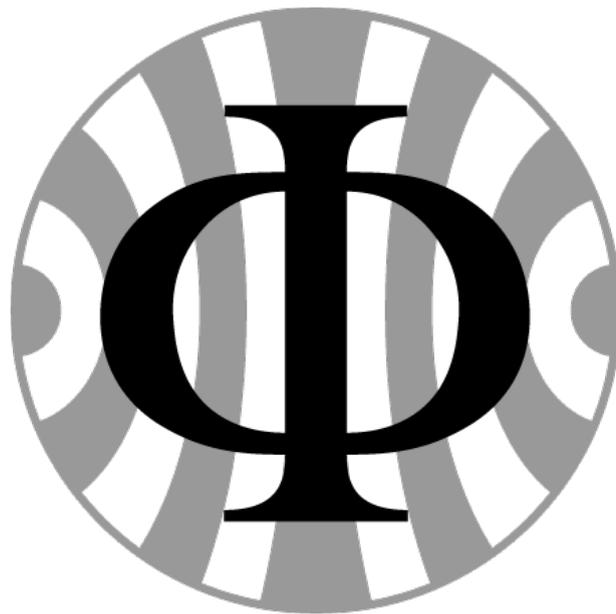


Versuch 245 – Induktion

PAP 2.2, [1]

04.12.2024



[2]

Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 1

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Messverfahren	1
1.3	Grundlagen aus der Physik	1
2	Durchführung	3
2.1	Messprotokoll	3
3	Auswertung	5
3.1	Plots der Spannungskurven	5
3.2	Bestimmung des Magnetfelds B	6
3.3	Grafische Darstellung der Daten	7
3.4	Bestimmung der Induktivität	7
3.5	Bestimmung des Betrages des Erdmagnetfeldes	8
4	Zusammenfassung und Diskussion	10
5	Anhang	12
	Quellen- und Literaturverzeichnis	16

1. Einleitung

1.1 Motivation

Das Phänomen der elektromagnetischen Induktion bildet die Grundlage zahlreicher technischer Anwendungen, von elektrischen Generatoren und Transformatoren etc. . Ziel dieses Experiments ist es, das Induktionsgesetz experimentell zu überprüfen und zu quantifizieren. Dazu wird eine rotierende Flachspule in einem Magnetfeld genutzt, um die Abhängigkeit der induzierten Spannung von der Drehfrequenz und der Magnetfeldstärke zu untersuchen. Darüber hinaus wird die Induktionsspannung in einem periodisch wechselnden Magnetfeld gemessen sowie das Erdmagnetfeld bestimmt.

1.2 Messverfahren

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Helmholtzspule, die ein homogenes Magnetfeld erzeugt, sowie einer Induktionsspule mit 4000 Windungen, die im Zentrum der Helmholtzspule drehbar gelagert ist. Ein Elektromotor treibt die Drehung der Spule an. Die induzierte Spannung wird mit einem Oszilloskop erfasst. In den verschiedenen Versuchsteilen werden folgende Messungen durchgeführt:

1. **Bestätigung des Induktionsgesetzes:** Messung der induzierten Spannung U_i in Abhängigkeit von der Drehfrequenz f der Induktionsspule sowie der Magnetfeldstärke B .
2. **Induktionsspannung in einem periodischen Magnetfeld:** Untersuchung der Spannung U als Funktion des Winkels α zwischen Magnetfeld und Spulenfläche.
3. **Bestimmung des Erdmagnetfeldes:** Messung der Induktionsspannung bei rotierender Spule im Erdmagnetfeld und anschließende Bestimmung des Inklinationwinkels.

1.3 Grundlagen aus der Physik

Das Experiment basiert auf dem Induktionsgesetz von Faraday:

$$U_i(t) = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

wobei der magnetische Fluss hier :

$$\Phi = BAN \cos(\omega t) \quad (1.2)$$

mit der Magnetfeldstärke B , der Spulenfläche A , der Windungszahl N und der Winkelgeschwindigkeit ω gegeben ist. Daraus folgt für die induzierte Spannung:

$$U_i(t) = BAN\omega \sin(\omega t) \quad (1.3)$$

Die Amplitude dieser sinusförmigen Spannung ist proportional zu B und A , was experimentell überprüft wird.

Bei einem periodischen Magnetfeld mit Kreisfrequenz Ω ergibt sich für die Induktionsspannung:

$$U = U_m \sin(\Omega t), \quad U_m = BAN\Omega \cos(\alpha) \quad (1.4)$$

Hierbei ist α der Winkel zwischen der Flächennormale der Spule und dem Magnetfeld.

Für die Bestimmung des Erdmagnetfeldes wird das Prinzip der Kompensation genutzt. Durch Erzeugung eines gleich großen, entgegengesetzten Magnetfeldes in der Helmholtzspule kann die Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes ausgeglichen werden. Die Horizontalkomponente lässt sich dann aus der verbleibenden Induktionsspannung bestimmen.

2. Durchführung

2.1 Messprotokoll

24.02.25

Messprotokoll

Jessika Boelms
Mannel Songenfrei

Versuch 245

Induktion

Geräte:

→ Osz

→ Antidromator

→ Funktionsgenerator

→ Netzteil

→ Multimeter

→ Kompass

→ RC-Filter

→ Helmholtzspule

→ Induktionspule

$D = 255 \text{ mm}$

→ Windungszahl: 4000

$A_0 = 147 \text{ mm}$

→ Fläche $A = 41,7 \text{ cm}^2$

$N_{\text{Spule}} = 124$

Aufgabe 1: Varmensch

a) Es wird eine Spannung induziert

b) es wird eine Spannung induziert

⇒ kein Unterschied nur Vorzeichen unterschiedlich

Aufgabe 2:

Tabelliert: f.v. V_{ind}

$R = 2,7 \cdot 10^{-4} \Omega$

Tabelliert: $w \approx 10,20 \pm 0,05$

f [Hz]	U_m [V]	$U_m = U_{\text{app}}$
3	$3,4 \pm 0,1$	$7,0 \pm 0,1$
6	$6,0 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$
9	$9,1 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,1$
12	$11,9 \pm 0,1$	$7,4 \pm 0,1$
15	$14,9 \pm 0,1$	$10,0 \pm 0,1$

I [A]	U_m [V]	$U_m = U_{\text{app}}$
$0,50 \pm 0,01$	$0,8 \pm 0,1$	
$1,08 \pm 0,01$	$1,7 \pm 0,1$	
$1,51 \pm 0,01$	$3,4 \pm 0,1$	
$2,05 \pm 0,01$	$3,2 \pm 0,1$	
$2,53 \pm 0,01$	$4,0 \pm 0,1$	
$3,00 \pm 0,01$	$4,6 \pm 0,2$	
$3,50 \pm 0,01$	$5,9 \pm 0,2$	
$4,00 \pm 0,01$	$6,4 \pm 0,1$	
$4,50 \pm 0,01$	$7,4 \pm 0,1$	

Aufgabe 3:

$f_U = 100 \pm 2 \text{ Hz}$

$\alpha [^\circ]$	$U_m [V]$	$f [Hz]$	$U_{ind} [V]$	$I_{ind} [mA]$	
0	$1,54 \pm 0,02$	$\Delta_1 = 0,1 \Delta_1$	$0,80 \pm 0,02$ mV	163,8 mA	
30	$1,36 \pm 0,02$		1,27 $\pm 0,02$	138,30	
60	$0,82 \pm 0,02$		1,68 $\pm 0,02$	116,30	
90	$0,04 \pm 0,02$		1,92 $\pm 0,02$	99,20	
120	$0,80 \pm 0,02$		2,08 $\pm 0,02$	85,70	
150	$1,34 \pm 0,02$	120,15	2,16 $\pm 0,02$	74,90	
180	$1,52 \pm 0,02$	$\Delta_2 = 0,3 \Delta_2$	2,24 $\pm 0,02$	66,10	
210	$1,32 \pm 0,02$		2,28 $\pm 0,01$	59,60	
240	$0,80 \pm 0,02$		2,34 $\pm 0,01$	53,70	
270	$0,04 \pm 0,02$		2,38 $\pm 0,01$	48,50	
300	$0,78 \pm 0,02$		2,46 $\pm 0,01$	28,50	
330	$1,32 \pm 0,02$		2,46 $\pm 0,01$	17,02	
			805,4	2,48 $\pm 0,01$	12,76
			1012	2,48 $\pm 0,01$	10,12
			1208	2,48 $\pm 0,01$	8,52
			1408	2,52 $\pm 0,01$	7,28
		1616	2,58 $\pm 0,01$	6,34	
		1848	2,64 $\pm 0,01$	5,53	
		2024	2,66 $\pm 0,01$	5,06	

3. Es entsteht eine Induktion, wenn die
 immer Spitze nach rechts.
 Wenn \neq einhüllende Frequenz:

$U_{pp} = 3,6 \pm 0,1 \text{ V}$

Aufgabe 4:

1. $\omega = 14,2 \pm 0,3$
 $U_{ind} = 156 \pm 6 \text{ mV}$

2. $I = 58,9 \pm 0,02 \text{ mA}$
 $U_{ind} = 42,6 \pm 0,5 \text{ mV}$
 $\omega = 10,0 \pm 0,2 \text{ Hz}$

Lehrer

3. Auswertung

3.1 Plots der Spannungskurven

Wir können die gemessenen Werte direkt mit Python plotten und erhalten für die erste Messung einen linearen Zusammenhang zwischen der Induzierten Spannung und der Drehfrequenz:

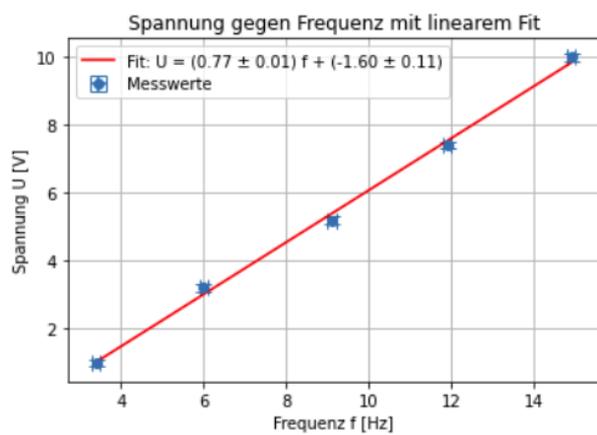


Abbildung 3.1: U_{ind} vs. f

Die Steigung konnte mithilfe eines linearen Fits bestimmt werden und beträgt:

$$m_1 = (0,77 \pm 0,01) \text{ V/Hz}$$

Weiternoch gibt sich bei variierendem Spulenstrom ebenfalls ein Linearer Zusammenhang:

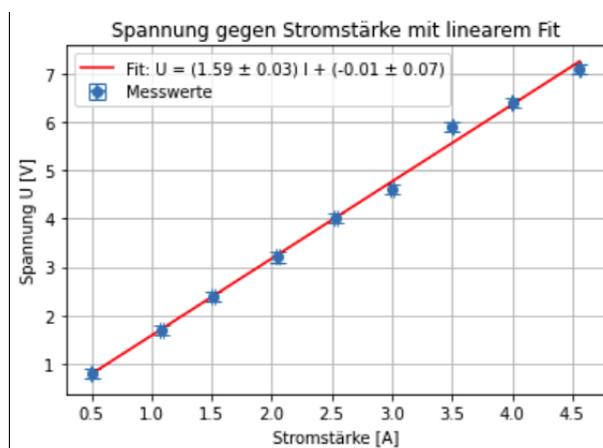


Abbildung 3.2: U_{ind} vs. I

Hier konnte die Steigung bestimmt werden mit:

$$m_2 = (1,59 \pm 0,03) \text{ V/A}$$

3.2 Bestimmung des Magnetfelds B

Aus der Formel 1.3 können wir über die Induzierte Spannung auf das Magnetfeld schließen. Mit $\omega = 2\pi f$ folgt für die Peak to Peak Spannung:

$$U_{pp} = 4\pi BAN f \quad (3.1)$$

Da wir U_{pp} bereits gegen f aufgetragen haben folgt der Zusammenhang:

$$m_1 = 4\pi BAN \Rightarrow B = \frac{m_1}{4\pi AN} \quad (3.2)$$

Dabei nutzen wir die Fehlerformel:

$$\Delta B = \frac{\Delta m_1}{4\pi AN} \quad (3.3)$$

Hier werden A und N als exakt angenommen, da im Skript nichts weiteres vermerkt ist.

Wir erhalten einen Wert von:

$$B_{exp} = (3,67 \pm 0,05) \text{ mT}$$

Magnetfeld in einer Helmholtzspule nach [3] (theoretische Kalkulation):

$$B_{theo} = \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{\mu_0 N_{helm} I}{r} \quad (3.4)$$

Mit der Fehlerrechnung:

$$\Delta B_{theo} = \frac{8\sqrt{5}\mu_0 N}{25r} \Delta I \quad (3.5)$$

Aufgrund der sehr kleinen Ungenauigkeit von μ_0 vernachlässigen wir dies hier.

Wir erhalten einen Wert von:

$$B_{theo} = (3,03123 \pm 0,00001) \text{ mT}$$

Vergleicht man diese Werte erhält man eine Abweichung von 12.8σ , dies ist einerseits auf die sehr kleinen Fehler der Werte zurückzuführen, als auch die Tatsache, dass der Theoretische Wert das Erdmagnetfeld nicht berücksichtigt, in der Realität sich dieses aber mit dem Helmholtzfeld überlagert.

3.3 Grafische Darstellung der Daten

Die Induzierte Spannung abhängig vom Winkle sollte dem Betrag eines Cosinus/Sinus entsprechen, plottet man die Daten, so erhält man genau dieses Bild:

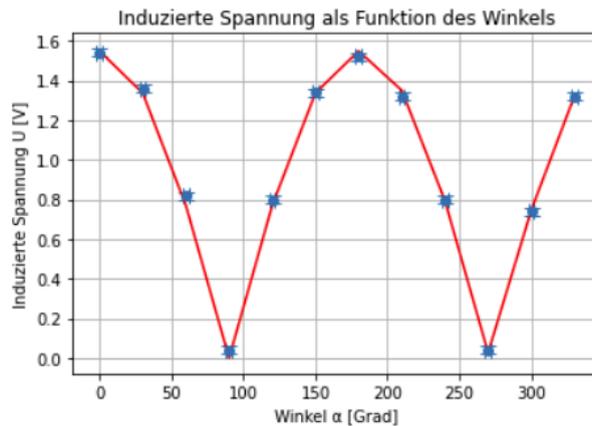


Abbildung 3.3: U_{ind} vs. α

Weiternoch kann man die Induzierte Spannung in Verhältniss zu rangelegten Spannung setzen und jenen Quotienten als Funktion der Zeit angeben. Dabei ergibt sich folgendes Bild:

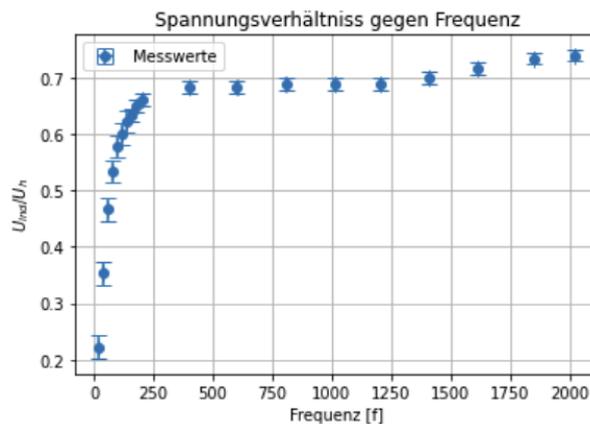


Abbildung 3.4: Spannungsverhältniss vs. Frequenz

Hier sieht man wie bei Frequenzen unter 100 Hz, der Ohm'sche Widerstand der Helmholzspule zum tragen kommt. Der Strom durch die Spule bleibt trotz gleicher Spannung nicht konstant, da die Impendanz der Spule Frequenzabhängig ist, welche wir ja verändern.

3.4 Bestimmung der Induktivität

Aus den vorherigen Überlegungen (Frequenzabhängigkeit der Impendanz) kann man die Induktivität der Spule bestimmen, dazu nutzen wir den Zusammenhang:

$$R_{real} = \omega L \Rightarrow L = \frac{R}{2\pi f} = \frac{m_3}{2\pi} \quad (3.6)$$

Wir müssen also wieder die Steigung bestimmen, diesmal vom Verhältniss von Spannung zu Stromstärke (also dem Widerstand).

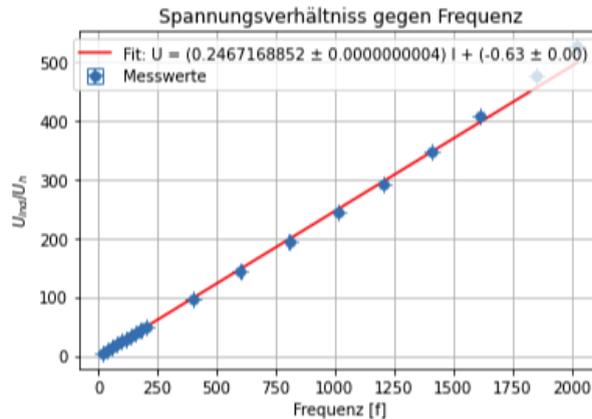


Abbildung 3.5: R vs. f

Wir erhalten also:

$$m_3 = (0.2467168852 \pm 0.0000000004) R/f$$

Wobei dieser Fehler etwas zu gering erscheint, daher nutzen wir für weitere Rechnungen die maximale Auflösung der Strommessung als Fehler:

$$m_3 = (0,250 \pm 0,010) R/f$$

Für L nutzen wir nun noch die Fehlerrechnung:

$$\Delta L = \frac{\Delta m_3}{2\pi} \quad (3.7)$$

und erhalten so eine Induktivität von:

$$L = (39,7 \pm 1,6) \text{ mH}$$

3.5 Bestimmung des Betrages des Erdmagnetfeldes

Aus der Formel 3.1 können wir mit den gemessenen Daten das Erdmagnetfeld B bestimmen, dazu nutzen wir die Fehlerrechnung:

$$\Delta B_{erde} = \sqrt{\left(\frac{-U_{pp}}{4\pi A f^2 n} \Delta f\right)^2 + \left(\frac{1}{4\pi A f n} \Delta U_{pp}\right)^2} \quad (3.8)$$

Wir erhalten einen Wert von:

$$B_{erde} = (52,4 \pm 2,3) \mu\text{T}$$

Zudem wurde eine Kompensationsmessung durchgeführt, sodass wir durch Formel 3.4 und deren Fehlerrechnung, den Betrag des B-Feldes in vertikaler Richtung bestimmen können.

$$B_{verti} = (44,5 \pm 1,5) \mu\text{T}$$

Aus der gemessenen Restspannung und der Drehfrequenz erhalten wir analog zur Messung ohne Kompensation den horizontalen Anteil:

$$B_{\text{hori}} = (13,5 \pm 1,6) \mu\text{T}$$

Der gesuchte Inklinationswinkel lässt sich nun berechnen mit:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{B_{\text{verti}}}{B_{\text{hori}}}\right) \quad (3.9)$$

Mit dem Fehler:

$$\Delta\varphi = \sqrt{\left(\frac{B_{\text{hori}}}{B_{\text{hori}}^2 + B_{\text{verti}}^2} \Delta B_{\text{verti}}\right)^2 + \left(\frac{B_{\text{verti}}}{B_{\text{hori}}^2 + B_{\text{verti}}^2} \Delta B_{\text{hori}}\right)^2} \quad (3.10)$$

Wir erhalten:

$$\varphi = (73,1 \pm 1,3)^\circ$$

Ein Vergleich mit dem Literaturwert von 66° [2] ergibt eine Abweichung von $5,4 \sigma$

4. Zusammenfassung und Diskussion

Im Rahmen dieses Experiments wurde das Induktionsgesetz experimentell überprüft, indem die induzierte Spannung einer rotierenden Induktionsspule in einem Magnetfeld untersucht wurde.

Es wurde gezeigt, dass die induzierte Spannung proportional zur Drehfrequenz der Spule sowie zur Magnetfeldstärke ist, was mit den theoretischen Vorhersagen übereinstimmt. Die Steigung der linearen Fit-Funktion für die Abhängigkeit der Spannung von der Frequenz betrug $m_1 = (0,77 \pm 0,01)V/Hz$, während für die Abhängigkeit von der Spulenstromstärke ein Wert von $m_2 = (1,59 \pm 0,03)V/A$ ermittelt wurde. Basierend auf diesen Messungen wurde daraus anschließend das Magnetfeld der Helmholtzspule experimentell bestimmt:

$$B_{exp} = (3,67 \pm 0,05) \text{ mT}$$

Welches signifikant vom theoretischen Wert von $B_{theo} = (3,03123 \pm 0,00001)\text{mT}$ abweicht. Diese Abweichung von $12,8 \sigma$ lässt sich dadurch erklären, dass das Erdmagnetfeld in der Messung nicht berücksichtigt wurde, sich in der Realität jedoch mit dem Feld der Helmholtzspule überlagert.

Die Messung der induzierten Spannung als Funktion des Winkels ergab die erwartete $\cos(\alpha)$ -Abhängigkeit, was die theoretischen Vorhersagen weiter bestätigte. Zudem wurde der Zusammenhang zwischen der Induktionsspannung und der angelegten Spannung analysiert, wobei festgestellt wurde, dass für Frequenzen unter 100 Hz der ohmsche Widerstand der Helmholtzspule eine Rolle spielt und die Impedanz der Spule eine frequenzabhängige Änderung des Stromflusses verursacht. Die Induktivität der Helmholtzspule wurde dann über den frequenzabhängigen Widerstand zu

$$L = (39,7 \pm 1,6) \text{ mH}$$

bestimmt. Zur Untersuchung des Erdmagnetfelds wurde eine separate Messung durchgeführt, aus der sich ein Wert von $B_{erde} = (52,4 \pm 2,3) \mu\text{T}$ ergab. Anschließend wurden die Vertikal und Horizontalkomponenten getrennt bestimmt mit $B_{verti} = (44,5 \pm 1,5)\mu\text{T}$ und $B_{hori} = (13,5 \pm 1,6)\mu\text{T}$. Daraus wurde ein Inklinationwinkel von $\varphi = (73,1 \pm 1,3)^\circ$ berechnet, der mit einer Abweichung von $5,4 \sigma$ über dem Literaturwert von 66° liegt.

Mögliche Fehlerquellen in diesem Experiment liegen in der mechanischen Unwucht der rotierenden Induktionsspule, die zu zusätzlichen Oszillationen und ungenauen Spannungsmessungen durch das Oszilloskop geführt haben könnten. Zudem könnten systematische Fehler in der Abschätzung der Messunsicherheiten vorliegen, was erklärt, warum die berechneten σ -Abweichungen so groß erscheinen. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist die Annahme, dass die Fläche und Windungszahl der Spule exakt sind, da bereits kleine Abweichungen in diesen Werten Auswirkungen auf das berechnete Magnetfeld haben.

Außerdem waren bei vielen Versuchsteilen Messungen der Stromstärke nötig, für jene wir verschiedenen Geräte nutzen mussten, da aus unscheinbaren Gründen manchmal das Eine, und dann das Andere bessere bzw. genauere Ergebnisse lieferten.



Abbildung 4.1: Vergleich d. Messgeräte

Trotz dieser Unsicherheiten kann das Experiment als Erfolg gewertet werden, da die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der elektromagnetischen Induktion bestätigt wurden, die qualitativen Zusammenhänge zwischen Spannung, Frequenz und Magnetfeld sichtbar gemacht wurden und die experimentellen Werte weitgehend in der richtigen Größenordnung lagen.

5. Anhang

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

# Beispiel-Daten (ersetze sie mit deinen Messwerten)
f = np.array([3.4, 6.0, 9.1, 11.9, 14.9]) # Frequenz in Hz
U = np.array([1.0, 3.2, 5.2, 7.4, 10.0]) # Spannung in V
fehler_f = np.array([0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1]) # Fehler der Frequenz
fehler_U = np.array([0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1]) # Fehler der Spannung

# Lineare Funktion für den Fit
def lin_func(x, m, b):
    return m * x + b

# Fit durchführen
params, covariance = curve_fit(lin_func, f, U, sigma=fehler_U, absolute_sigma=True)
m, b = params
fehler_m, fehler_b = np.sqrt(np.diag(covariance))

# Plot
plt.errorbar(f, U, xerr=fehler_f, yerr=fehler_U, fmt='o', label='Messwerte', capsize=5)
plt.plot(f, lin_func(f, m, b), 'r-', label=f'Fit: U = ({m:.2f} * f + {b:.2f})')

# Achsen beschriften
plt.xlabel('Frequenz f [Hz]')
plt.ylabel('Spannung U [V]')
plt.title('Spannung gegen Frequenz mit linearem Fit')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# Ergebnisse ausgeben
print(f'Steigung: m = {m:.2f} ± {fehler_m:.2f} V/Hz')

```

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

```

```

# Beispiel-Daten (ersetze sie mit deinen Messwerten)
alpha = np.array([0,30,60,90,120,150,180,210,240,270,300,330]) # Winkel in Grad
U = np.array([1.54,1.36,0.82,0.04,0.8,1.34,1.52,1.32,0.8,0.04,0.74,1.32])
# Spannung mit Rauschen
fehler_alpha = np.full_like(alpha, 2) # Fehler der Winkelmessung
fehler_U = np.full_like(U, 0.02) # Fehler der Spannung

# Umwandlung in Radiant
alpha_rad = np.radians(alpha)

# Funktion f r den Fit
def cos_func(x, a, b, w):
    return a * np.abs(np.cos(w * x + b))

# Initialwerte f r den Fit
initial_values = [1.5, 0, 1] # Startwerte f r a, b, w

# Fit durchf hren
params, covariance = curve_fit(cos_func, alpha_rad, U, sigma=fehler_U, absolute_sigma=True)
a, b, w = params
fehler_a, fehler_b, fehler_w = np.sqrt(np.diag(covariance))

# Plot
plt.errorbar(alpha, U, xerr=fehler_alpha, yerr=fehler_U, fmt='o', label='Messwert')
plt.plot(alpha, cos_func(alpha_rad, a, b, w), 'r-', label=f'Fit: U = ({a:.2f} * cos({w:.2f} * x + {b:.2f}))')

# Achsen beschriften
plt.xlabel('Winkel [Grad]')
plt.ylabel('Induzierte Spannung U [V]')
plt.title('Induzierte Spannung als Funktion des Winkels')
#plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# Ergebnisse ausgeben
print(f'Fit-Parameter: a = {a:.2f} {fehler_a:.2f}, b = {b:.2f} {fehler_b:.2f}, w = {w:.2f} {fehler_w:.2f}')

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

# Beispiel-Daten (ersetze sie mit deinen Messwerten)

```

```

f = np.array([20.1,39.8,60.3,80.2,100,120.5,140.4,159.8,180.7,200.8,400,601.9,806
# Frequenz in Hz
Uind = np.array([0.8,1.27,1.68,1.92,2.08,2.16,2.24,2.28,2.34,2.38,2.46,2.46,2.48
# Spannung in V
Uh = 3.6
U = Uind/Uh
fehler_f = np.array([0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3
# Fehler der Frequenz
fehler_U = np.array([0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.01, 0.01, 0.01, 0.01,
# Fehler der Spannung

# Lineare Funktion f r den Fit
def lin_func(x, m, b):
    return m * x + b

# Fit durchf hren
#params, covariance = curve_fit(lin_func, f, U, sigma=fehler_U, absolute_sigma=T
#m, b = params
#fehler_m, fehler_b = np.sqrt(np.diag(covariance))

# Plot
plt.errorbar(f, U, xerr=fehler_f, yerr=fehler_U, fmt='o', label='Messwerte', cap
#plt.plot(f, lin_func(f, m, b), 'r-', label=f'Fit: U = ({m:.2f}      {fehler_m:.2f

# Achsen beschriften
plt.xlabel('Frequenz [f]')
plt.ylabel('$U_{ind}/U_h$')
plt.title('Spannungsverh ltniss gegen Frequenz')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()

# Ergebnisse ausgeben
print(f'Steigung: m = {m:.2f}      {fehler_m:.2f} V/A')

```

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

# Beispiel-Daten (ersetze sie mit deinen Messwerten)
f = np.array([20.1,39.8,60.3,80.2,100,120.5,140.4,159.8,180.7,200.8,400,601.9,806
# Frequenz in Hz

```

```

Uind = np.array([0.8,1.27,1.68,1.92,2.08,2.16,2.24,2.28,2.34,2.38,2.46,2.46,2.48])
# Spannung in V
I = np.array([163.6,138.9,116.3,99.2,85.7,74.9,66.1,59.6,53.7,48.5,25.5,17.02,12.5])
DeltaI = np.array([0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01])
Uh = 3.6
U = (Uind)/(I*0.001)
fehler_f = np.array([0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3])
# Fehler der Frequenz
fehler_U = np.array([0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.02,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01])
# Fehler der Spannung
delta_R = np.sqrt(((0.001/I)*fehler_U)**2 + ((-0.001*Uind/I**2)*DeltaI)**2)
# Lineare Funktion f r den Fit
def lin_func(x, m, b):
    return m * x + b

# Fit durchf hren
params, covariance = curve_fit(lin_func, f, U, sigma=delta_R, absolute_sigma=True)
m, b = params
fehler_m, fehler_b = np.sqrt(np.diag(covariance))

# Plot
plt.errorbar(f, U, xerr=fehler_f, yerr=fehler_U, fmt='o', label='Messwerte', capsize=5)
plt.plot(f, lin_func(f, m, b), 'r-', label=f'Fit: U = ({m:.10 f} + {fehler_m:.10 f} * f)')

# Achsen beschriften
plt.xlabel('Frequenz [f]')
plt.ylabel('$U_{ind}/U_h$')
plt.title('Spannungsverh ltniss gegen Frequenz')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
print(delta_R)
print(U)
# Ergebnisse ausgeben
print(f'Steigung: m = {m:.10 f} + {fehler_m:.10 f} V/A')

```

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] CAPTAIN JONI: *pap1-tex-vorlage*. <https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage>. – [Online; Stand 28.08.2024]
- [2] DR. J. WAGNER: *Physikalisches Praktikum 1 für Studierende der Physik B.Sc.* <https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf>. – [Online; Stand 01/2014]
- [3] WIKIPEDIA: *B von Helmholtzspule*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Helmholtz-Spule>. – [Online; Stand 24.02.2025]