

V303 Lock-In-Verstärker

Katharina Brägelmann Tobias Janßen
katharina.braegelmann@tu-dortmund.de
tobias2.janssen@tu-dortmund.de

Durchführung: 22. Dezember 2017, Abgabe: 13. Januar 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Aufbau und Durchführung	5
4	Auswertung	7
4.1	Verifizierung des Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers	7
4.2	Überprüfung der Rauschunterdrückung mit dem Photodetektor	17
5	Diskussion	19

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärker zu verstehen.

2 Theorie

Ein Lock-In-Verstärker besteht aus einem Bandpassfilter, einem Phasenschieber und einem Tiefpassfilter. Das eingehende, rauschende Signal U_{sig} mit der Frequenz ω_0 wird vom Bandpassfilter von hohen ($\omega \gg \omega_0$) und tiefen ($\omega \ll \omega_0$) Frequenzen befreit.

Durch den Phasenschieber wird die Spannung U_{ref} auf die geeignete Phase gebracht ($\Delta\phi = 0$).

Am Mischer werden die beiden Signale multipliziert.

Anschließend dient ein Tiefpassfilter ($\tau = RC \gg \frac{1}{\omega_0}$) als Integrator des Mischsignals ($U_{sig} \times U_{ref}$). Die Rauschbeträge werden bei dem Vorgang weitestgehend herausgemittelt. Als Ausgangsspannung ergibt sich dann $U_{out} \propto U_0 \cos\phi$. Durch eine große Zeitkonstante $\tau = RC$ erreicht man, dass man den Bandpass beliebig klein machen kann. So kann eine Güte von $Q = 100000$ erreicht werden. Ein einzelner Bandpass erreicht eine Güte von $Q = 1000$.

In der Abbildung 1 ist ein Signalverlauf einer Sinusspannung dargestellt ($U_{sig} = U_0 \sin(\omega t)$). Diese wird durch einen auf 1 normierte Rechteckspannung der selben Frequenz moduliert. Durch eine Fourierreihe kann die Rechteckspannung angenähert werden. Dabei werden nur die ungeraden harmonischen Grundfrequenzen genutzt.

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

Für das Produkt aus Signal- und Modulationsfrequenz werden nun die geraden Oberwellen der Grundfrequenz benutzt. Daraus ergibt sich:

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

Die Oberwellen werden wiederum vom nachgeschalteten Tiefpass unterdrückt. Daraus ergibt sich eine Gleichspannung welches proportional zum Eingangssignal ist.

$$U_{out} = \frac{2}{\pi} U_0 \cos \phi. \quad (3)$$

Sind U_{sig} und U_{ref} in Phase, also

$$\phi = 0,$$

ergibt sich

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

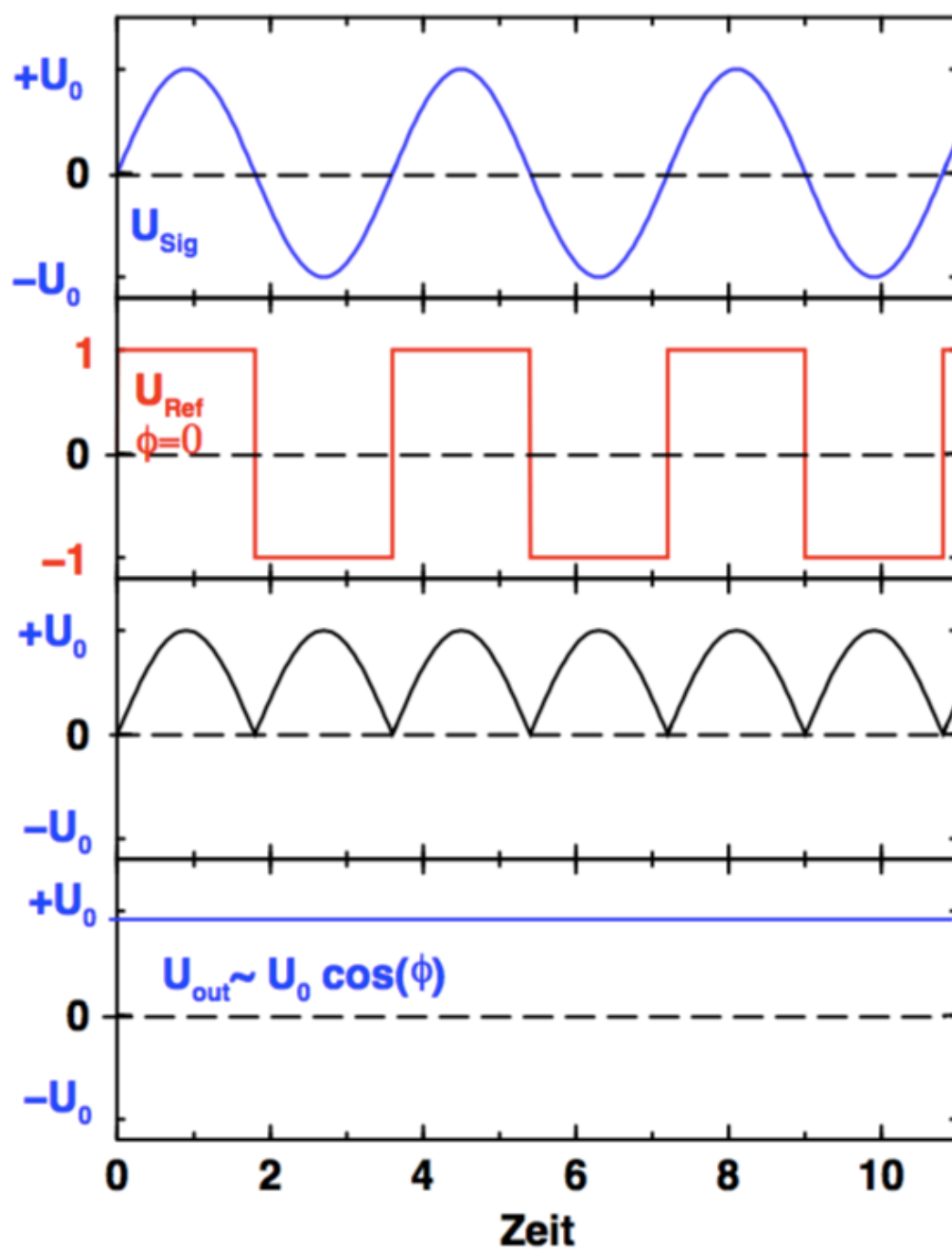


Abbildung 1: Signalverläufe [1]

3 Aufbau und Durchführung

Die Messapparatur ist wie folgt vorgegeben:

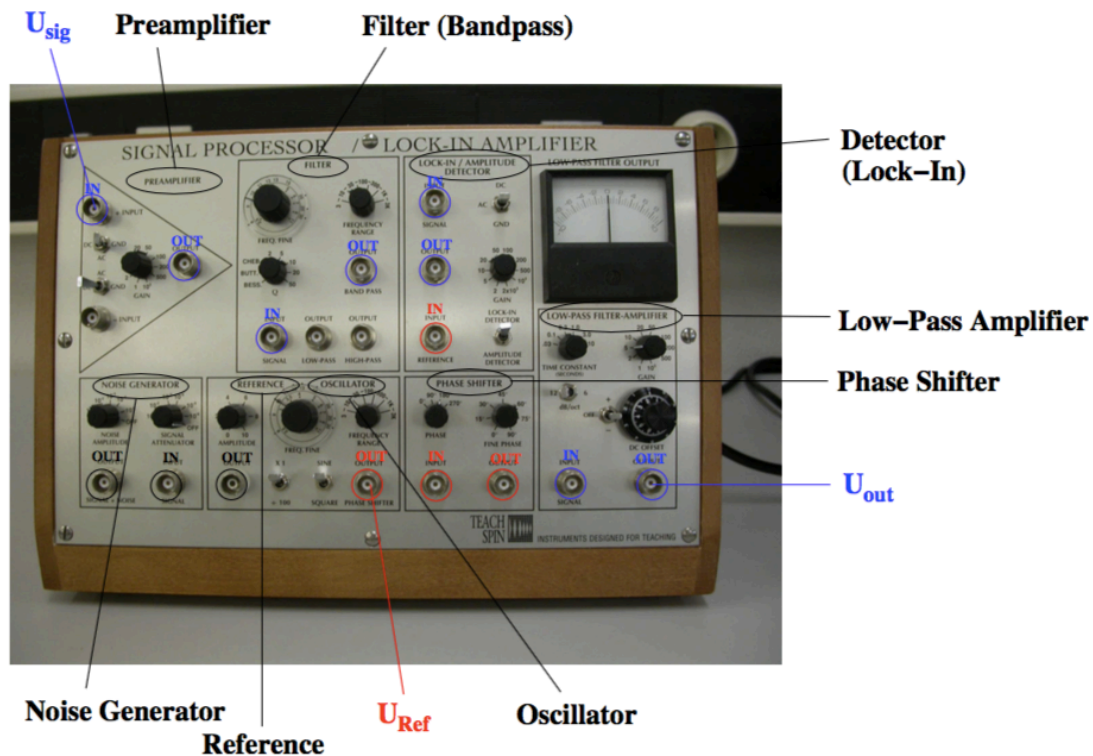


Abbildung 2: Lock-In-Verstärker

Darin sind ein Vorverstärker, ein Bandpass-Filter, ein Lock-In-Detektor, ein Störgenerator, ein Funktionsgenerator, ein Phasenschieber und ein Tiefpass-Verstärker verbaut. Außerdem ist ein Oszilloskop vorhanden.

Zunächst wird geprüft, welcher Ausgang des Funktionsgenerators eine veränderliche Amplitude generiert und welcher eine konstante Amplitude generiert. Der Ausgang "Reference Out" liefert eine veränderliche Amplitude, der Ausgang "Oscillator Phase Out" gibt eine konstante Amplitude von $U_{osc} = 2,28 \text{ V}$.

Zur Verifizierung der Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers wird der Versuchsaufbau zur Schaltung in Abbildung 3 gesteckt.

Der Störgenerator wird jedoch zunächst überbrückt. Es wird eine Sinusspannung U_{ref} mit dem Funktionsgenerator generiert.

Die Ausgangsspannung wird für fünf verschiedene Phasenverschiebungen gespeichert. Für zehn verschiedene Phasen wird die Amplitude gemessen und aufgetragen.

Der Störgenerator wird zugeschaltet. Die weiteren Einstellungen der Schaltung werden beibehalten. Die Amplitude wird für zehn Phasen gemessen und die Ausgangsspannungen

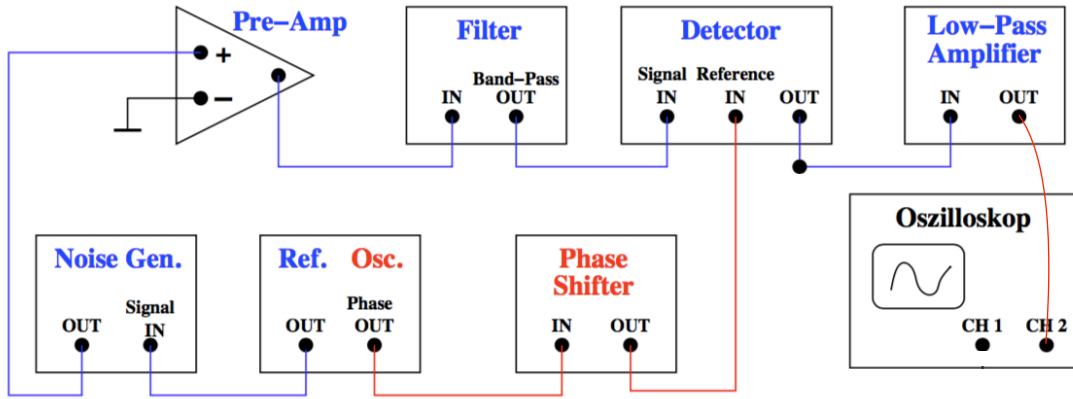


Abbildung 3: Schaltung zur Verifizierung der Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers

werden für fünf Phasen gespeichert.

Für die Messung mit der Photodetektorschaltung wird eine Photodiode und ein Photodetektor in die Schaltung wie in Abbildung 4 eingebaut.

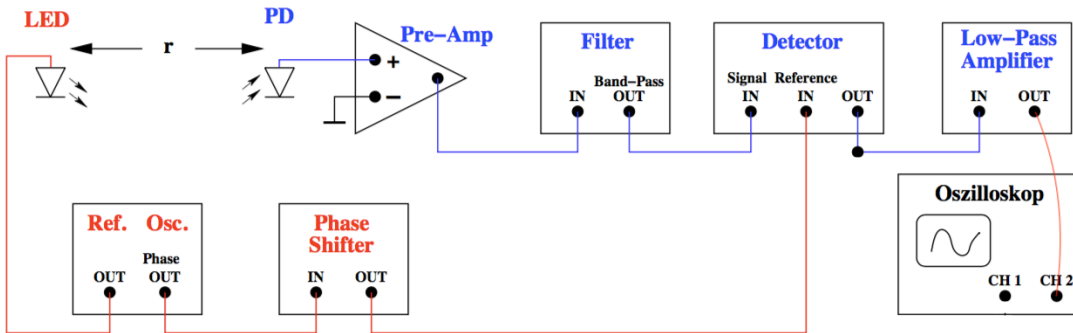


Abbildung 4: Schaltung zur Rauschunterdrückung mit dem Photodetektor

Die Diode wird auf eine Frequenz von $f = 199,6 \text{ Hz}$ und eine Spannung von $U = 2 \text{ V}$ eingestellt. Die Intensität U_I wird mit dem Abstand x zur Diode gemessen.

4 Auswertung

4.1 Verifizierung des Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers

Die Spannungen werden für die Phasenverschiebungen 0° , 90° , 180° , 270° und 315° gespeichert und in Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 zu sehen.

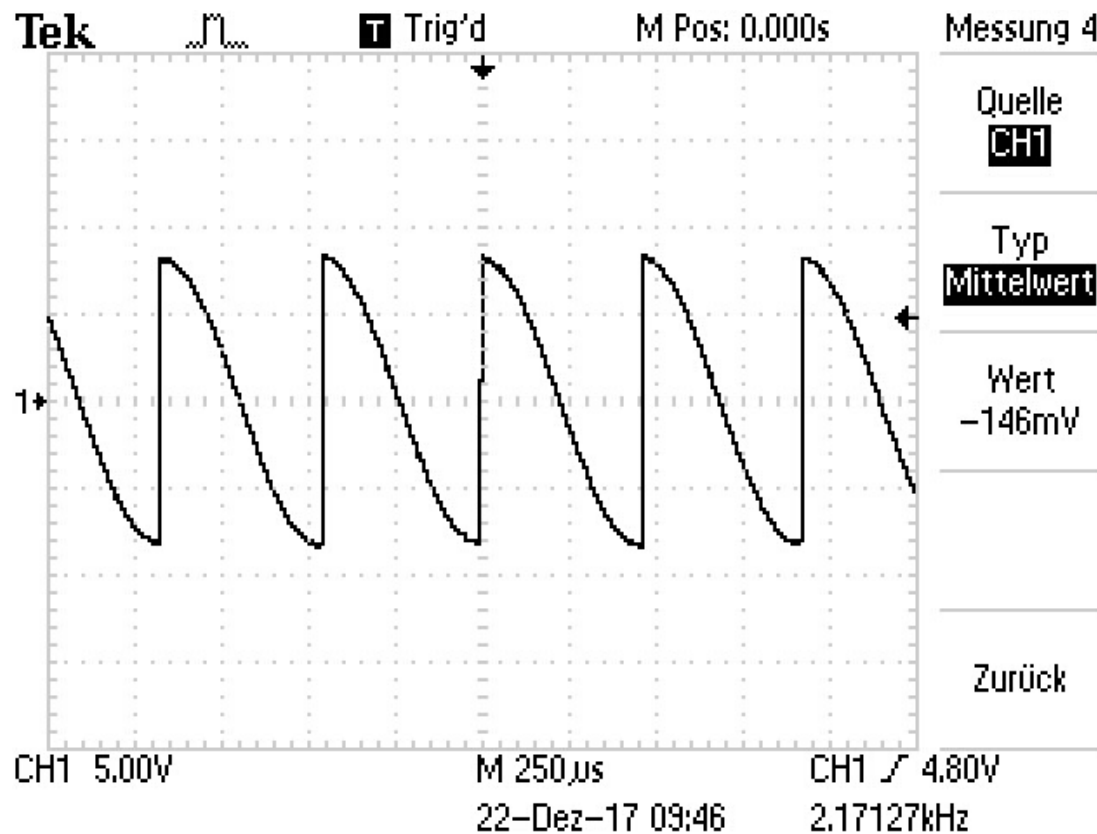


Abbildung 5: Spannung bei der Phasenverschiebung von 0°

Die Phasenverschiebung und die Amplitude sind in Tabelle 1 aufgetragen. Die Spannungen bei den Phasenverschiebungen 0° , 90° , 180° , 270° und 315° mit eingeschaltetem Störgenerator sind in Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.

Die Messwerte zu der Amplitude und der Phasenverschiebung sind in Tabelle 2 aufgetragen.

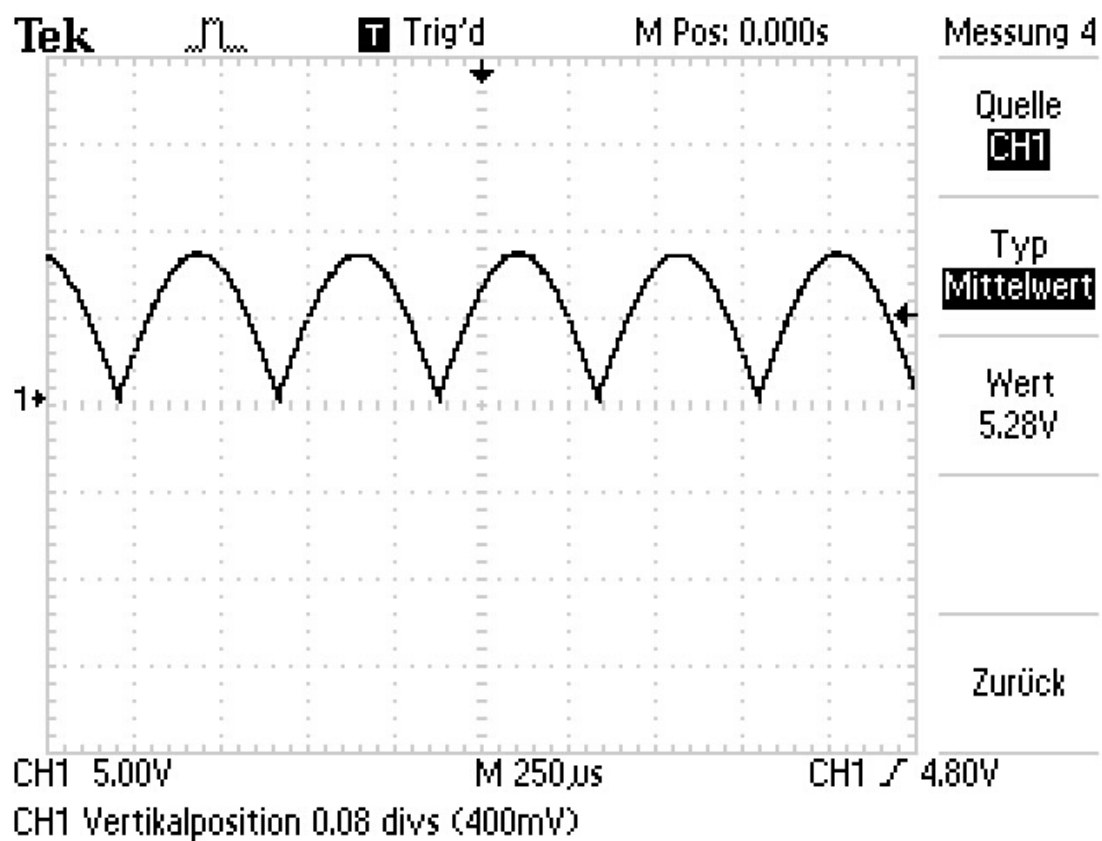


Abbildung 6: Spannung bei der Phasenverschiebung von 90°

Tabelle 1: Erste Messreihe zur Verifizierung der Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers

ϕ Grad	A V
0	-69,6
15	-82,0
45	-102,0
90	-76,0
135	-8,0
180	70,4
225	102,0
270	76,0
315	7,6
360	-68,8

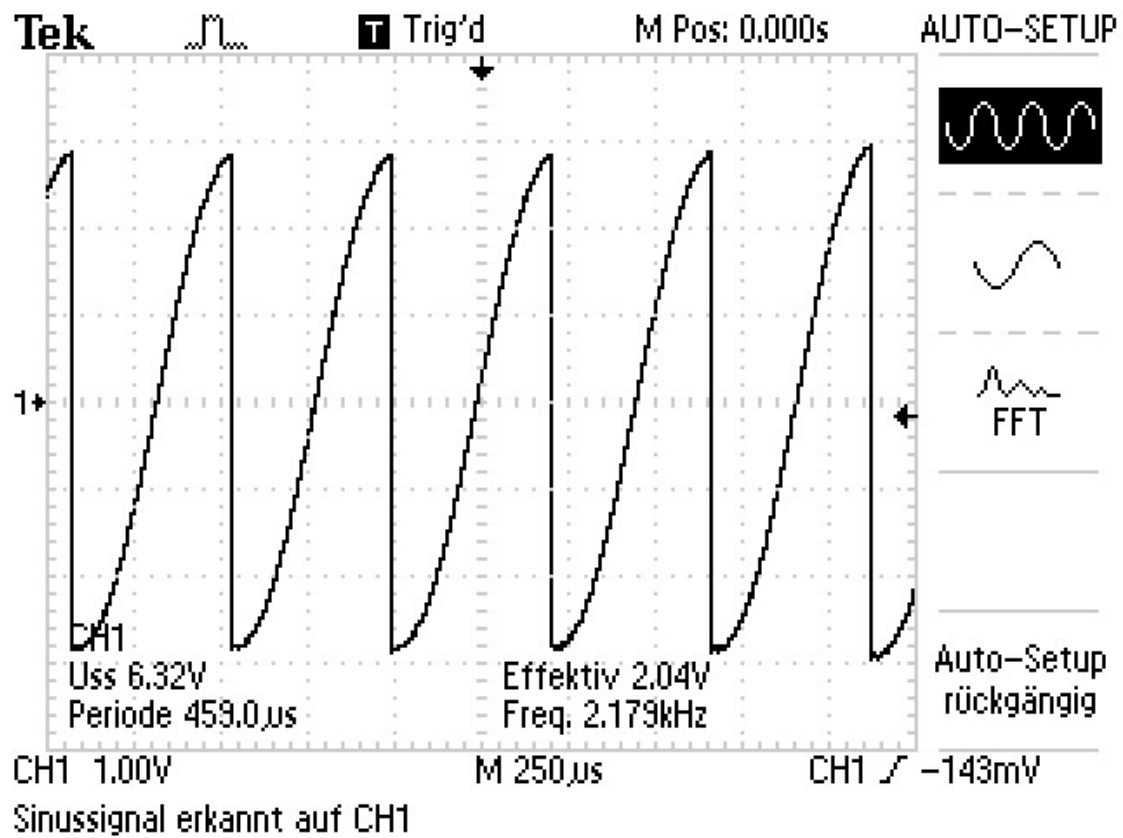


Abbildung 7: Spannung bei der Phasenverschiebung von 180°

Tabelle 2: Zweite Messreihe zur Verifizierung der Funktionsweise des Lock-In-Verstärkers

ϕ Grad	A V
0	-23,2
15	4,0
45	90,0
90	154,0
135	132,0
180	24,0
225	-86,0
270	-152,0
315	-128,0
360	-24,0

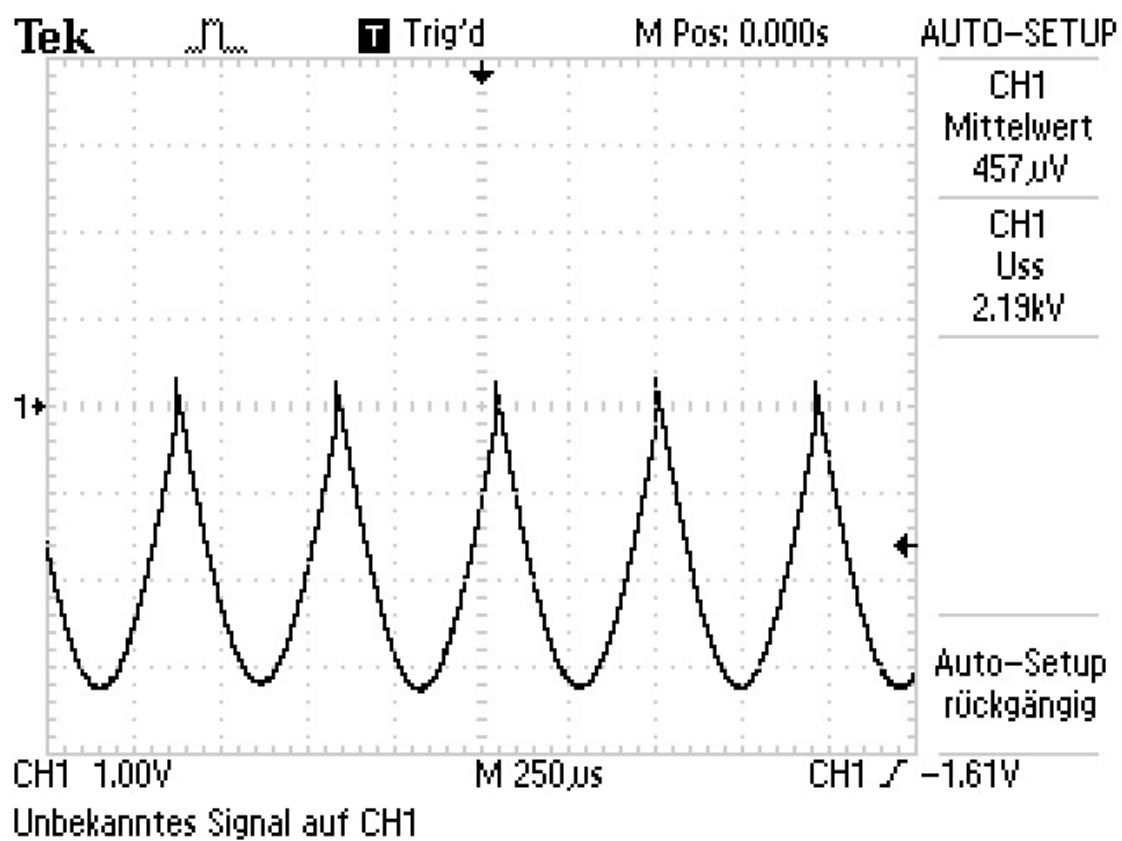


Abbildung 8: Spannung bei der Phasenverschiebung von 270°

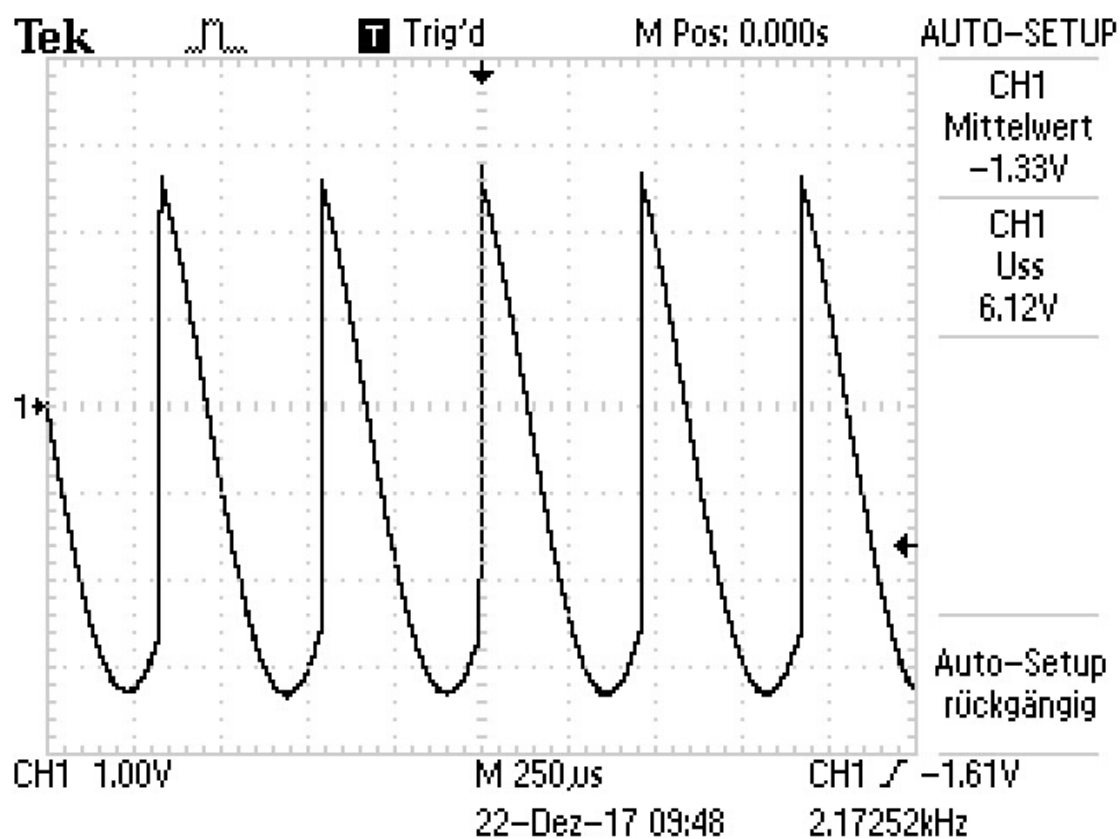


Abbildung 9: Spannung bei der Phasenverschiebung von 315°

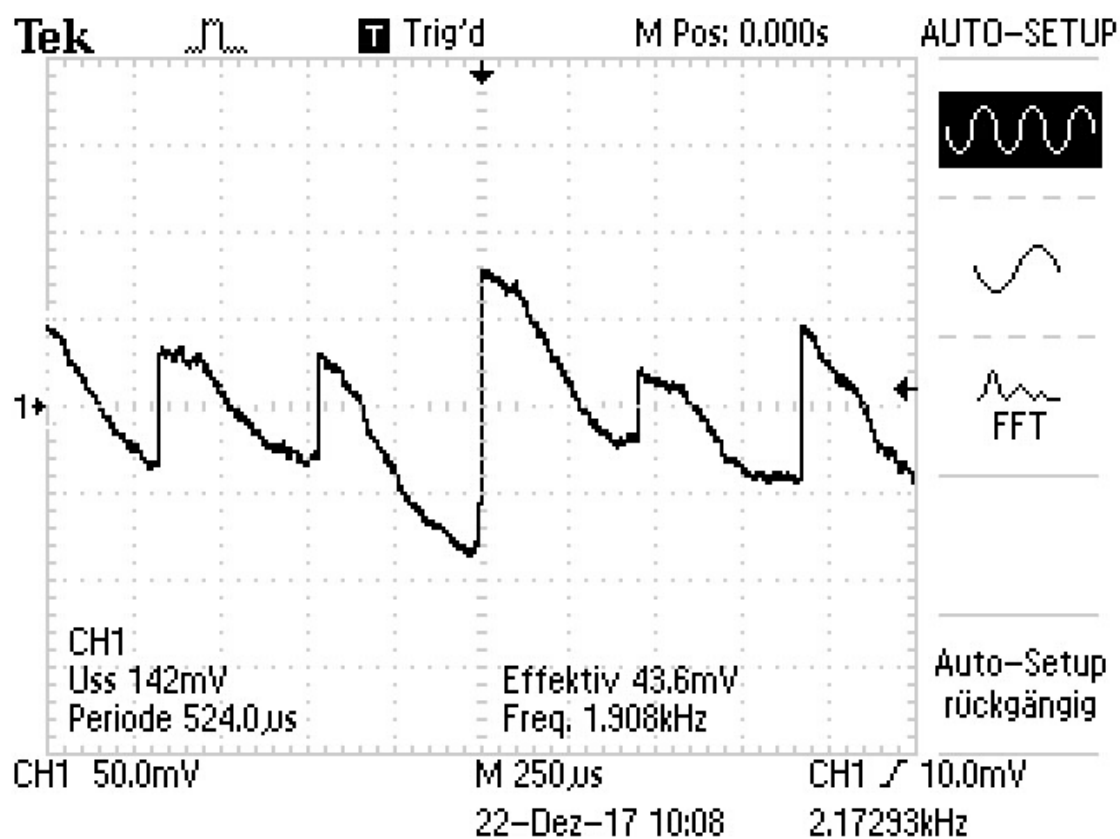


Abbildung 10: Spannung bei der Phasenverschiebung von 0° , mit Rauschen

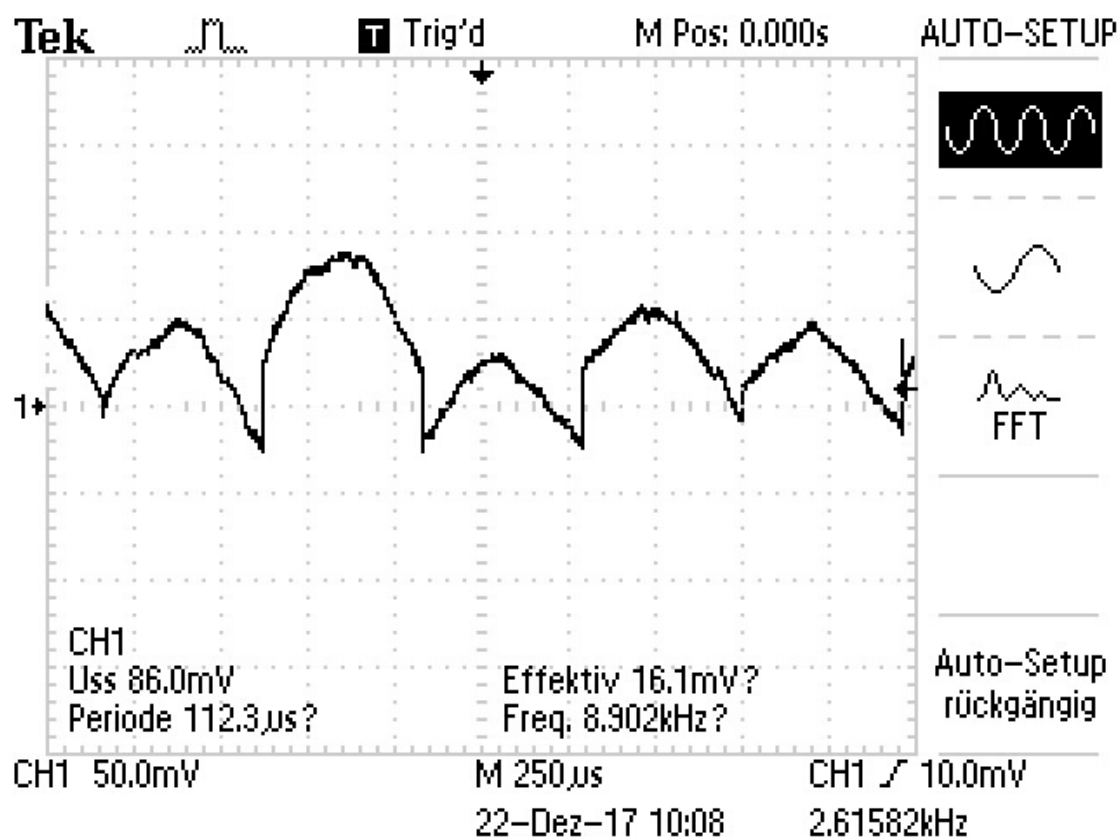


Abbildung 11: Spannung bei der Phasenverschiebung von 90° , mit Rauschen

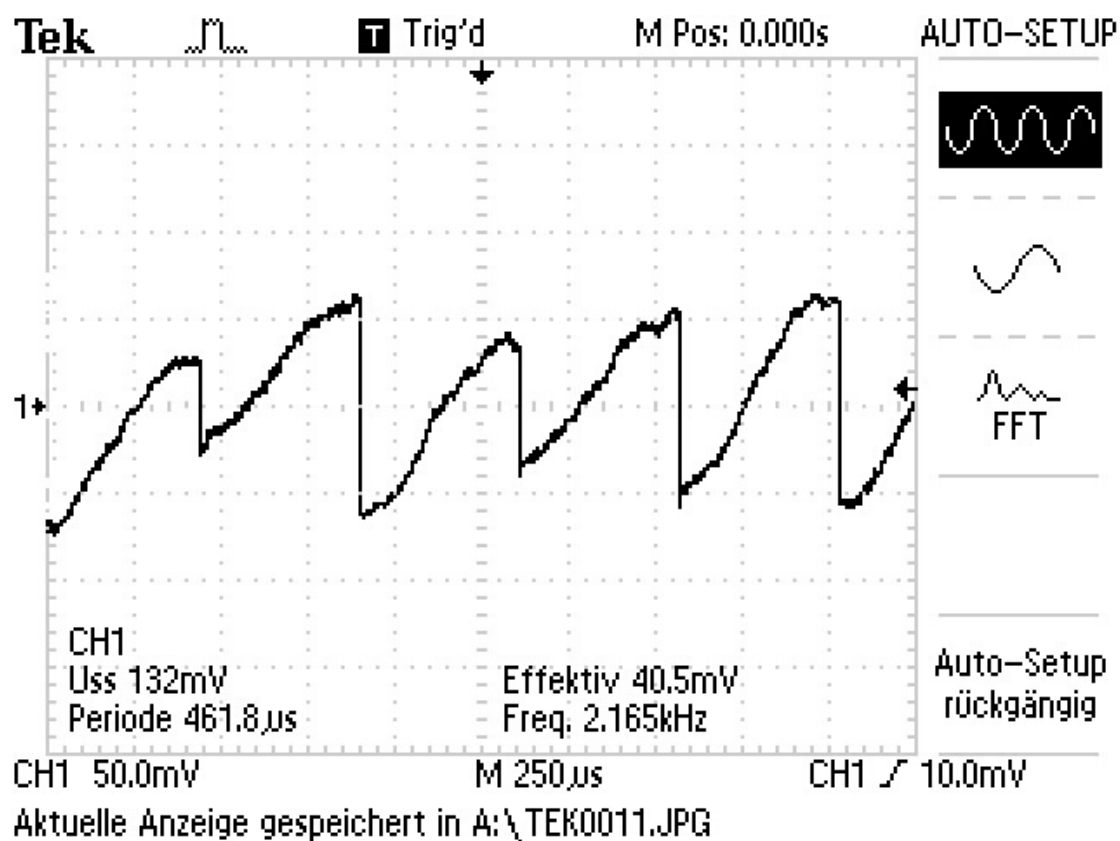


Abbildung 12: Spannung bei der Phasenverschiebung von 180°, mit Rauschen

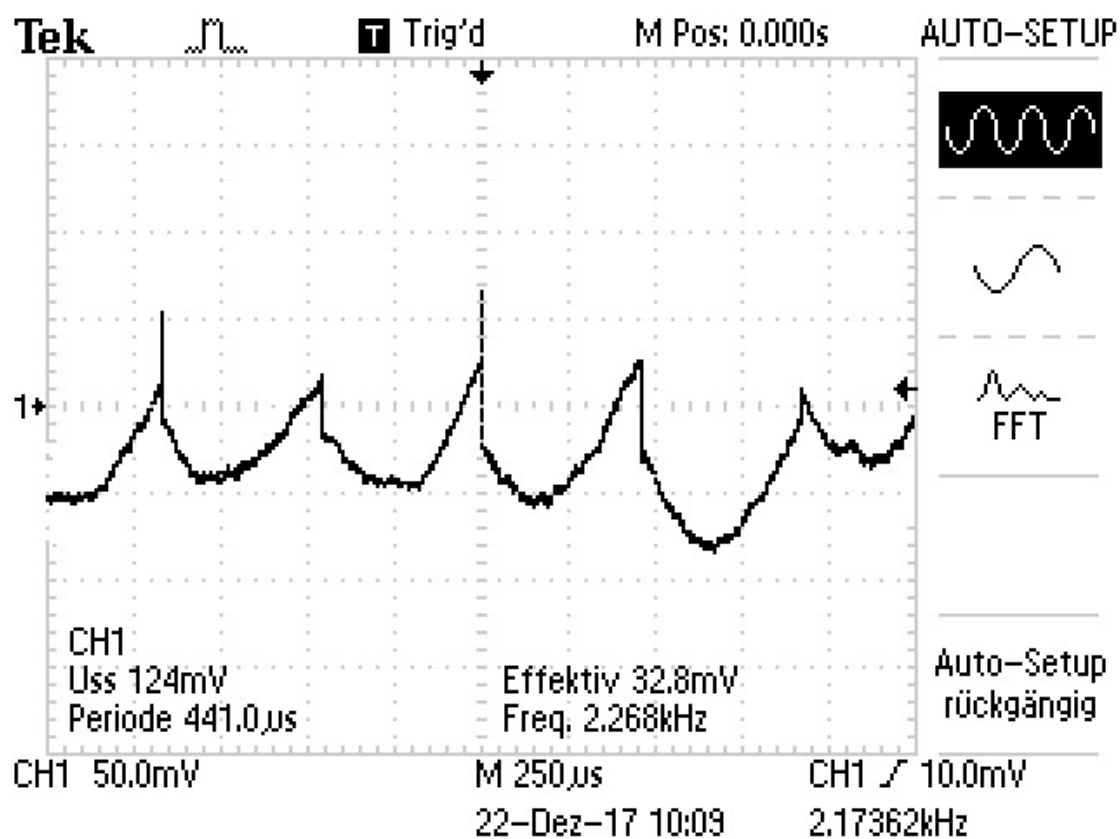


Abbildung 13: Spannung bei der Phasenverschiebung von 270° , mit Rauschen

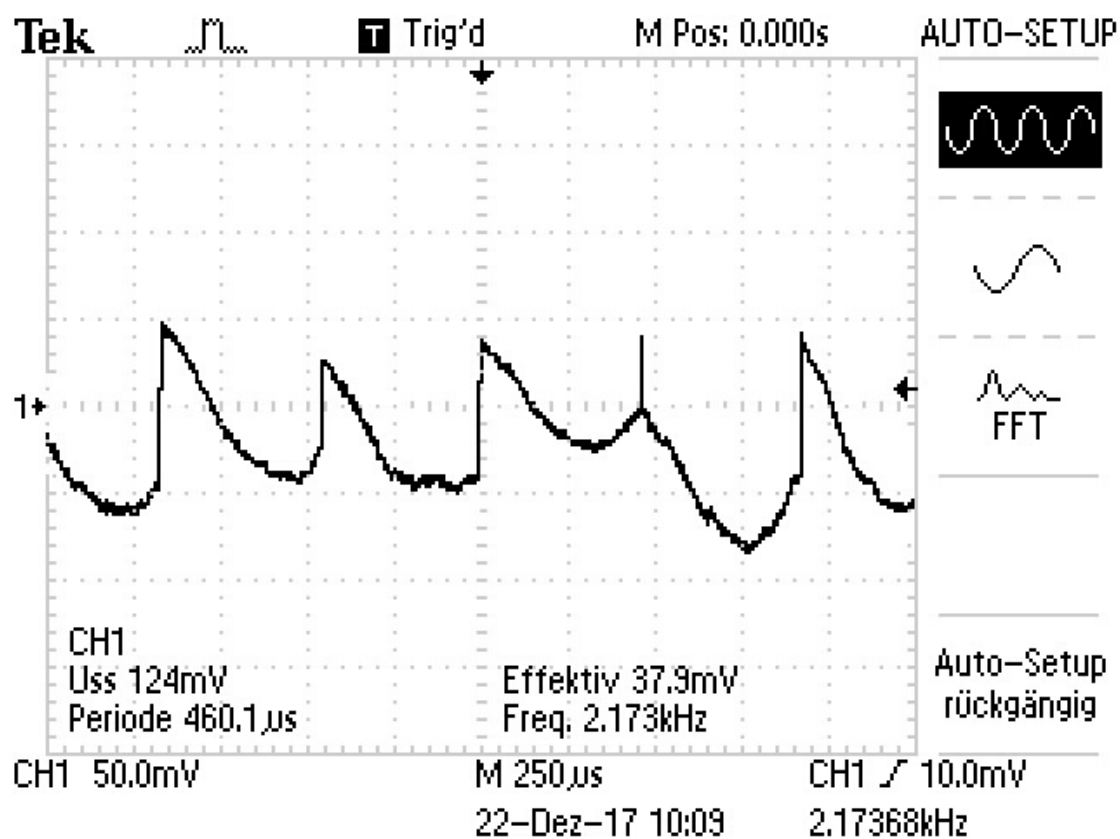


Abbildung 14: Spannung bei der Phasenverschiebung von 315° , mit Rauschen

4.2 Überprüfung der Rauschunterdrückung mit dem Photodetektor

Die Intensität U und der Abstand x zwischen der Diode und dem Detektor sind in Tabelle 3 und in Abbildung 15 zu finden.

In der Abbildung 15 wird die Funktion mit $\frac{1}{x^2}$ angenähert.

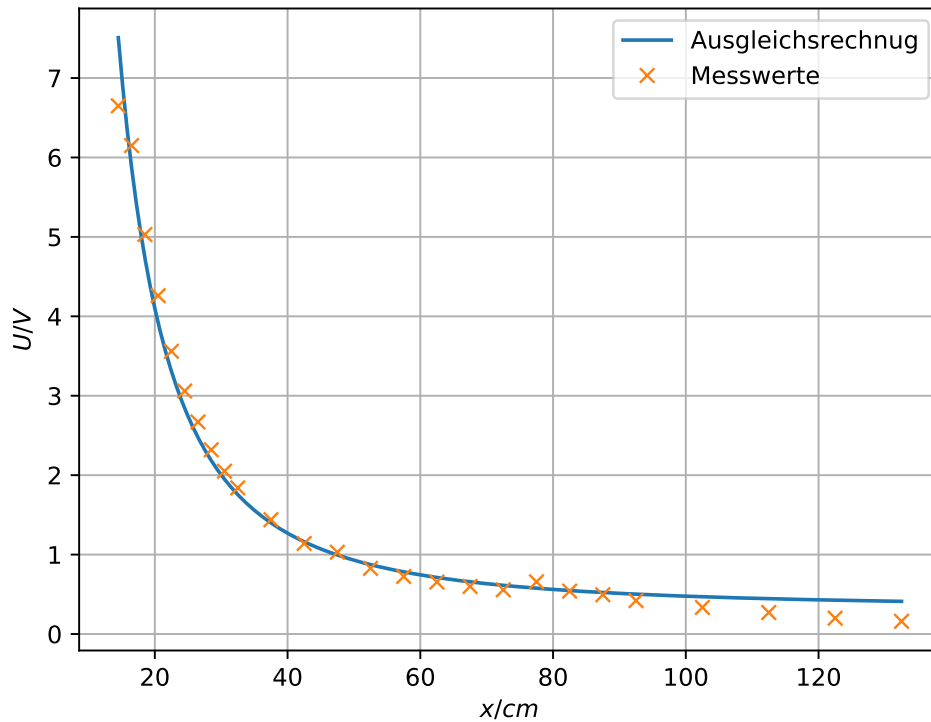


Abbildung 15: Intensität

Die Parameter der gefitteten Funktion lauten:

$$a = 1510.25 \pm 1.52$$

$$b = 325.25 \cdot 10^{-3} \pm 3.75 \cdot 10^{-3}$$

Der genaue, maximale Abstand kann nicht angegeben werden, da die Möglichkeiten der Messapparatur vollständig ausgeschöpft wurden. Die Steigung im Graphen ist bei den letzten Messungen annähernd konstant, daher wird $x_{max} = 132,5 \text{ cm}$ mit der Intensität $U_I = 0,160 \text{ V}$ gewählt.

Tabelle 3: Messung der Intensität mit der Photodetektorschaltung

x cm	U V
2,5	4,190
3,5	4,440
4,5	4,710
5,5	4,940
6,5	5,280
7,5	5,570
8,5	5,690
9,5	5,920
10,5	6,180
11,5	6,370
12,5	6,550
14,5	6,650
16,5	6,150
18,5	5,030
20,5	4,260
22,5	3,560
24,5	3,060
26,5	2,670
28,5	2,320
30,5	2,050
32,5	1,840
37,5	1,440
42,5	1,140
47,5	1,030
52,5	0,827
57,5	0,725
62,5	0,655
67,5	0,599
72,5	0,557
77,5	0,657
82,5	0,540
87,5	0,495
92,5	0,421
102,5	0,335
112,5	0,271
122,5	0,200
132,5	0,160

5 Diskussion

Der Versuch zeigt, dass ein Lock-In-Verstärker Störfrequenzen aus einer Spannung filtert und die gewünschte Spannung deutlich verstärkt. Die erste Messreihe zeigt die Spannungsverläufe ohne Störsignal. Werden diese Bilder der Spannungsverläufe mit den Spannungsverläufen mit Störsignal verglichen, fällt das Rauschen in den Bildern auf, aber die Form der ungestörten Spannung ist eindeutig wiederzuerkennen.

Die Messwerte zur Überprüfung der Rauschunterdrückung mit der Photodetektorschaltung sind teilweise stark verfälscht und werden daher nicht weiter beachtet. Das Problem ist, dass die Messwerte zunächst fallen und dann wieder ansteigen, dies entspricht aber nicht den physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die Vermutung liegt nahe, dass eine Lichtquelle, die nicht in das Experiment gehört, einen Einfluss auf den bewegten Photodetektor hat. Ein ähnliches Problem führt ebenfalls zu stark schwankenden Werten der Intensität. Das Ausschalten der Raumbeleuchtung zwischen der Aufnahme zweier Werte zeigt, dass die Raumbeleuchtung zu spontanen Intensitätsschwankungen von mehr als $U = 0,08 \text{ V}$ führt. Die Werte werden kontinuierlich mit dem Hintergrundrauschen der Raumbeleuchtung aufgenommen.