lässt sich vermutlich aber wieder auf den in Abbildung 45 dargestellten Fehler beziehen, da die Standardabweichung der berechneten Längen weiterhin gering bleibt.