

VERSUCH 351

## **Der Lock-In-Verstärker**

Lars Kolk

`lars.kolk@tu-dortmund.de`

Julia Sobolewski

`julia.sobolewski@tu-dortmund.de`

Durchführung: 28.11.2017

Abgabe: 05.12.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

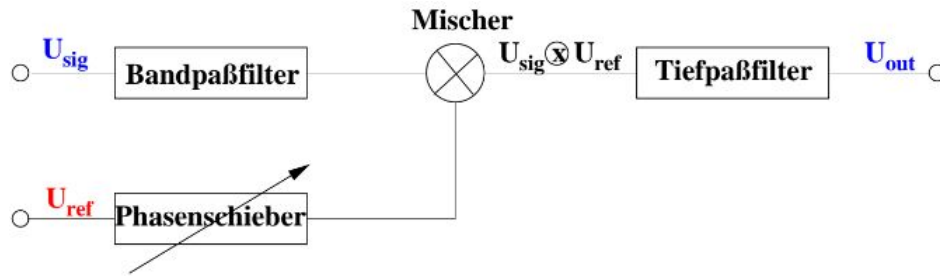
# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>3</b>
2.1	Messung des Ausgangssignals . . . . .	3
2.1.1	Ohne Noise . . . . .	3
2.1.2	Mit Noise . . . . .	4
2.1.3	LED . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1	Apparatekonstante . . . . .	5
3.2	Messung des Ausgangssignals . . . . .	5
3.2.1	ohne Noise . . . . .	5
3.2.2	mit Noise . . . . .	8
3.2.3	LED . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>11</b>
	<b>Literatur</b>	<b>12</b>

# 1 Theorie

**Ziel:** Es soll die Funktionsweise eines Lock-In-Verstärkers kennengelernt werden.

Ein Lock-In-Verstärker ist ein Verstärker mit integriertem phasenempfindlichem Detektor und kann für Messungen verrauschter Signale genutzt werden. Ein schematischer Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen:



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau des Lock-In-Verstärkers [1, S. 2]

Zunächst wird das Nutzsignal  $U_{\text{Sig}}$  mithilfe eines Bandpassfilters gefiltert. Dieser befreit  $U_{\text{Sig}}$  von Frequenzen  $\omega \gg \omega_0$  und  $\omega \ll \omega_0$ . Daraufhin wird das Nutzsignal  $U_{\text{Sig}}$  in einem Mischer mit der Referenzspannung  $U_{\text{ref}}(\omega_0)$  multipliziert. Die Phasenlage der Referenzspannung kann mit dem Phasenschieber angepasst werden. Zum Schluss wird das neu entstandene Signal durch einen Tiefpassfilter geschickt. Wird eine Referenzspannung durch eine Fourier-Analyse genähert, so muss der Tiefpassfilter so eingestellt sein, dass die Oberwellen, die sich aus dem Produkt aus Signal- und Modulationsfrequenz ergeben, unterdrückt werden. Der Tiefpassfilter integriert das Signal über mehrere Perioden und befreit dieses so von möglichen Störungen, sodass am Ausgang eine Spannung

$$U_{\text{out}} = \frac{2}{\pi} U_0 \cdot \cos(\phi) \quad (1)$$

gemessen werden kann. Beträgt die Phasenverschiebung 0, so ist die Ausgangsspannung maximal und es gilt:

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

## 2 Aufbau und Durchführung

### 2.1 Messung des Ausgangssignals

#### 2.1.1 Ohne Noise

Zunächst wird der Versuch entsprechend der Abbildung 2 aufgebaut.

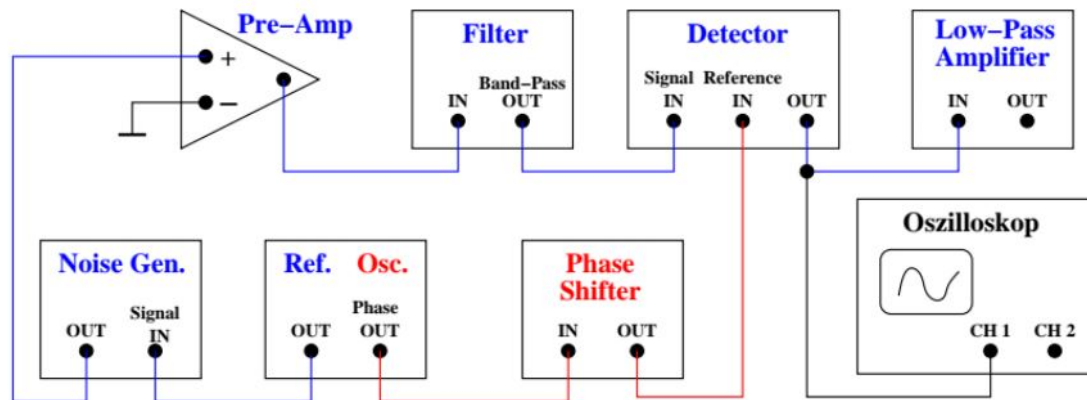


Abbildung 4: Schematischer Aufbau eines Lock-In-Verstärkers

Abbildung 2: Schema des experimentellen Aufbaus[1, S. 4]

Der Noise-Generator wird hier auf OFF gestellt. Daraufhin wird ein sinusförmiges Signal erzeugt. Ebenso wird ein Referenzsignal  $U_{\text{Signal}}$  mit selber Frequenz erzeugt. Zur vereinfachten Beobachtung kann das Signal durch den Gain verstärkt werden. Sind alle anderen Einstellungen des Lock-In-Verstärkers optimal gewählt, so ist auf dem Oszilloskop ein Spannungsverlauf ähnlich wie in Abbildung 3 zu erkennen.

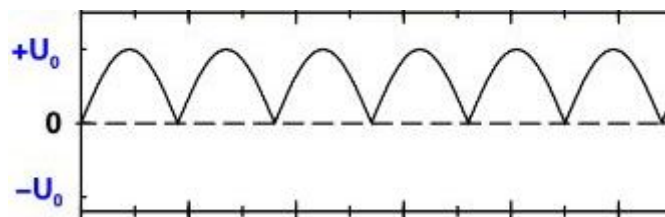


Abbildung 3: Ausgangssignal[1, S. 3]

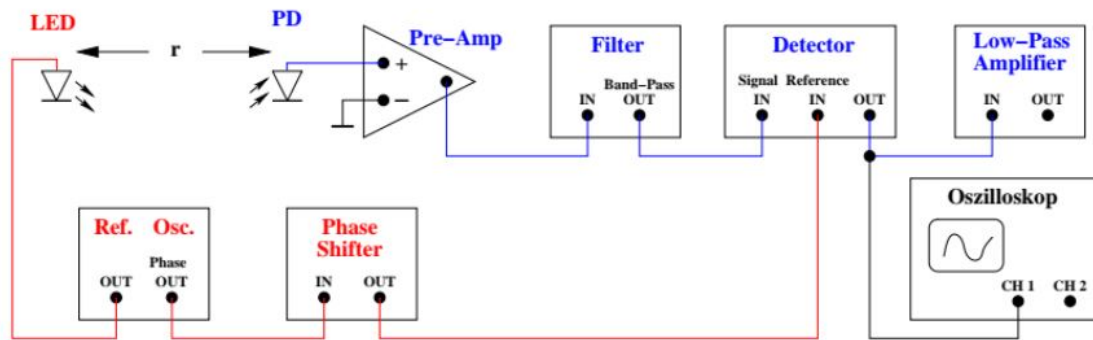
Der Vorgang wird für 9 weitere Phasenlagen des Referenzsignals wiederholt und die Amplituden der Spannungen in Abhängigkeit der Phase notiert. Mindestens 5 Spannungsverläufe, die auf dem Oszilloskop angezeigt werden, sollen gespeichert werden. Diese wurden jedoch, im Gegensatz zu den Messwerten, vor dem Tiefpassfilter aufgenommen.

### 2.1.2 Mit Noise

Der Aufbau aus 2.1.1 wird modifiziert. Nun wird der Noise-Generator eingeschaltet. Dabei soll der Noise eine ähnliche Größenordnung wie das Signal aufweisen. Der in 2.1.1 durchgeführte Vorgang wird wiederholt, wobei hier die Bilder nicht gespeichert werden müssen.

### 2.1.3 LED

Der Versuchsaubau wird entsprechend der Abbildung 4 aufgebaut.



**Abbildung 4:** Schema des experimentellen Aufbaus[1, S. 5]

Die Leuchtdiode wird eingeschaltet und mit einer Rechteck-Spannung so moduliert, dass sie mit einer Frequenz von 50 Hz bis 500 Hz blinkt. Gegebenenfalls muss das Signal für eine bessere Beobachtung mit einem Gain vergrößert werden. Ist das Oszilloskop richtig eingestellt, so ist die Spannung am Oszilloskop ablesbar. Der Abstand zwischen LED und Photo-Detektor wird nun in 1 cm-Schritten variiert und die Spannungen abgelesen, bis sich die angezeigte Spannung nicht mehr ändert.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Apparatkonstante

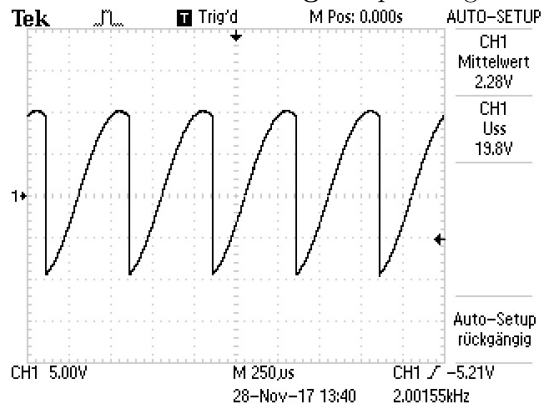
Das Signal am Ausgang "Reference" ist regelbar, während das Signal am Ausgang "Oscillator" konstant bei 3,28 V liegt.

#### 3.2 Messung des Ausgangssignals

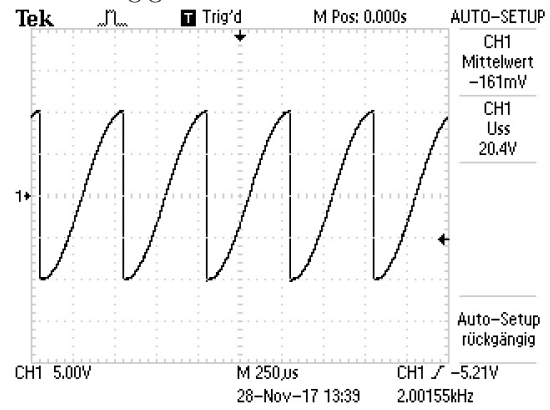
##### 3.2.1 ohne Noise

Die Referenzspannung wurde auf 1 V und 1000 Hz eingestellt. Der Gain am Pre-Amplifier beträgt 10. In Abbildung 5 befinden sich die Spannungsverläufe der Ausgangsspannung bei unterschiedlichen Phasen.

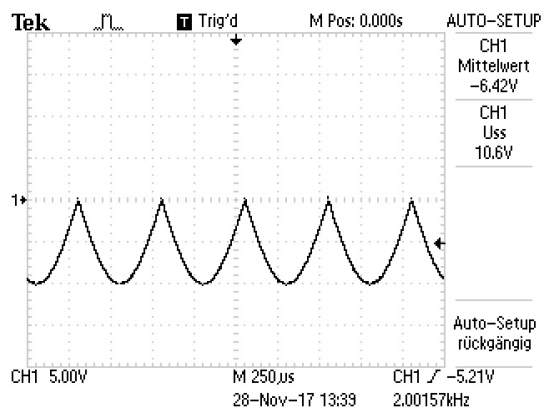
Abbildung 5: Spannungsverläufe in Abhängigkeit von der Phase



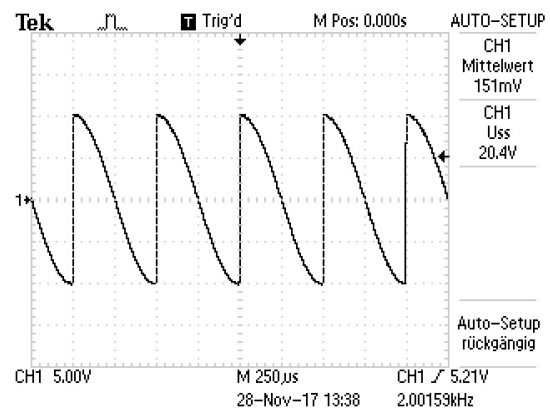
(a)  $\Phi = 0^\circ$



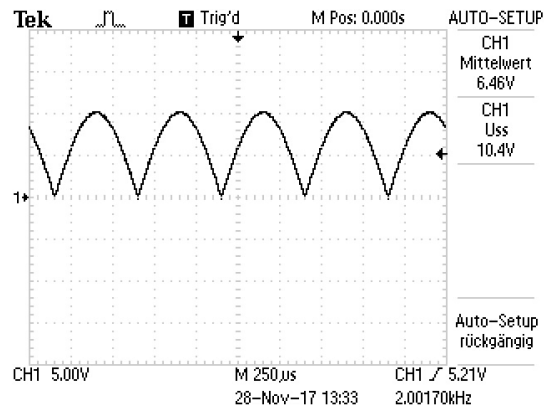
(b)  $\Phi = 30^\circ$



(c)  $\Phi = 120^\circ$



(d)  $\Phi = 210^\circ$



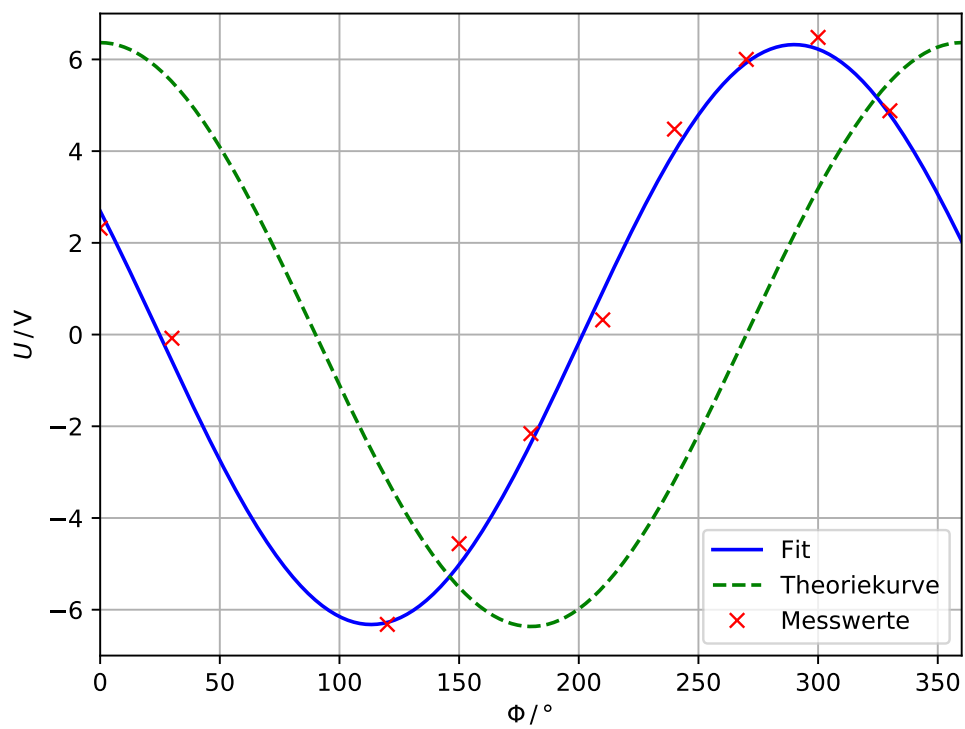
(e)  $\Phi = 300^\circ$

Die aufgenommenen Messwerte befinden sich in Tabelle 1.

**Tabelle 1:** Messdaten "ohne Noise"

$\Phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{V}$
0	2,32
30	-0,08
120	-6,32
150	-4,56
180	-2,16
210	0,32
240	4,48
270	6,00
300	6,48
330	4,88

Aus diesen Messwerten folgt der Graph:



**Abbildung 7:**  $U$ - $\Phi$ -Diagramm

Mithilfe der Messwerte wird die Regression  $a \cdot \cos(b \cdot x + c)$  durchgeführt, die die Werte

$$\begin{aligned}a &= (6,32 \pm 0,21) \text{ V} \\b &= 0,0178 \pm 0,0002 \\c &= (64,78 \pm 3,04)^\circ\end{aligned}$$

liefert. Da die Theoriekurve aus Gleichung (1) die Werte

$$\begin{aligned}a_{\text{theo}} &= 6,37 \text{ V} \\b_{\text{theo}} &= 0,0175 \\c_{\text{theo}} &= 0^\circ\end{aligned}$$

hat, ergeben sich die Abweichungen

$$\begin{aligned}\delta_a &= 0,68\% \\ \delta_b &= 1,79\%.\end{aligned}$$

### 3.2.2 mit Noise

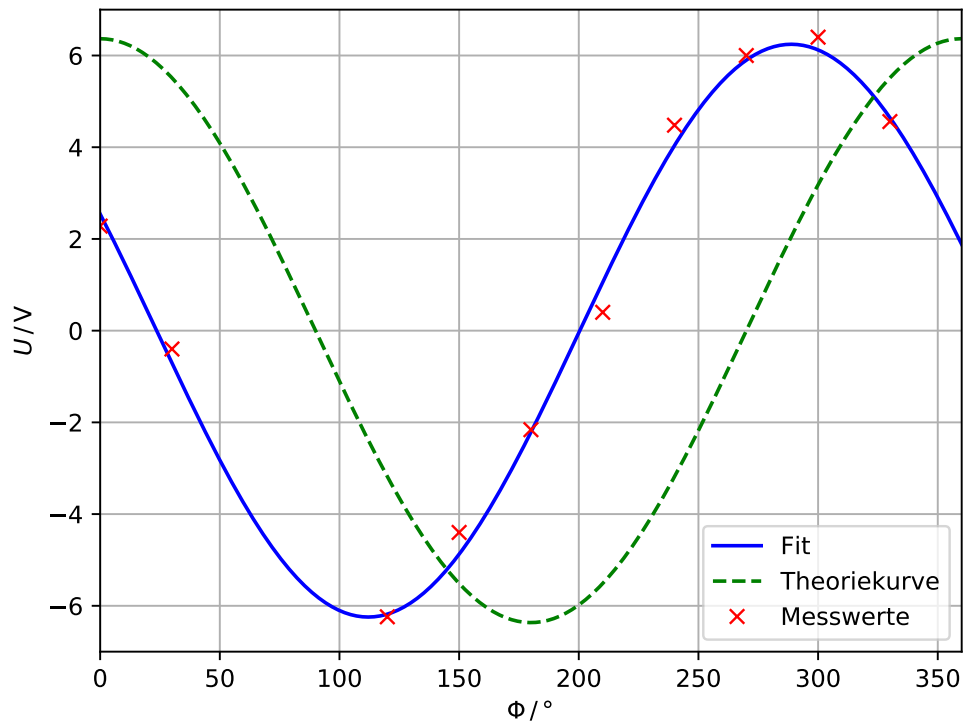
Für diesen Teil des Experiments wurde der Noise auf  $10^{-1}$  gestellt. Die aufgenommenen Messwerte befinden sich in Tabelle 2.

**Tabelle 2:** Messdaten "mit Noise"

$\Phi / ^\circ$	$U_{\text{out}} / \text{V}$
0	2,28
30	−0,40
120	−6,24
150	−4,40
180	−2,16
210	0,40
240	4,48
270	6,00
300	6,40
330	4,56

Aus diesen Messwerten folgt der Graph:





**Abbildung 8:**  $U$ - $\Phi$ -Diagramm

Es wird erneut eine Regression durchgeführt. Sie liefert die Werte

$$a = (6,25 \pm 0,19) \text{ V}$$

$$b = 0,0178 \pm 0,0003$$

$$c = (65,97 \pm 2,79) ^\circ.$$

Die Theoriekurve ist dieselbe wie in 3.2.1. Damit ergeben sich die Abweichungen

$$\delta_a = 1,90\%$$

$$\delta_b = 1,80\%$$

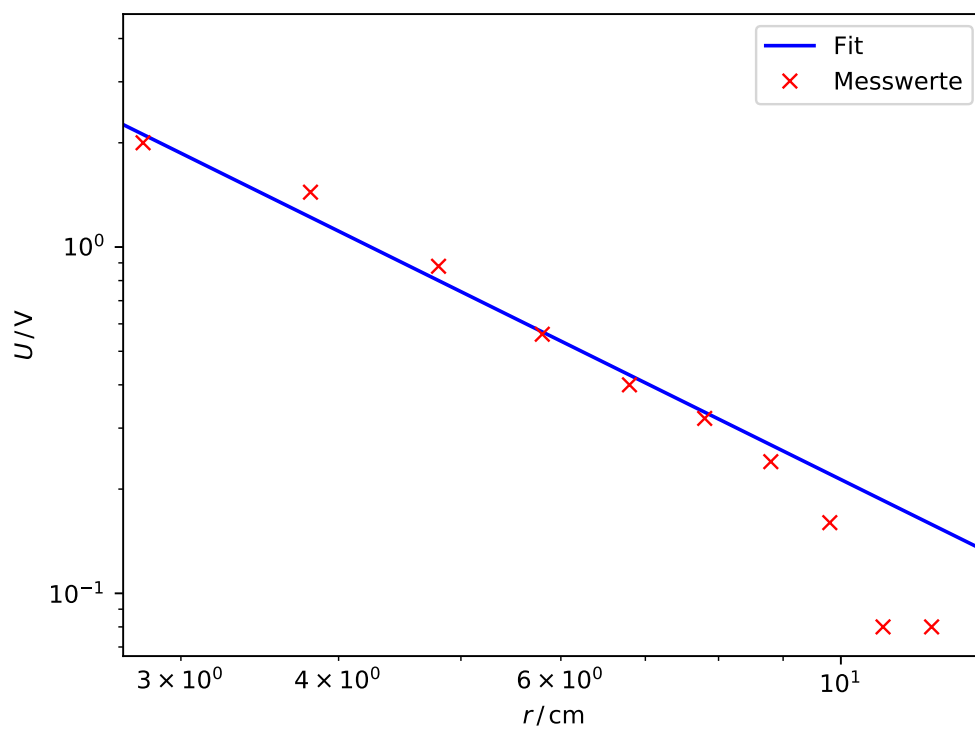
### 3.2.3 LED

Die LED blinkt mit einer Frequenz von 300 Hz und der Gain am Pre-Amplifier beträgt 1000. Die aufgenommenen Messwerte befinden sich in Tabelle 3.

**Tabelle 3:** Messdaten "LED"

$r / \text{cm}$	$U_{\text{out}} / \text{V}$
2,8	−2,00
3,8	−1,44
4,8	−0,88
5,8	−0,56
6,8	−0,40
7,8	−0,32
8,8	−0,24
9,8	−0,16
10,8	−0,08
11,8	−0,08
12,8	0,00

Zur Erstellung der Grafik wurden die Beträge der gemessenen Spannungen gegen die Abstände aufgetragen.



**Abbildung 9:**  $U$ - $r$ -Diagramm zur Bestimmung der Steigung

Dieses mal ergibt die Regression  $a \cdot x^{-b}$  die Steigung

$$b = 1,80 \pm 0,13$$

Da die Intensität mit  $1/r^2$  abfällt ist der Theoriewert

$$b_{\text{theo}} = 2.$$

Die Abweichung beträgt somit

$$\delta = 9,88\%.$$

Der maximale Abstand, bei dem das Licht der LED noch nachgewiesen werden konnte, beträgt

$$r_{\text{max}} = 11,8 \text{ cm.}$$

## 4 Diskussion

Im ersten und zweiten Teil des Experiments (s. Kapitel 3.2.1 und Kapitel 3.2.2) liegen die Abweichungen von der Theoriekurve bei unter 2%. Bei der Messung ohne Noise ist dies eigentlich auch zu erwarten, da das Signal nicht verrauscht ist. Dass die Messung mit Noise auch so geringe Abweichungen liefert, lässt den Schluss zu, dass der verwendete Lock-In-Verstärker gut funktioniert und die Störungen aus dem Signal herausfiltert. Auffällig ist nur, dass Signal- und Referenzspannung von Beginn an Phasenverschoben sind.

Bei der Messung mit der LED (s. Kapitel 3.2.3) liegt die Abweichung von 9,88% ebenfalls im Rahmen der Messungenauigkeiten. Ein relevanter Störungsfaktor ist hier definitiv die Streuung des LED-Lichtes an umliegenden Gegenständen und auch an den Experimentatoren selbst, was zu Verfälschungen der Ergebnisse geführt haben kann.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *V303 - Lock-In-Verstärker*. 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/LockIn.pdf>.