

V303

Lock In Verstärker

Jonas Osterholz
jonas.osterholz@tu-dortmund.de

Moritz Rempe
moritz.rempe@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.12.2018

Abgabe: 21.12.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Aufbau und Durchführung	5
4	Auswertung	7
4.1	Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Phasenverschiebung	7
4.2	Rauschunterdrückung mit einer Photodetektorschaltung	10
5	Diskussion	13
6	Literatur	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers untersucht werden um das Prinzip der Rauschunterdrückung kennenzulernen.

2 Theorie

Mithilfe eines Lock-In-Verstärkers können Signale mit starkem Rauschen gemessen werden. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Das zu untersuchende Nutzsignal

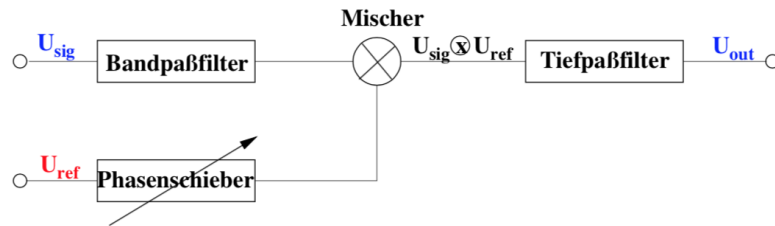


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers. [1]

U_{sig} wird mit der Referenzfrequenz ω_0 moduliert. Zuerst entfernt der Bandpassfilter alle Frequenzanteile die viel höher oder niedriger sind als ω_0 . Der Mischer multipliziert nun U_{sig} mit einem Referenzsignal U_{ref} mit der Frequenz ω_0 . Damit die Phasen synchron sind ($\Delta\phi = 0$), wird die Phasenlage ϕ des Referenzsignals mithilfe des Phasenschiebers variiert. Der Tiefpass ($\tau = RC \gg \frac{1}{\omega_0}$) integriert nun $U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}}$ über mehrere Perioden, wodurch das Rauschen größtenteils herausgemittelt wird. Am Ausgang wird somit eine Gleichspannung $U_{\text{out}} \propto U_0 \cos\phi$ erreicht. Wird die Zeitkonstante $\tau = RC$ des Tiefpasses sehr groß gewählt, so wird die Bandbreite des Restrauschen $\nu = \frac{1}{\pi RC}$ sehr klein. Somit können Güten von bis zu $Q = 100000$ erreicht werden.

In Abbildung 2 ist ein beispielhafter Signalverlauf einer Sinusspannung dargestellt mit

$$U_{\text{sig}} = U_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

Diese kann mit einer rechteckförmigen Referenzspannung mit gleicher Frequenz moduliert werden. Die Amplitude ist dabei auf 1 normiert. Mithilfe einer Fourier-Transformation ergibt sich:

$$U_{\text{ref}} = \frac{4}{\pi} \left(\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right) \quad (2)$$

Diese Reihe ist aus den ungeraden Harmonischen der Grundfrequenz ω zusammengesetzt. Die geraden Oberwellen von ω ergeben sich nun aus dem Produkt von Signal- und Referenzfrequenz:

$$U_{\text{sig}} \times U_{\text{ref}} = \frac{2}{\pi} U_0 \left(1 - \frac{2}{3} \cos(2\omega t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega t) - \frac{2}{35} \cos(6\omega t) + \dots \right) \quad (3)$$

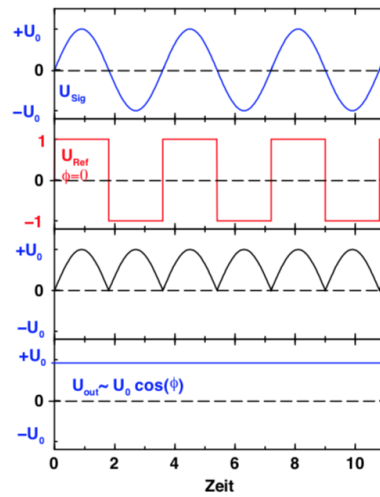


Abbildung 2: Beispielverläufe der Spannungen. [1]

Der Tiefpass unterdrückt nun diese Oberwelle, wodurch sich die zur Eingangsspannung proportionale Gleichspannung

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \quad (4)$$

ergibt. Bei einer Phasendifferenz ergibt sich:

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cos(\phi) \quad (5)$$

Den Maximalwert der Ausgangsspannung wird bei der Phase $\phi = 0$ erreicht.

3 Aufbau und Durchführung

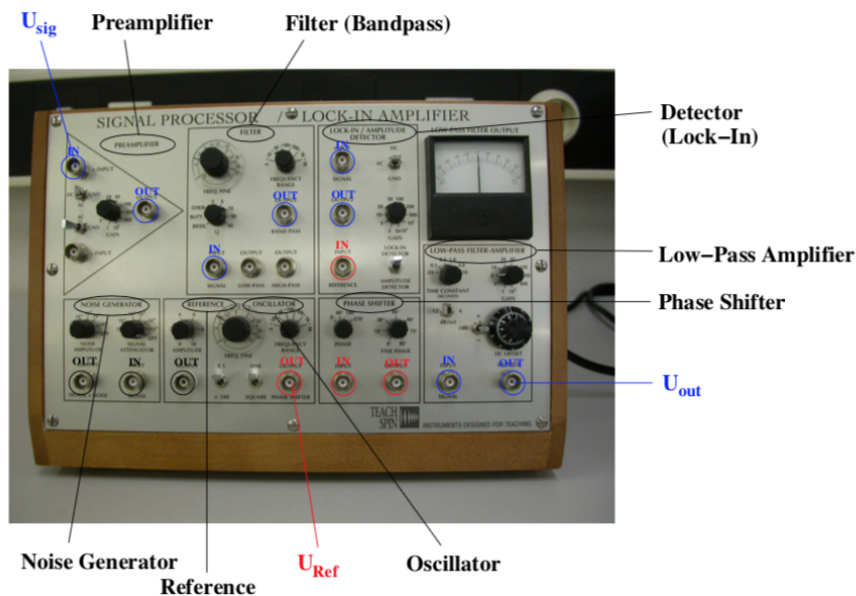


Abbildung 3: Lock-In-Verstärker, [1].

In Abbildung 3 ist die Messapparatur zu sehen. Zu benutzen sind die Vorverstärker, die verschiedenen Filter (Hoch-, Tief- und Bandpass), der Lock-In-Detektor, ein Phasenverschieber, ein Funktionsgenerator, ein Rauschgenerator, sowie ein Tiefpass-Verstärker. Zudem können mit einem Speicher-Oszilloskop alle Signale einzeln vermessen und abgespeichert werden.

Zu Beginn wird untersucht, welcher Ausgang des Funktionsgenerators variierbare Spannungsamplituden generiert und welcher Ausgang eine konstante Spannung und wie groß diese ist.

Danach wird die Schaltung aus Abbildung 4 aufgebaut. Der Noise Generator ist dabei überbrückt, bzw. auf OFF. Es wird eine Sinusspannung U_{sig} von ca. 1kHz und 10mV angelegt und mit einem Sinussignal (U_{ref}) gemischt. Dabei soll vor allem die Ausgangsspannung in Abhängigkeit zur Phasenverschiebung gemessen werden. Die Messwerte werden hier jedoch, anders als in der Abbildung 4 zu sehen, hinter dem Tiefpass abgegriffen, also nachdem sie durch den Tiefpass gelaufen sind. Bei jeder Messung wurde ein Bild des Oszilloskopbildschirms bei verschiedenen Phasenverschiebungen aufgenommen (siehe Auswertung).

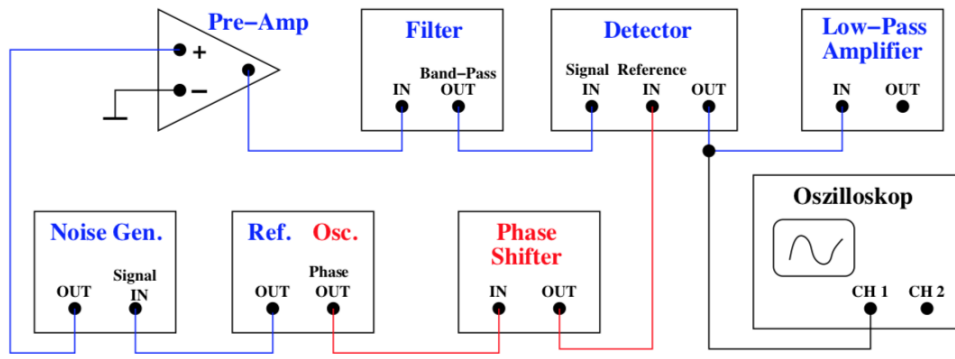


Abbildung 4: Schaltung zur Messung des Ausgangssignals in Phasenabhängigkeit, [1].

Nun wird ein zusätzliches Rauschsignal mithilfe des Noise Generators angelegt. Dieses Rauschsignal soll in der Größenordnung der Signalspannung liegen.

Zum Schluss wird eine Photodetektorschaltung wie in Abbildung 5 aufgebaut.

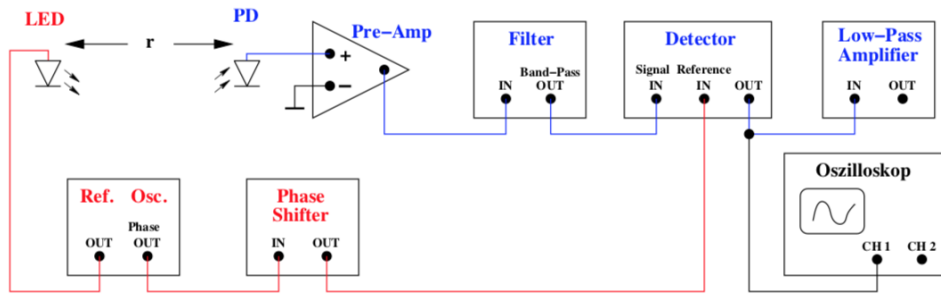


Abbildung 5: Schaltung zur Messung der Leuchtstärke der LED in Abhängigkeit zum Abstand r , [1].

An die Leuchtdiode (LED) wird eine Rechteckspannung angelegt und somit mit 50 Hz bis 500 Hz zum blinken gebracht. Mithilfe einer Photodiode wird nun die Lichtintensität der LED gemessen. Die Messwerte am Lock-In-Verstärker werden jedoch, wie im vorherigen Versuchsteil, hinter dem Tiefpass abgegriffen. Dabei wird der Abstand r zur LED variiert um die Abhängigkeit der Intensität der LED zum Abstand r und den maximalen Abstand r_{\max} , bei dem das Licht nachgewiesen werden kann, zu ermitteln.

4 Auswertung

4.1 Abhängigkeit der Ausgangsspannung von der Phasenverschiebung

In den folgenden Abbildungen werden die Spannungsverläufe für einzelne Phasen aufgezeigt. Hierbei werden Phasenunterschiede von $\varphi = 90^\circ$, 135° , 180° , 225° und 270° dargestellt.

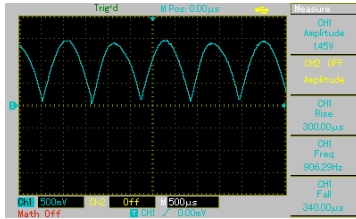


Abbildung 6: $\varphi = 90^\circ$

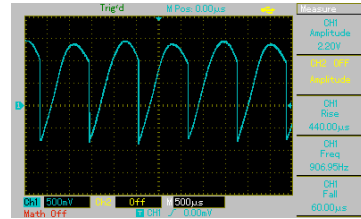


Abbildung 7: $\varphi = 135^\circ$

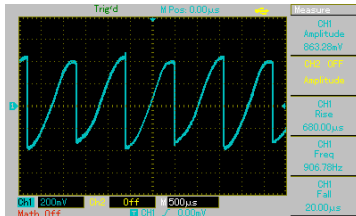


Abbildung 8: $\varphi = 180^\circ$

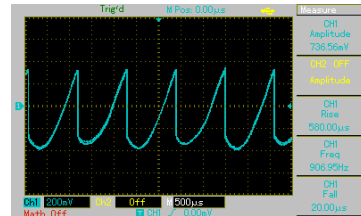


Abbildung 9: $\varphi = 225^\circ$

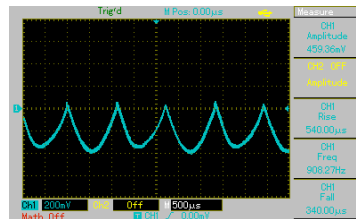


Abbildung 10: $\varphi = 270^\circ$

In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Amplituden bei verschiedenen Phasendifferenzen, einmal mit und einmal ohne Störsignal (Rauschen), aufgezeigt.

Aus der Tabelle 1 ergibt sich der Graph 11.

Diese Funktion hat die Grundform

$$y = A \cdot \sin(B \cdot x + C) + D \quad (6)$$

Dabei ist y gegeben durch die Amplitude U_A und x durch die Phasenverschiebung φ . Mittels Regression ergeben sich folgende Werte für die Parameter.

$$A = (-6.996 \pm 0.009) \text{ V}$$

Tabelle 1: Phasenunterschied ohne Rauschen. **Tabelle 2:** Phasenabhängigkeit mit Rauschen.

$\varphi/^\circ$	U_A/V
0	-3,8
15	-4,4
30	-5,6
45	-6,2
60	-6,2
75	-5,6
90	-4,8
105	-3,6
120	-2,6
135	-0,6
150	2,0
165	3,8
180	5,0
195	6,0
210	6,8
225	7,6
240	7,6
255	7,0
270	6,2
285	5,2
300	4,0
315	1,8
330	-0,6
345	-2,4
360	-3,8

$\varphi/^\circ$	U_A/mV
0	-108
15	-136
30	-190
45	-198
60	-178
75	-168
90	-138
105	-106
120	-54
135	34
150	82
165	122
180	140
195	150
210	180
225	198
240	224
255	216
270	200
285	180
300	140
315	80
330	0
345	-64
360	-96

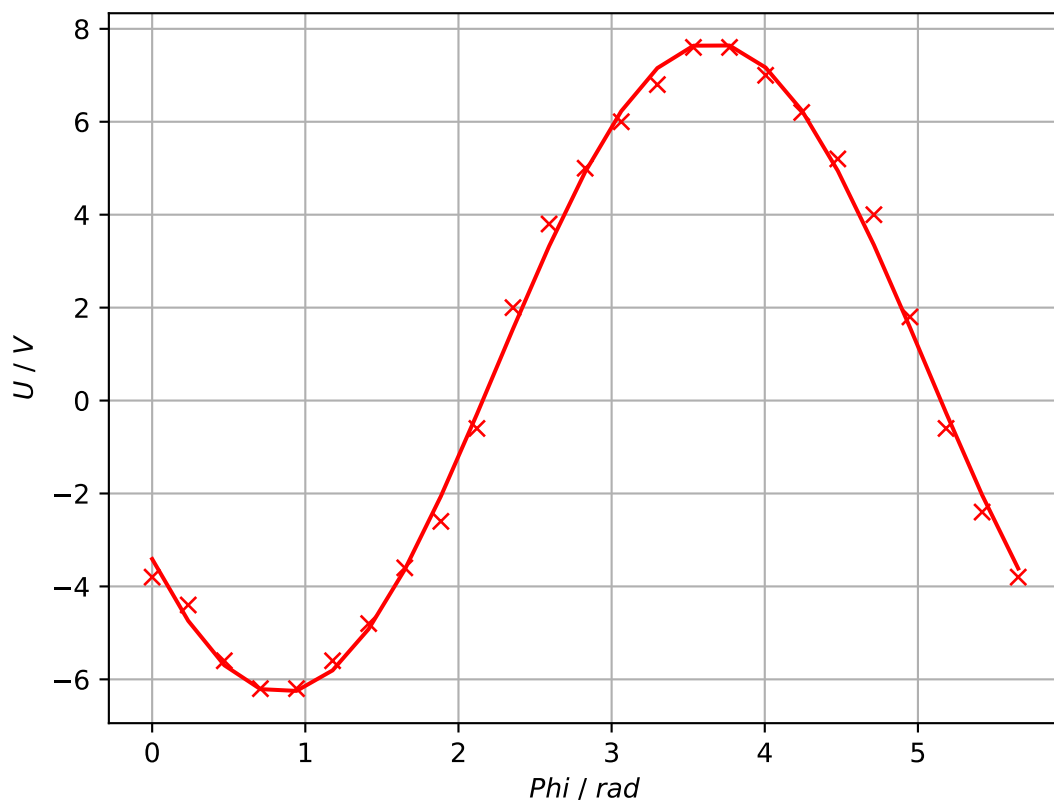


Abbildung 11: Phasenabhängigkeit der Amplitude ohne Störsignal

$$B = (1.117\,60 \pm 0.000\,07) \, 1/\text{m}$$

$$C = 0.6287 \pm 0.0009$$

$$D = (0.704 \pm 0.005) \, \text{V}$$

Daraus lässt sich nun nach (5) und dem Parameter A , der die resultierende Gleichspannung U_{out} darstellt, die Eingangsspannung U_0 bestimmen.

$$U_0 = \frac{\pi}{2} U_{\text{out}} \quad (7)$$

Somit ergibt sich $U_0 = 10.99 \, \text{V}$.

Aus der Tabelle 2 ergibt sich folgender Graph für die Phasenabhängigkeit mit Störsignal. Diese Ausgleichsfunktion hat ebenfalls die Form (6) und es ergeben sich durch Regression andere Parameter.

$$A = (-0.205\,00 \pm 0.000\,03) \, \text{V}$$

$$B = (1.0736 \pm 0.0004) \, 1/\text{m}$$

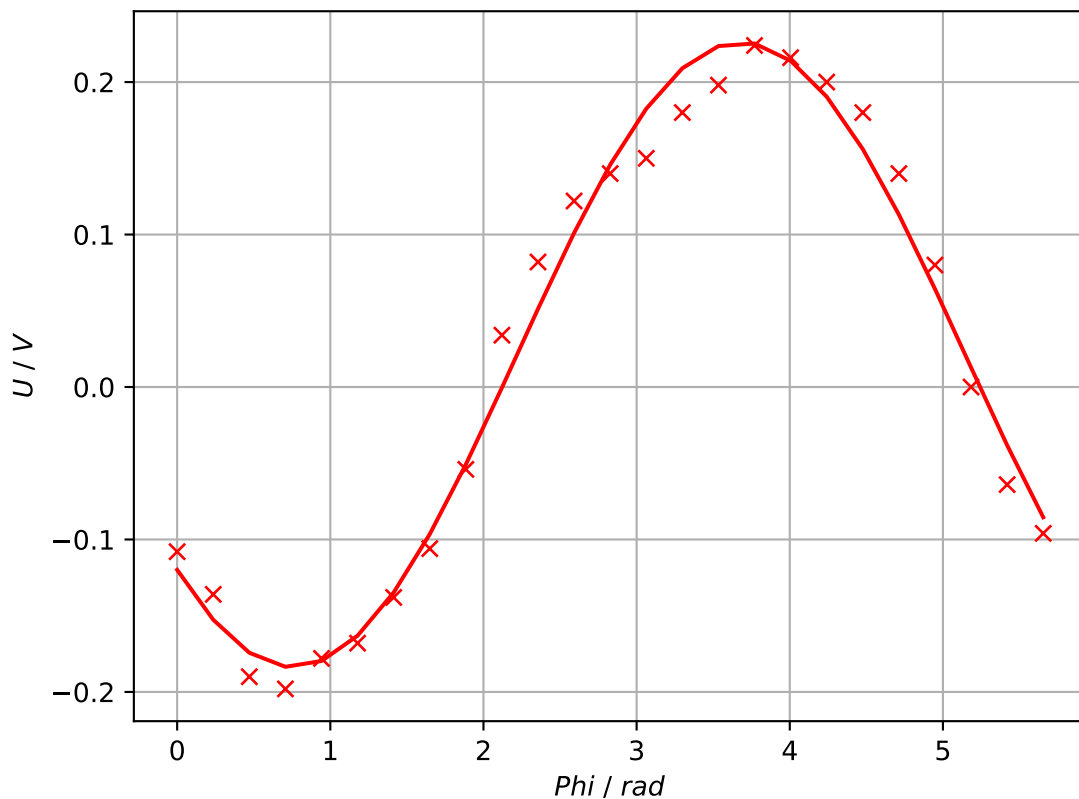


Abbildung 12: Phasenabhängigkeit der Amplitude mit Störsignal

$$C = 0.759 \pm 0.005$$

$$D = (0.021\,20 \pm 0.000\,02) \text{ V}$$

Aus (5) und (7) lässt sich nun die Eingangsspannung auf $U_0 = 0.31 \text{ V}$ bestimmen.

4.2 Rauschunterdrückung mit einer Photodektorschaltung

In der Tabelle 3 werden die Messwerte des Abstandes vom Detektor zur LED und der dazugehörigen gemessenen Spannung am Detektor, die die Intensität widerspiegelt, aufgetragen.

Tabelle 3: Abhängigkeit der Intensität vom Abstand r .

Abstand r/cm	U/V
6	5.8
7	5.8
8	5.8
9	5.6
10	5.6
11	5.6
12	5.6
13	5.4
14	5.4
15	5.6
17	5.8
19	5.8
21	5.6
23	4.8
25	4.2
27	3.6
29	3.2
31	2.8
33	2.6
35	2.4
37	2.2
40	2.0
45	1.6
50	1.6
55	1.4
60	1.2
65	1.2
70	1.0
80	1.0
90	1.0
100	1.0

Allgemein folgt für die Funktion

$$y = A \frac{1}{r^2} + B \quad (8)$$

Dabei ist y die Intensität bzw. die gemessene Spannung und r der Abstand zwischen der LED und des Detektors. Durch Regression ergeben sich folgende Parameter.

$$A = (1750.53 \pm 8503.20) \text{ V} \cdot \text{m}^2$$

$$B = (0.916 \pm 0.016) \text{ V}$$

Damit ergibt sich der folgende Graph.

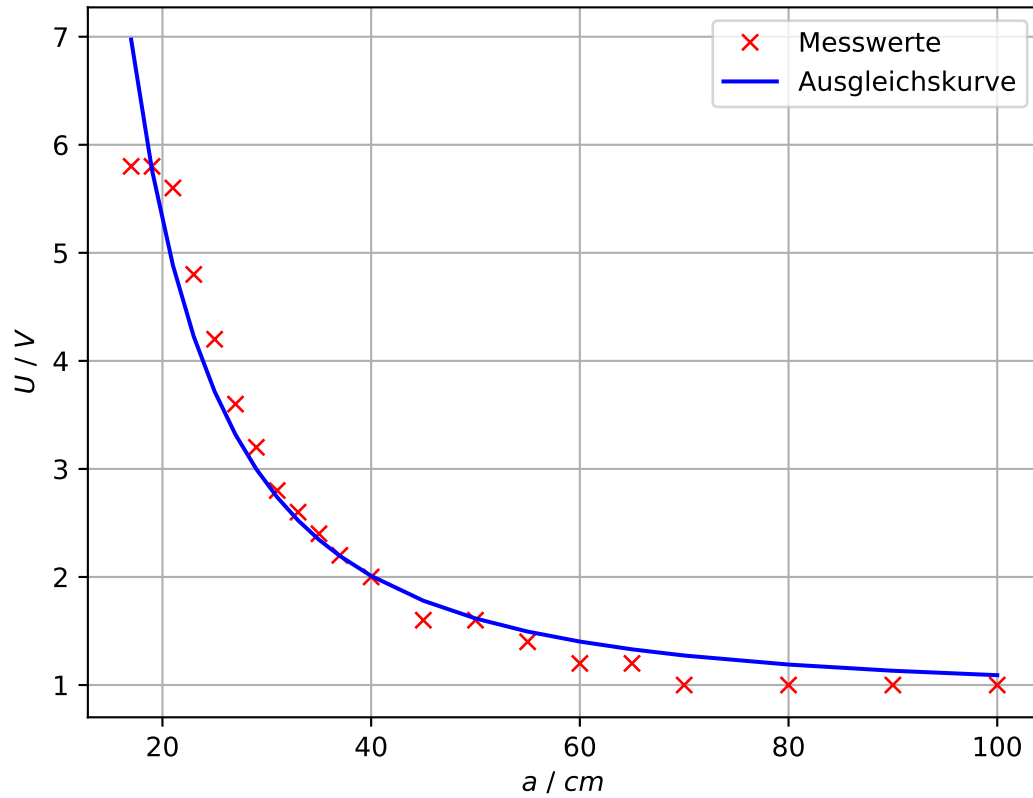


Abbildung 13: Intensität in Abhängigkeit vom Abstand zur LED

Der maximale Abstand r_{max} konnte experimentell nicht bestimmt werden, da die Möglichkeiten der Messapparaturen nicht ausreichend waren. Es ergibt sich mit der Regression und der Annahme, dass die Steigung bei größer werdendem Abstand nahezu konstant ist der Wert

$$r_{\text{max}} = 182.5 \text{ cm} \quad (9)$$

5 Diskussion

Der Versuch verifiziert die Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers. Das erzeugte Rauschen wurde sehr gut herausgefiltert, was in den Thermoabdrücken gut erkennbar ist. Die Abdrücke mit und ohne Rauschen erscheinen identisch. Dies spricht für eine hohe Güte des Lock-In-Verstärkers. Auch ist die Phasenverschiebung ist sehr genau, was die Funktionsweise des Gleichrichters ebenfalls verifiziert. Zum Schluss sollte die Funktionsweise der Rauschunterdrückung des Lock-In-Verstärkers anhand einer Photodektorschaltung überprüft werden. Bei kurzem Abstand wurden die Messwerte stark durch Reflexion am Metall der Halterung verfälscht. Aus diesem Grund wurden die ersten Werte auf kurzem Abstand bei der grafischen Auswertung nicht beachtet. Bei den restlichen Werten ist ein quadratischer Abfall der Lichtintensität mit zunehmendem Abstand r gut erkennbar. Dies lässt darauf schließen, dass der restliche Lichteinfall, ein Störsignal/Rauschen, erfolgreich herausgefiltert wurde. Ein maximaler Abstand konnte nicht ermittelt werden, da die Länge der Messvorrichtung dafür nicht ausreichte. Abschließend kann gesagt werden, dass der hier untersuchte Lock-In-Verstärker sehr gut zur Messung stark verrauschter Signale verwendet werden kann.

6 Literatur

[1] TU Dortmund. Versuchsanleitung zum Experiment V303 - Versuch E2: Der Lock-In-Verstärker. 2018.