

it's CREATIVE SCHOOL.

Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P2
Blockpraktikum vom 10. Aug. bis 07. Sept. 2020

Versuch:	MAG	Gruppe:	H1				
Vorname:	Clara	Name:	Weser				
Mit Abgabe der Auswertung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!							
Punkte der Vorbereitung:		2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
				1. Abgabe	2. Abgabe		
Alle Teilversuche vollständig ausgewertet?				Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?				Ja	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?				Ja	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?				Ja	Nein	Ja	Nein
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?				Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingeklebt?				Ja	Nein	Ja	Nein
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?				Ja	Nein	Ja	Nein
Auswertung erhalten am:				13.8.			
Auswertung zurückgegeben am:				15.8.			
Nacharbeit notwendig bis:				<u> </u> nicht möglich			
Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!							
Punkte:	1,9		Datum, Abtestat:	Hof, 13.8.20			

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

MAG - Magnetisches Feld

Vorbereitung

Clara Weser, 10.08.2020

Grundlagen des Versuchs:

Definition des Magnetfelds:

- Das magnetische Feld \vec{B} fasst die magnetische Kraft ^{auf} einer Ladung Q mit Geschwindigkeit \vec{v} , die ~~es~~ ^{sie durch} von den anderen Teilchen erfährt zusammen. Die magnetische Kraft tritt zwischen elektrisch geladenen Teilchen auf und wirkt im Unterschied zur elektrischen Kraft (ebenfalls zw. elektrisch geladenen Teilchen) nur ~~auf~~ zwischen Teilchen, die eine Relativgeschwindigkeit ungleich null zueinander haben.

► Gesamtkraft auf eine Ladung im \vec{E} - und \vec{B} -Feld:

$$\vec{F}_{\text{em}} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \checkmark \quad (1)$$

mit $\vec{F}_e = Q\vec{E}$ elektrische Kraft im elektrischen Feld \vec{E} , $\vec{F}_m = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ (1*) magnetische Kraft. Der Betrag $F_m = Q v B \sin \alpha$ mit α als Winkel zw. \vec{B} und \vec{v} .

Erzeugung von Magnetfeldern:

- Magnetfelder ^{können} werden durch elektrische Ströme erzeugt werden.
- Beispiel: Strom durchflossener, kreisförmiger Drahtring.



Durchflutungsgesetz von Ampère:

- Aussage über
► Grundlage für Berechnung des Magnetfelds \vec{B} eines stationären Stroms I :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I \quad \text{mit } \mu_0 \text{ magnetische Feldkonst. des Vakuums } (= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ VsA}^{-1}\text{m}^{-1}), \vec{s} \text{ Wegelement einer geschlossenen Kurve.}$$



Gesetz von Biot und Savart

▷ Zur Berechnung von Magnetfeldern:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{\vec{r}' - \vec{r}}{|\vec{r}' - \vec{r}|^3} \times d\vec{r}' \quad (2)$$

mit \vec{r} als Ortsvektor

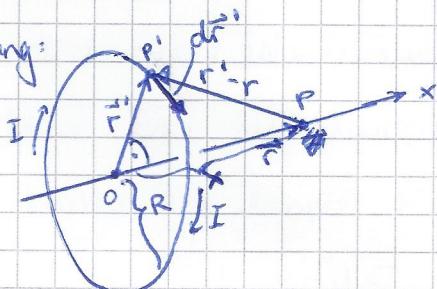
\vec{r}' des Punktes P für den das Feld berechnet werden soll,

\vec{r}' als Ortsvektor eines stromdurchflossenen Drahtelements

stromdurchfl.

Feld eines Kreisrings entlang der Symmetrieachse
(x-Achse).

Anordnung:



Betrachte Gleichung (2).

Das Vektorprodukt $\vec{r} \times d\vec{r}'$ zeigt vom Ring radial für verschiedene P' stets von P' aus betrachtet

(liegt auf dem Ring) radial nach innen zum Ursprung.

Aufgrund der Symmetrie der Konstruktion haben alle $\vec{r} \times d\vec{r}'$ zu verschiedenen P' den gleichen Betrag, daher addieren sie sich zu 0.

Das Vektorprodukt $\vec{r}' \times d\vec{r}'$ dagegen zeigt stets in x-Richtung, aufgrund der Symmetrie ebenfalls betragsmäßig gleich, und zwar $R dr'$.

Für $|\vec{r}' - \vec{r}|$ verwenden wir den Satz des Pythagoras und erhalten $|\vec{r}' - \vec{r}| = \sqrt{x^2 + R^2}$.

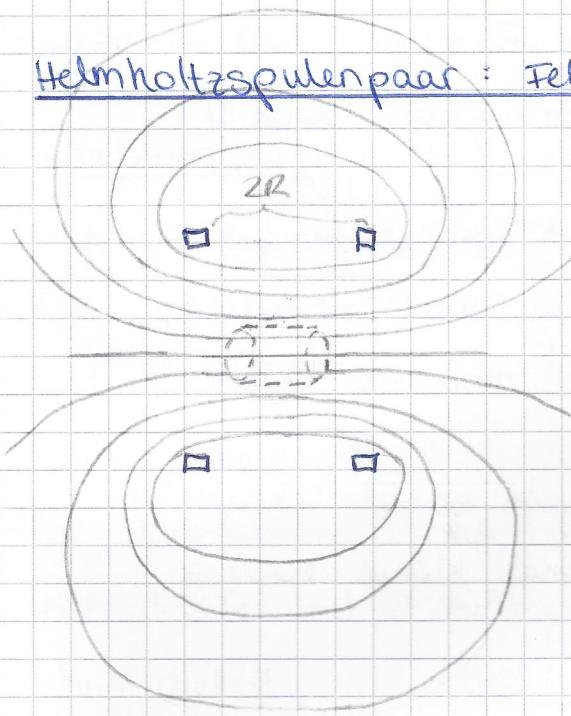
Somit ergibt sich $B(x) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{R d\vec{r}'}{(\sqrt{x^2 + R^2})^3} = \frac{\mu_0}{2} \frac{R^2 I}{(x^2 + R^2)^{3/2}}$

Für einen Drahtring mit N Windungen erhält man:

$$B(x) = \frac{\mu_0}{2} \frac{N R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} NI$$



Helmholtzspulenpaar: Feldlinienbild:



mittleres Teil,

dort gilt

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{NI}{R}$$

Besonderheiten:

- In der Mitte zwischen den Helmholtzspulen ist das \vec{B} -Feld nahezu homogen
(- Magnetische Feldlinien sind geschlossene Kurven)



Dipolmoment-Kraft

Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld \vec{B}

Zur Erinnerung: (1*): $\vec{F}_m = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$.

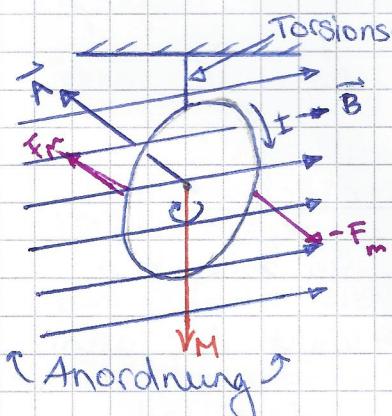
Nun: $I = \frac{Q}{t} = \frac{Q \cdot v}{s}$ mit s als zurückgelegte

Strecke einer Ladung im Leiter.

Eingesetzt in (1*): $\vec{F} = I (\vec{s} \times \vec{B})$



Drehmoment eines Ringstroms im Magnetfeld



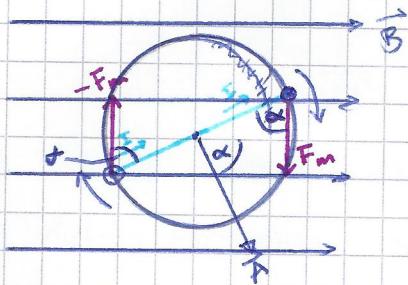
Betrachte zuerst die Vereinfachung einer quadratischen Leiterschleife (anstatt wie links einer kreisförmigen). Dort gilt:

$$M = I \cdot A \cdot B \sin \alpha \quad (3) \quad (\text{aus } \vec{M} = \vec{a} \times \vec{F}_m).$$

mit A Fläche, B Betrag des Magnetfelds, I Stromstärke und α



α Winkel zwischen Kraftvektor F_m und Leiterstück senkrecht zum Torsionsdraht (siehe nachfolgende Skizze:)



Quadratische Leiterschleife
rotiert im \vec{B} -Feld; von oben betrachtet.

Formel (3) gilt auch für jede andere Schleifenform durch zusammensetzen infinitesimal kleiner Quadrate.



Das magnetische Dipolmoment

Der Drehmoment auf eine Spule im Magnetfeld mit N

Windungen ergibt sich zu $M = N \cdot I A B \sin(\alpha)$ (4)

⁽³⁾

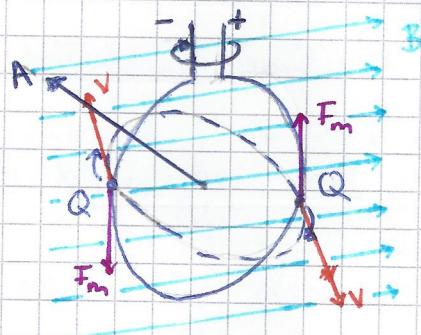
Das magnetische Dipolmoment der Spule ist

$m = N I A$ und steht senkrecht auf der Spulenfläche,
somit wird (4) zu $\vec{M} = \vec{m} \times \vec{B}$,

Der Name kommt daher, dass sich das Eigenfeld der Spule (nicht extern) ähnlich wie ein Stabmagnet verhält.

Induktion an einer bewegten Leiterschleife

rotierenden
Bild einer V-Leiterschleife im homogenen Magnetfeld:



Induktionsspannung: Erklärung mit Lorentz-Kraft:

Bei Bewegung der Ladung Q – eines frei beweglichen Elektrons im Leiter – im Magnetfeld \vec{B} wirkt die Lorentz-Kraft \vec{F}_m (siehe (1*)). Dadurch werden diese Ladungen vom einen Leitersende an das andere gebracht und dort

angehäuft. Eine Spannung ^{entsteht} liegt zwischen den Enden.

Induktionsspannung aus Arbeit, welche die Lorentz-Kraft zur Verschiebung leistet:

Für die Arbeit W gilt zum einen: $W = \vec{F}_m \cdot \vec{s}$ mit \vec{s} Weg,

zum anderen gilt: $W = Q \cdot U_i$ mit U_i der Spannung.

Zur Vereinfachung wird wieder eine quadratische Leiterschleife mit Seitenlänge a , die mit Winkelgeschwindigkeit ω rotiert, betrachtet. ^{in den} Die waagerechten Leiterstücke liegen parallel ω wirkt \vec{F}_m senkrecht zum Leiter und bewirkt daher keine Verschiebung, im senkrechten Leiterstück wirkt sie parallel zum Leiter.

Daher erhält man für den Weg \vec{s} : $|s| = 2a$ die Arbeit, die die Lorentzkraft verrichtet um eine Ladung vom einen Leiterende zum anderen zu bringen:

$$W = F_m \cdot 2a = Q \sqrt{B} \sin(\omega t) \cdot 2a = Q B a^2 \omega \sin(\omega t)$$
$$= Q B A \omega \sin(\omega t).$$

und für die Spannung (mit $W = Q \cdot U_i$):

$$U_i = B A \omega \sin(\omega t).$$

(5)

Offensichtlich ergibt sich für die Spannung ein Sinusförmiges Verlauf und wir erhalten Wechselspannung. Die Umkehrung der Spannungsrichtung erfolgt wenn die Leiterschleife parallel zum B-Feld steht, nach „Durchquerung“ dieser „Grenze“ dreht sich der Kraftvektor um und wächst an, bis die Schleife senkrecht zum B-Feld steht, dann nimmt sie wieder ab.

~~(5)~~ ist eine Verallgemeinerung für eine Spule mit N Windungen erhalten man: $U_i = N \cdot B A \omega \sin(\omega t)$ (5)

Gleichung (5) ist ein Spezialfall für $\vec{B} = \vec{B}_0$ mit $\omega = \text{const.}$

Allgemein gilt: $U_i = -N \vec{B} \cdot \frac{d\vec{A}}{dt}$

(→ Auch Flächenänderung durch z.B. Deformation bewirkt U_i). ✓

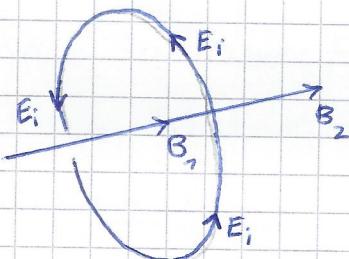
Magnetfeldmessung mit einer Leiterschleife

im Versuch wird die Spannung $U_i(t)$ registriert. Daraus erhält man den Maximalwert der Amplitude $\hat{U}_i = N B A \omega$.

Daraus ergibt sich die Flussdichte $B = \frac{\hat{U}_i}{N A \omega}$ ✓

Induktion durch Änderung des Magnetfelds

Feldlinienbild der el. Feldstärke eines sich betragsmäßig zeitlich verändernden magnetischen Flussdichteverektors.



E_i

Induktionsgesetz für zeitlich veränderliches Magnetfeld und unbewegten Leiter: $U_i = -A \cdot \frac{dB}{dt}$

Allgemeines Induktionsgesetz:

$$U_i = -N \cdot \frac{d}{dt} (\vec{B} \cdot \vec{A}) = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

mit Φ als den die Spule durchsetzenden magn. Fluss.

Für Φ in einem inhomogenen B -Feld erhält man

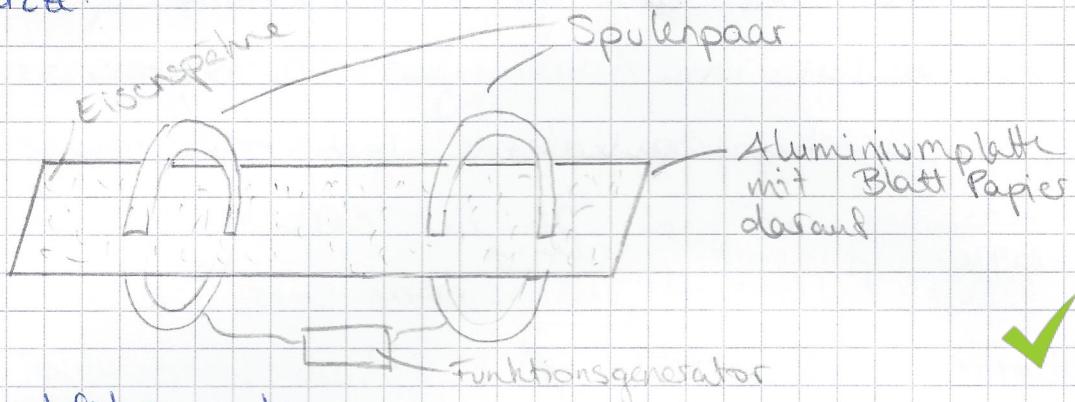
$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$



zu Teilversuch 1: Sichtbarmachen der
Magnetfeldlinien mit Hilfe von Eisenspänen.

Versuchsziel: siehe Titel des Teilversuchs

Skizze:



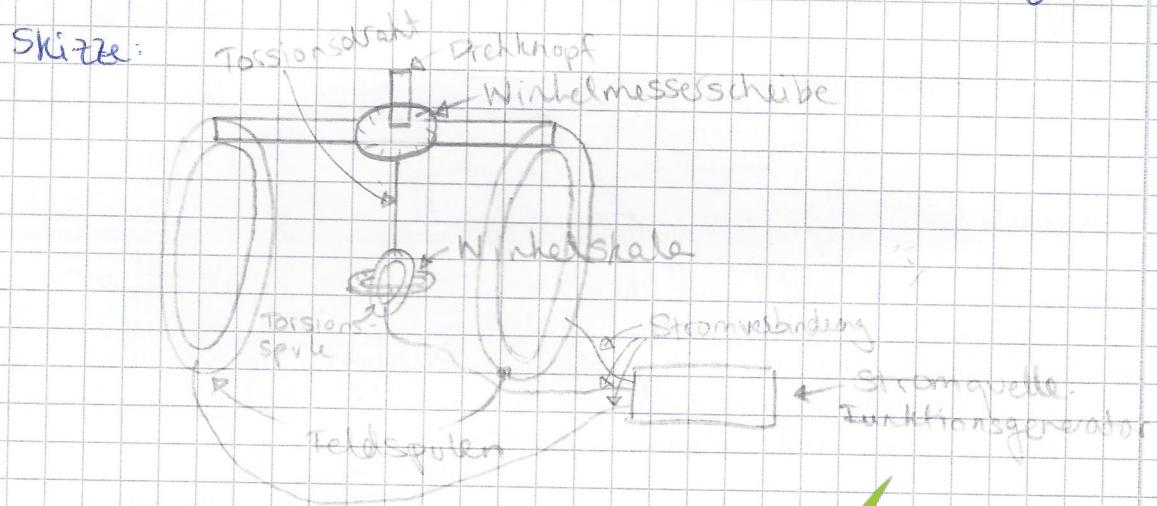
Durchführungsplanung:

- evtl. wird ein unbedrucktes DIN A3 Blatt für passend für die Aluminiumplatte zugeschnitten, dann wird es mit Klebeband daran befestigt
- Eisenspäne der Aluminiumplatte in die Halterung des Helmholtzspulen
- verteilt gleichmäßiges Verteilen von Eisenspänen auf der gesamten Platte
- Feldspulenstrom des Funktionsgenerators auf 0 stellen, Gerät einschalten und Feldspulenstrom erhöhen (langsam) bis Maximalwert, leicht Klopfen an Unterseite der Platte
- abzeichnen des sich ergebenden Feldlinienbildes, gegebenenfalls fehlende Feldlinien ergänzen
- Feldrichtung einzeichnen



Zu Teilversuch 2: Drehmoment des Feldes auf eine stromdurchflossene Spule

Ziel: Messung des Drehmoments, das ein Magnetfeld auf eine stromdurchflossene Spule ausübt in Abhängigkeit des Winkels zwischen Spulenachse und Feldrichtung



Durchführung

- Führt Feldstrom des Funktionsgenerators langsam auf 0 stellen, dann ausschalten des Gesäts
- Die Apparatur wird wie oben skizziert aufgebaut:
 - 1) Winkelstange in Spulenpaar einschieben
 - 2) Torsionsspule einbauen und mit Stromquelle verbinden
 - 3) Torsionsspule zentrieren indem Winkelstange positioniert und befestigt wird, danach senkrecht zum Spulenpaar ausrichten (Achse)
- Funktionsgenerator einschalten, Feld & Torsionsspulenstrom auf Maximalwert, Torsionsspule sollte nun ausgelenkt werden
- Torsionsspulenstrom ausschalten
- Flächenvektor der Torsionsspule entlang

Feldrichtung des Spulenpaars ausrichten

- Wiedereinschalten des Torsionsspulenstroms

↳ nun sollte kein Drehmoment auf Torsionsspule
wirken, sonst Aluminiumplatte mit Winkelhalter
nachjustieren

- bei eingeschaltetem Feld - und Torsionsspulen-
strom Winkel α durch Drehen des Drehknopfs
am Torsionsdraht in 10° -Schriften zwischen
 0° und 90° variieren. (α ist Winkel zw.
Torsionsspulenachse und Achse des Helmholtz-
Spulenpaars)

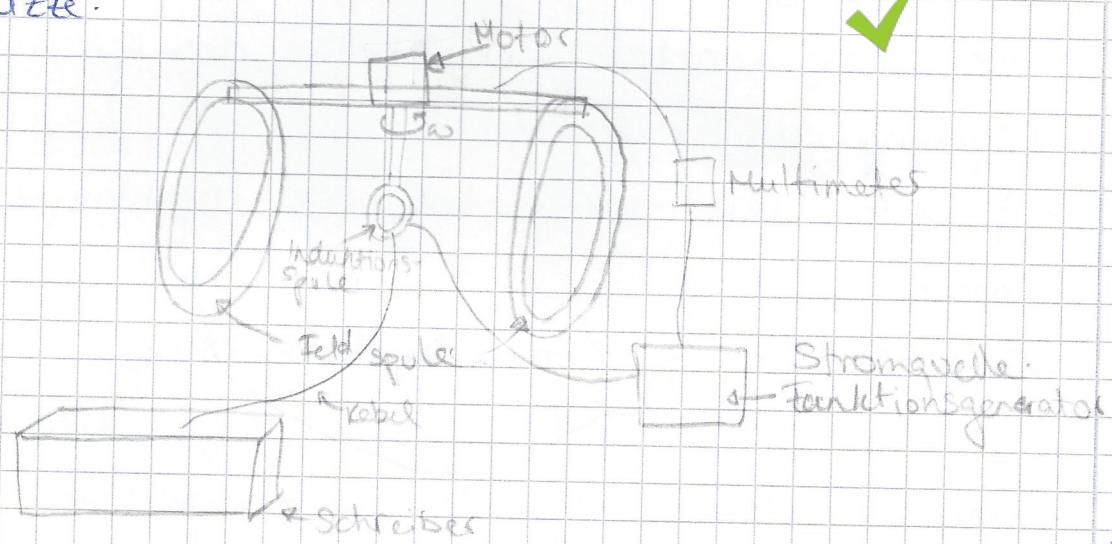
- Jeweils den Drehwinkel des Drehknopfs
messen
- Fehlerschätzung für Winkelmessung



zu Teilversuch 3: Induktion durch Drehen einer Spule in einem Magnetfeld

Ziel: Registrierung des zeitlichen Verlaufs des induzierten Spannung (bei Induktion durch Drehen einer Spule im Magnetfeld). Bestimmung der Feldstärke aus Messwerten und Feldspulengeometrie.

Skizze:



Durchführung

- Feldstrom des Funktionsgenerators langsam auf 0, dann Gerät ausstellen
- Am Schreiber folgende Einstellungen vornehmen:
 - 1) X-Axis: 1x1, Vernier: cal, Zero: oper, Timebase: reset, Mode: sec/cm
 - 2) Y-Axis: 1x1, Vernier: cal, Zero: oper
 - 3) Motors: stby, Pen: up
- Multimeter in Feldspulenzuleitung einbauen (Skizze), motorge
- motorgetriebene Induktionsspule einbauen
- Induktionsspule mit dünnen, flexiblen Kabeln an Y-Ablenkung des Schreibers anschließen



- Motor einschalten, auf nicht übermäßige Verdrillation des Räbel achten
- Funktionsgenerator einschalten und Feldstrom so einstellen, dass bei Y-Ablenkempfindlichkeit 100 mV cm^{-1} ohne Übersteuerung die Amplitude der Schreibbewegung möglichst groß ist
- mit Schreiber Nulllinie für induzierte Spannungen zeichnen
 - Ablenkfaktor auf 1 cm^{-1} , induzierte Spannung bei laufendem Motor mit Schreiber zeichnen
 - Schreibereinstellungen notieren
- Messe Durchmesser Induktionsspule, notiere Windungszahl der notiere $\bar{\omega}$ des Motors, Abstand und Breite der Feldspulen, Windungszahlen beider Spulen
- Strom von Multimeter ablesen



zu Teilversuch 4: Induktion durch zeitlich veränderliches Magnetfeld

Ziel: Induktion einer Spannung in unbewegte Spule durch zeitl. variables \vec{B} -Feld. Registrierung des zeitlichen Verlaufs des Feldstärke und der induzierten Spannung. Induktionsgesetz überprüfen

Skizze: siehe TV 3, ohne Multimeter

Durchführung:

Beim

- Funktionsgenerator den Feldstrom langsam auf 0 stellen, dann Gerät ausschalten, Schreiber in standby-Modus ~~anhalten~~
- Flächenvektor des Induktionsspule durch ~~an~~ in Feldrichtung ausrichten, Umlaufrichtung des Stroms beachten
- Falls alter Schreiber: Startbuchse für Schreiber am Funktionsgenerator mit ~~Bei~~ Schreiber verbinden
- Falls Funktionsgenerator auf Dreieck schalten,
- Funktionsgenerator einschalten und Dreiecksfunktion starten
- mit Hilfe einer Stoppuhr Frequenz ~~stufen~~ so einstellen, dass Periodendauer etwa 20s
- Lese Widerstand ab (hier mit mittels Ohmschen Gesetz ~~da~~ und der aufgezeichneten Spannung $\frac{\text{Feldstrom}}{\text{Spulen}}$)
- Ablenkfelder für Y-Eingang: 20 mV cm^{-1} , falls alter Schreiber: 25 mV cm^{-1} 
- Amplitude des Dreiecksfunktion so einstellen, dass knapp die halbe Blattfläche genutzt ist

- An Schreiber einstellen: XY/YT-Taster auf YT, reziproke Geschwindigkeit auf 1 cm^{-1} , dann start
- Feldstrom starten und mit Schreiber in der oberen Blathälfte aufzeichnen
- sobald dieselbe Leuchtdiode wie anfangs leuchtet die zeitliche Funktion des Feldstroms stoppen
- mit Schreiber Nulllinie des Feldstroms zeichnen
- Zeich auf untere Blathälfte Induktions- spannung aufzeichnen
- mit Schreiber Nulllinie der Induktionsspannung
- Wiederhole (*) auf gleichem Papier, wobei Amplituden des Feldstroms in äquidistanten Schritten reduziert werden
- Schreibereinstellung notieren
- & Feldstrom langsam auf 0 schalten, dann Funktionsgenerator ausschalten



14.1

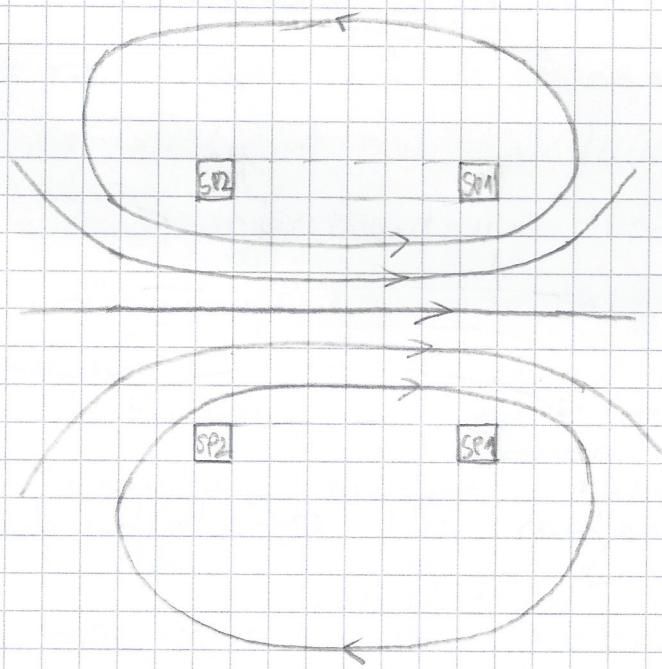
Protokoll

Clara Weser, 11.08.20

Durchführung: TV 1

- Aluminiumplatte wurde eingespannt und Eisenspäne verteilt

Feldlinienbild:



TV 2

Durchführung

- Apparatur aufgebaut wie in Vorbereitung beschrieben
- wenn ausgerichtet bewegt sich Torsionsspule bei eingeschaltetem Strom nicht

Messung der Winkel β für verschiedene α .

α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
β	20° 160°	184°	208°	227°	249,5°	270°	287,5°	301°	315°	327,5° 326°

Die 20° waren von der anderen Skala.

Ich habe aus Verschen leicht schräg abgelesen

- Anmerkung: Die Zentrierung der Torsionsspule war nicht exakt, so das bei der Einstellung des Winkels α Abweichungen von $\pm 1^\circ$
- Fehler beim Ablesen des Winkels $\beta: \pm 0,5^\circ$



TV 3

Durchführung:

- Aufbau wie in Vorbereitung, Papier in Schreiber einlegen
- Schreibereinstellungen

Ablenk sensitivität in Y-Richtung: $0,1 \frac{V}{cm}$

Mitti Schreiber bewegt sich mit 15 cm

- Multimeteranzeige: $0,991 A$, Fehler laut Tabelle:
 $\pm 0,4\%$ des Messwert + 3 Digits
 $1,0\%$.
- Zeichnung angefertigt
- Fläche Induktionsspule: $23,1 \text{ cm}^2$
Windungszahl " " $N = 82800$
- Motor: über $16,6$ Umdrehungen pro Minute für 60 Hz -Netz
hier: 50 Hz Netz}
- Windungszahl Helmholtzspule: 528
- Abstand (außen) der Spulen: $16,85 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$
Durchmesser je Spule: $3,1 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$



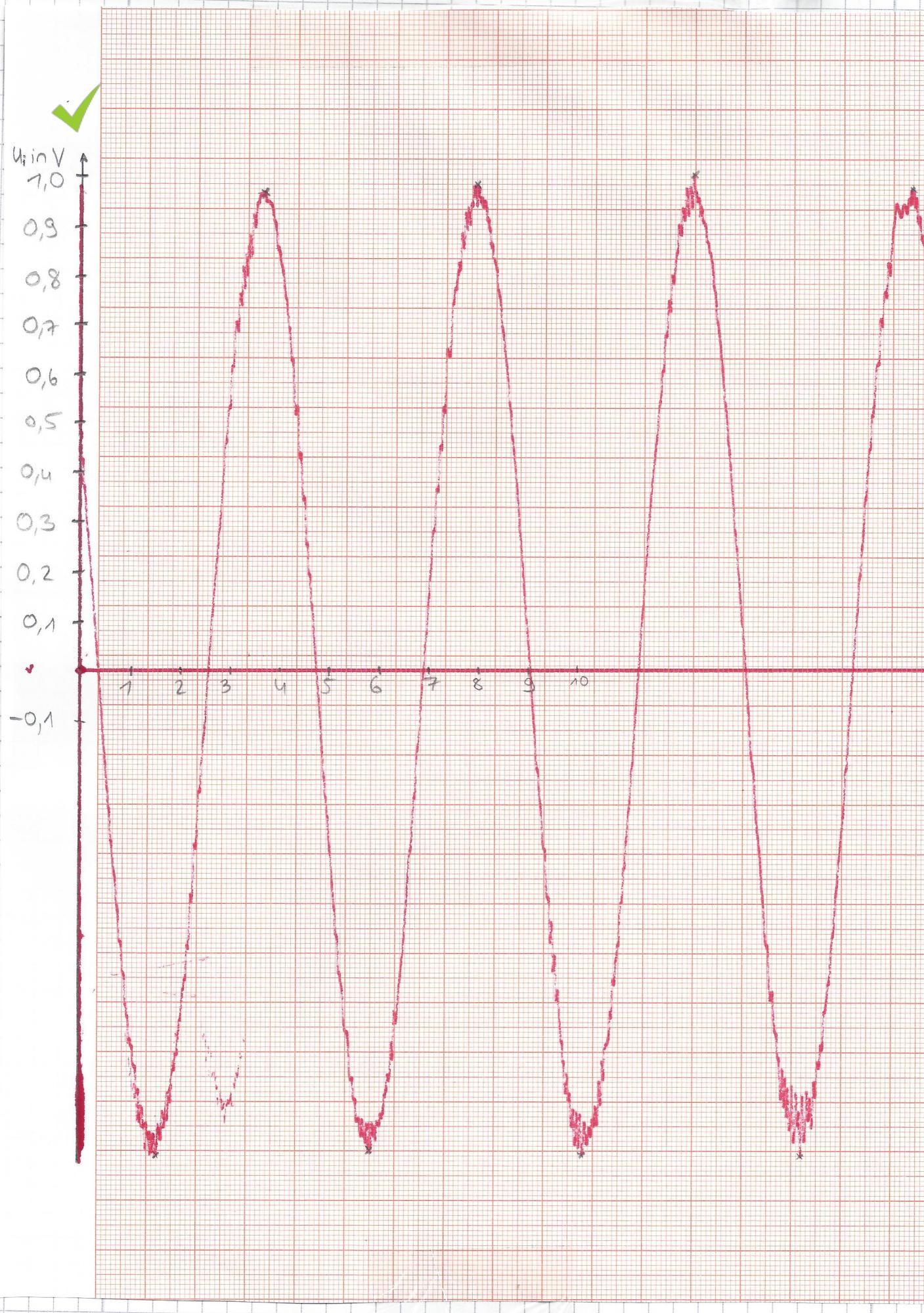
TV 4

Durchführung

- ~~die~~ Induktionsspule ausgerichtet
- Papier in Schreiber gelegt
- eingestellte Frequenz $8,2 \pm 0,082 \text{ Hz} \pm 0,001 \text{ Hz}$
- gemessene Periodendauer (mit Stoppuhr): $19,64 \pm 0,55 \text{ s}$
- Dreiecksfunktion ist eingestellt
- Ablenkempfindlichkeit des Schreibers: 20 mV/cm
- Feldstrom und Induktionsspannung gemessen
- (- Anmerkung für mich: grünes Kabel rechts, gelbes links in Y-Input)
- Starten, wenn Feldspulenstrom auf „ab“.
- Widerstand der Spule (eingebaut) für Feldstrom:
 $0,150 \Omega \pm 0,002 \Omega$



zu TV 3:





$I_{\text{feld}} \text{ in A}$

0,7998

0,6665

0,5332

0,3999

0,2666

0,1333

0

-0,1333

-0,2666

-0,3999

-0,5332

-0,6665

-0,7998

$I_{\text{feld}} - t - \text{Diagramm}$



$$0,4332A - (-0,2666A) = 0,3332A$$

$$0,2666A - (-0,3999A) = 0,665A$$

$$0,3999A - (-0,5332A) = 0,9332A$$

$$0,5332A - (-0,6665A) = 1,1997A$$

$$0,6665A - (-0,7998A) = 1,5336A$$

$$+ 0,7998A = (= 0,7998A)$$

$$12,0s - 4,9s = 7,1s$$

$$12,5s - 4,9s = 7,6s$$

$$13,0s - 4,8s = 8,2s$$

$$13,3s - 4,6s = 8,7s$$

$$14,15s - 4,8s = 9,35s$$



$U_i \text{ in mV}$

120

100

80

60

40

20

0

$U_i - t - \text{Diagramm}$

-20

-40

-60

-80

-100

⑤

④

③

②

①

-36 mV

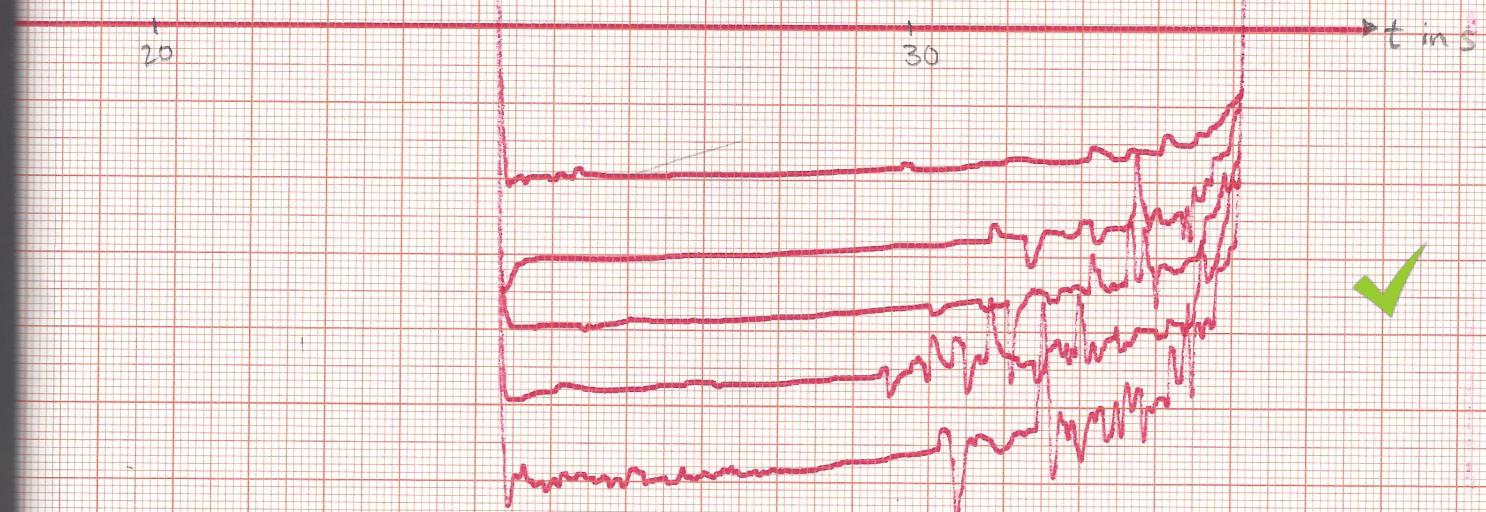
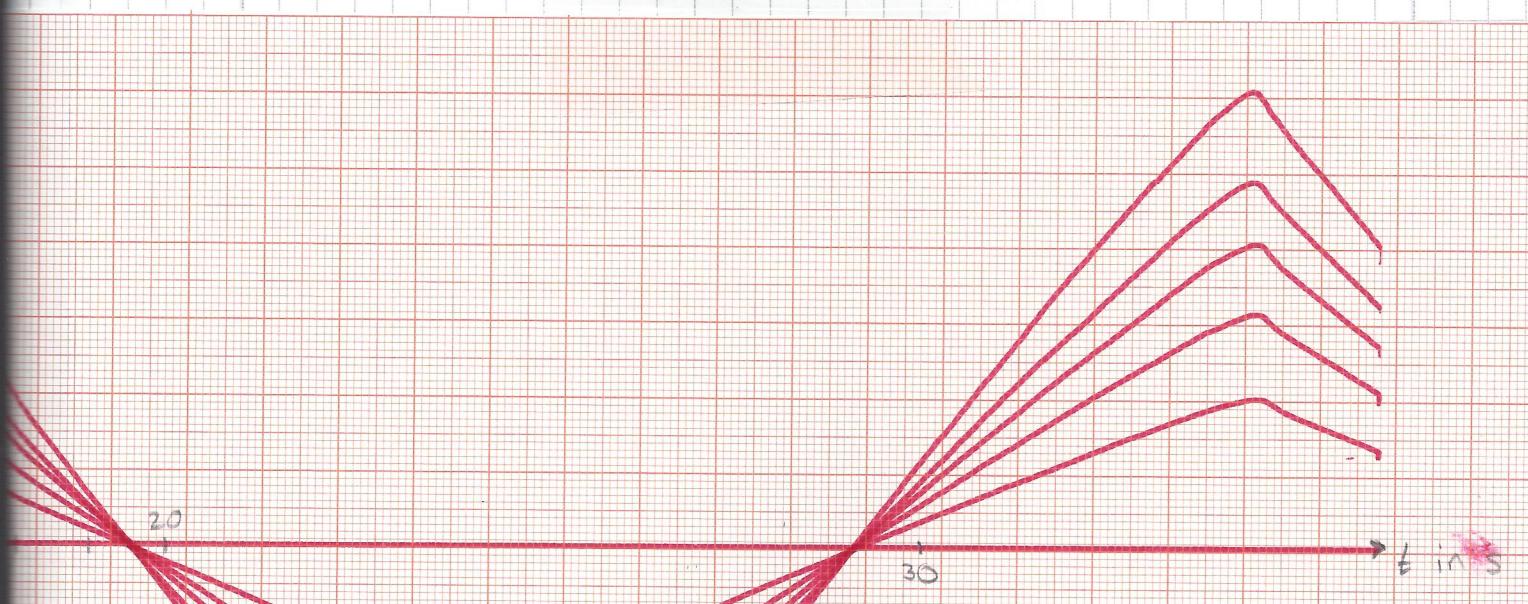
-58 mV

-74 mV

-92 mV

-112 mV





I
9
0
0
0
U 0
0
0
0
-0
-0

U_i in
120
100
80
60
40
20
-2
-4
-6
-8
-10

LMU München
Physikalische Praktika

Versuch: HAG

Datum: 11.08.20

Betreuer: Hofrich

Auswertung

TV1: keine Auswertung nötig

TV2:

Winkel φ (Verdrillungswinkel): $\varphi = \alpha - \beta$

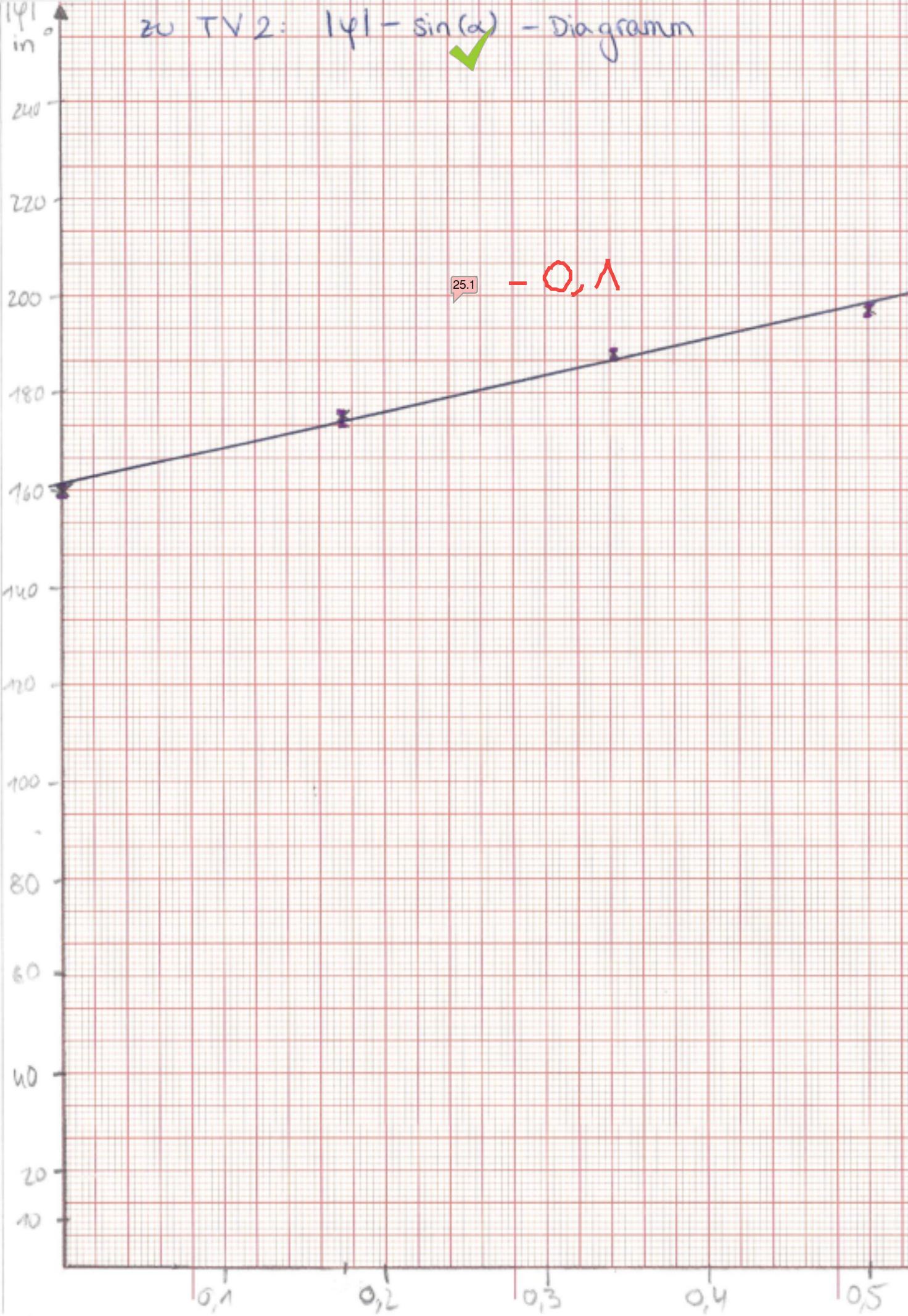
aus Protokoll	α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	β	160°	184°	208°	227°	$249,5^\circ$	270°	$287,5^\circ$	301°	315°	326°
	$\varphi = \alpha - \beta$	-160°	-175°	-188°	-197°	$-209,5^\circ$	-220°	$-227,5^\circ$	-231°	-235°	-236°
	$\sin(\alpha)$	0	0,1736	0,3420	0,5000	0,6428	0,7660	0,8660	0,9397	0,9848	1

Fehler von φ : (Fehler von α soll vernachlässigt werden): $\Delta\varphi = \Delta\beta = \pm 0,5^\circ$

Die Punkte liegen im Rahmen der Fehlersgrenzen auf einer Geraden, diese geht jedoch nicht durch den Nullpunkt. Dies liegt jedoch daran, dass für keine Auslenkung der Dipolachse ($\alpha = 0^\circ$) der Torsionswinkel nicht φ nicht auf 0° festgelegt wurde. Die Gerade geht jedoch im Rahmen der Messgenauigkeit durch den Punkt $(\alpha = 0, \varphi(\alpha=0)) \approx (0, 160^\circ \pm 0,5^\circ)$

24.1





TV 3:

Für Amplituden aus Schreiberdiagramm:

(Bemerkung: hierzu wurde jeweils der höchste gemessene Wert gewählt)

Induktionsspannungsmaxima: (von links nach rechts) in V:

$$0,96 \mid 0,98 \mid 1,00 \mid 0,97 \mid 0,99 \mid 0,985 \mid 0,97 \mid 0,98$$



Induktionsspannungsminima: Ein V (von links nach rechts):

$$-0,98 \mid -0,97 \mid -0,98 \mid -0,98 \mid -0,97 \mid -1,00 \mid -0,98 \mid -0,97$$



Für Amplituden können Maxima und Beträge der Minima gewählt werden.

$$\text{Mittlere Amplitude} = \frac{\sum \text{einzelne Amplitudenwerte}}{\text{Anzahl Amplitudenwerte}}$$



$$\hat{U}_i = \bar{A} = \frac{1}{16} \cdot (0,96 + 0,98 + 1,00 + 0,97 + 0,99 + 0,985 + 0,97 + 0,98 + 0,98 + 0,97 + 0,98 + 0,98 + 0,97 + 1,00 + 0,98 + 0,97) \\ = 0,9791 \text{ V}$$

Fehler mittels Standardabweichung:



$$\sigma_{\hat{U}_i} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{k=1}^n (U_{ik} - \hat{U}_i)^2}$$

mit n Anzahl der Werte

$$= \sqrt{\frac{1}{16 \cdot 15} \cdot [(0,96 - \hat{U}_i)^2 + (0,98 - \hat{U}_i)^2 + (1,00 - \hat{U}_i)^2 + (0,99 - \hat{U}_i)^2 + (0,985 - \hat{U}_i)^2 + (0,97 - \hat{U}_i)^2 + (0,98 - \hat{U}_i)^2 + (0,98 - \hat{U}_i)^2 + (0,97 - \hat{U}_i)^2 + (0,98 - \hat{U}_i)^2 + (0,98 - \hat{U}_i)^2 + (0,97 - \hat{U}_i)^2 + (1,00 - \hat{U}_i)^2 + (0,98 - \hat{U}_i)^2 + (0,97 - \hat{U}_i)^2]} \\ = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

$$\Rightarrow \hat{U}_i = (0,9791 \pm 0,0027) \text{ V}$$



Magnetische Flussdichte $|\vec{B}|$ mit folgender Formel: $\boxed{\text{H2}}$

$$|\vec{B}| = B_{z,z} = \frac{\hat{U}_i}{N \cdot A \cdot \omega}$$

mit $\hat{U}_i = (0,9791 \pm 0,0027) \text{ V}$, $N_{\text{Windspule}} = 82800$

$$A_{\text{Windspule}} = 23,1 \text{ cm}^2 = 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\omega =$$

Für ω :

Laut Hersteller: ~~aus~~ Motor läuft mit 16,6 Umdrehungen
 $(= f_{\text{umdr.}})$ pro Minute bei Netzfrequenz von 50 Hz

Im Versuch hatten wir 50 Hz $\Rightarrow f = 16,6 \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{50 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}}$

$$= 13,8333 \frac{1}{\text{min}} = 0,230556 \text{ Hz} \approx 0,2306 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 0,2306 \text{ Hz} \approx 1,4486 \frac{\pi}{\text{s}}$$

Ber

$$0,9791 \text{ V}$$

$$\rightarrow B_{z,z} = \frac{0,9791 \text{ V}}{82800 \cdot 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 1,4486 \frac{\pi}{\text{s}}} = 3,5338 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Die Werte für ~~N, A~~ $N_{\text{Windspule}}$, $A_{\text{Windspule}}$ und $f_{\text{umdr.}}$
sind vom Hersteller ohne Fehler angegeben, daher werden
sie als fehlerfrei angenommen, somit geht nur der
Fehler von \hat{U}_i in den Fehler von $B_{z,z}$ ein. $B_{z,z} \sim \hat{U}_i$.

Verwende also Methode der Linearisierung:

$$\Delta B = \frac{\Delta(B(\hat{U}_i + \Delta \hat{U}_i)) - B(\hat{U}_i)}{\Delta \hat{U}_i}$$

$$\text{mit } B_z(\hat{U}_i + \Delta \hat{U}_i) = \frac{(0,9791 + 0,0027) \text{ V}}{82800 \cdot 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 1,4486 \frac{\pi}{\text{s}}} = 3,5435 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\Rightarrow \Delta B_{z,z} = \frac{(3,5435 - 3,5338) \cdot 10^{-3} \text{ T}}{0,0027} = 8,7 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

$$\Rightarrow B_{z,z} = (3,5338 \pm 0,0010) \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Magnetische Flussdichte mittels des Formel:

$$B_{1,1} = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{NI}{R}$$

mit μ_0 magnetische Feldkonst. $\approx 1,2566 \cdot 10^{-6}$, 28.1

$$N_{\text{Feldspulen}} = 528$$

$I = 0,991 \text{ A}$ mit Fehler $\pm 1,0\%$ des Messwerts + 3 Digits

$$\Rightarrow \Delta I = (0,991) \cdot 0,01 \text{ A} + 0,03 \text{ A} = 0,013 \text{ A}$$

$$\rightarrow I = (0,991 \pm 0,013) \text{ A}$$

$R_{\text{Feldsp.}} = \text{Außenabstand Spulen} - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \text{Durchmesser je Spule}$

$$= 16,85 \text{ cm} - 3,1 \text{ cm} = 13,75 \text{ cm} = 0,1375 \text{ m}$$

$$\Delta R = \pm (0,05 \text{ cm} + 0,05 \text{ cm}) = \pm 0,1 \text{ cm} = 0,001 \text{ m}$$

$$\Rightarrow R_{\text{Feldsp.}} = (0,137 \pm 0,001) \text{ m}$$

$$\Rightarrow B_{1,1} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{528 \cdot 0,991 \text{ A}}{0,137 \text{ m}} = 3,4342 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Fehler von $B_{1,1}$ mittels Gauß.

Gleichung hat die Form: $B = K \cdot I^1 \cdot R^{-1}$ mit $K = \text{const.}$

Daher gilt (siehe AMW Gl. 16):

$$\begin{aligned} \frac{\Delta B_{1,1}}{B_{1,1}} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,013 \text{ A}}{0,991 \text{ A}}\right)^2 + \left(\frac{0,001 \text{ m}}{0,137 \text{ m}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{2,254 \cdot 10^{-4}} \quad \Rightarrow \Delta B = 2,254 \cdot 10^{-4} \cdot 3,4342 \cdot 10^{-3} \\ &= 0,015 \quad = 8 \cdot 10^{-7} \end{aligned}$$

$$\rightarrow \Delta B_{1,1} = \frac{\Delta B}{B_{1,1}} \cdot B_{1,1} = 0,015 \cdot 3,4342 \cdot 10^{-3} \text{ T} = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\Rightarrow B_{1,1} = (3,43 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$B_{1,2} - \Delta B_{1,2} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ T} > 3,49 \cdot 10^{-3} \text{ T} = B_{1,1} + \Delta B_{1,1}$$

\rightsquigarrow Die beiden Werte stimmen nicht überein

$$B_{1,2} - 3 \cdot \Delta B_{1,2} = 3,50 \cdot 10^{-3} \text{ T} < 3,61 \cdot 10^{-3} \text{ T} = B_{1,1} + 3 \cdot \Delta B_{1,1}$$

\rightsquigarrow Die beiden Werte sind verträglich miteinander.

Vermutlich habe ich meine Messfehler beim Spulenabstand und -Breite unterschätzt

von v.
und die Amplituden etwas ungenau abgeschätzt.

TV 4:

Für skaliert Koordinatensystem:

$$R = 0,150 \Omega \pm 0,002 \Omega, \text{ Ablenkempfindlichkeit: } 20 \text{ mV/cm}$$

mit Ohmschen Gesetz:

$$\frac{I}{cm} = \frac{U}{cm} \cdot \frac{1}{R} = \frac{20 \text{ mV/cm}}{0,150 \Omega} = \frac{0,020 \text{ V/cm}}{0,150 \Omega} = 0,133 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

$$0,13333 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

Fehler von I/cm (für Zeichnung nicht relevant, aber weil nicht eingezeichnet, aber wichtig zu wissen):

$$\left| \frac{I}{cm}(R+\Delta R) - \frac{I}{cm}(R) \right| = \left| \frac{0,020 \text{ V/cm}}{0,152 \Omega} - \frac{0,020 \text{ V/cm}}{0,150 \Omega} \right| = 0,0018 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

$$\Rightarrow \frac{I}{cm} = (0,1333 \pm 0,0018) \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$



Steigungen m : $m = \frac{\Delta I_{\text{feld}}}{\Delta t}$



Steigungen zu den Kurven ①-⑤: (ΔI_{feld} und Δt in Diagramm):

$$\textcircled{1}: m_1 = \frac{9,5996 \text{ A}}{9,35 \text{ s}} = 0,171 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$\textcircled{4}: m_4 = \frac{0,6665 \text{ A}}{7,6 \text{ s}} = 0,088 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$\textcircled{2}: m_2 = \frac{1,1997 \text{ A}}{8,7 \text{ s}} = 0,138 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$\textcircled{5}: m_5 = \frac{0,3999 \text{ A}}{7,1 \text{ s}} = 0,056 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$\textcircled{3}: m_3 = \frac{0,9331 \text{ A}}{8,2 \text{ s}} = 0,114 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$



Induktionsgesetz: $U_i = -N \cdot \frac{d}{dt} (\vec{B} \cdot \vec{A}) = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

Da hier $A = \text{const}$ gilt hier: $U_i = -N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$

Überprüfe Induktionsgesetz, indem Steigung m gegen U_i

aufgetragen wird ($B_{n,i} = \mu_0 \left(\frac{U_i}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{NI}{R} \sim I \Rightarrow \frac{dB}{dt} \sim \frac{dI}{dt} = m$).

↪ siehe $\frac{dI_{\text{feld}}}{dt} - U_i$ -Diagramm rechts.

Die ermittelten Punkte (U_i ; siehe U_i -t-Diagramm in

$\frac{dI_{\text{feld}}}{dt}$	-36	-58	-74	-92	-112	U_i in mV
m in $\frac{\text{A}}{\text{s}}$	0,056	0,088	0,114	0,138	0,171	

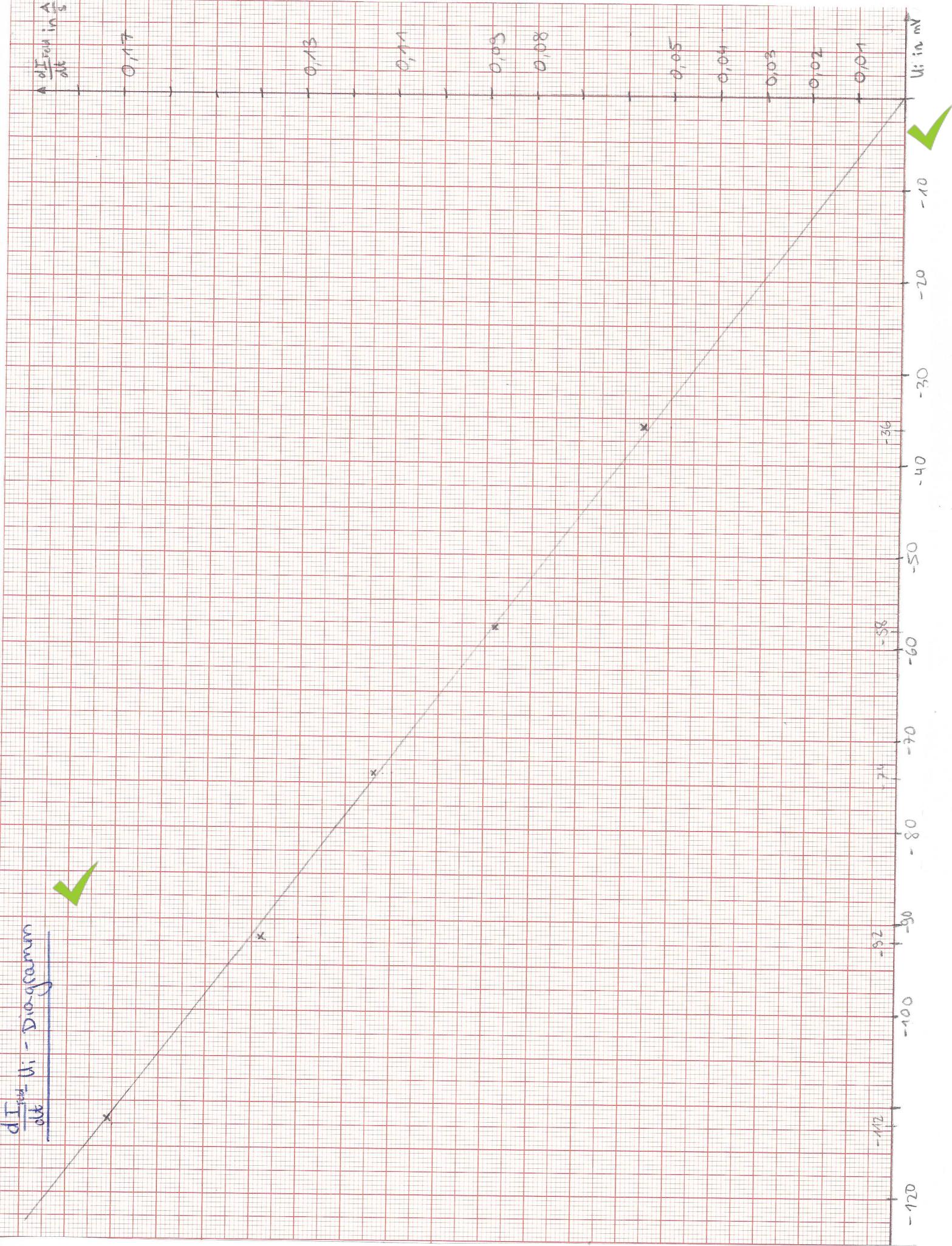


liegen auf einer Geraden durch den Ursprung

(im Rahmen der Ablseungenauigkeit des Feldstroms, der Zeit, und des Induktionsstroms bzw. im Rahmen der Ungenauigkeit der Geradenlegungen).

Schnell wurde das Induktionsgesetz experimentell bestätigt.

$\frac{dI}{dt}$ - U_i - Diagramm



Index der Kommentare

- 14.1 Sehr gute Vorbereitung! :)
- 24.1 Wie kannst du das ohne Fehlerstreifen bestimmen?
- 25.1 Es fehlt: Fehlerstreifen
Auf deiner gewählten Skala wäre es ziemlich friemlig einen Fehlerstreifen einzuzeichnen. Als Tipp fürs nächste Mal: Suche den minimalen und maximalen Messpunkt und passe deine Skala auf dem Millimeterpapier entsprechend an. Dann sind deine Messpunkte mit einem größeren Abstand auf deinem Graphen verteilt und das Einzeichnen eines Fehlerstreifens geht deutlich einfacher.
- 28.1 Einheit?