

Inhaltsverzeichnis

Seite	Inhalt
2	Allgemeines
3	Einführung
4	Fragen zur Vorbereitung
13	Auswertung
27	Vergleich
	Messprotokoll

Versuch: Magnetische Hysterese - Transformator

1. Allgemeines:

Teilnehmer

- Protokoll: Anna-Maria Pleyer
- Messungen: Dominik Müller

Ort

Universität Bayreuth, NWII

Raum

2. 1. 02. 669

Datum

Freitag, 23. Oktober 2020

Gruppennummer: 3

Versuchsplatz

Der einzige im Raum

2. Einleitung:

Eine der wichtigsten Bestandteile der modernen Infrastruktur ist die moderne Stromversorgung. Um Strom effizient über lange Strecken zu transportieren zu können, sind hohe Spannungen erforderlich. Dies minimiert Verluste durch den spezifischen Widerstand in Kabeln. Solche hohen Spannungen sind für den Verbraucher nicht direkt nutzbar, weshalb Transformatoren für die Funktionalität der Stromversorgung unabdingbar sind.

Dieser Versuch trägt zu einem besseren Verständnis dieser wichtigen Technologien bei. Des Weiteren werden auch allgemeinere Effekte, wie elektromagnetische Induktion oder magnetische Hysterese behandelt.

3 Fragen zur Vorbereitung

3.1 Frage 1

- Diamagnetismus:

Bei diamagnetischen Stoffen handelt es sich um Materialien, die aus Atomen bzw. Molekülen, ohne permanentes mag. Dipolmoment bestehen. Setzt man diese Materialien jedoch einem Magnetfeld aus, so entstehen induzierte Dipole, die dem äußeren Magnetfeld entgegen wirken. Das führt dazu, dass das innere Magnetfeld kleiner wird. Folglich ist die Magnetisierung $M = \chi_m \cdot H$ dem äußeren Feld entgegengerichtet. Das heißt, dass die Suszeptibilität χ_m negativ ist. [vgl. Demtröder, EP 2,3,5.3 Diamagnetismus] Die Permeabilitätszahl ist dementsprechend etwas kleiner als 1.

Die Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität χ_m wird von dem Curieschen Gesetz beschrieben:

$$\chi_m = \frac{C}{T}$$

C: stoffspezifische Curiekonstante

T: Temperatur

[vgl. EKS, Abschnitt 28]

✓

⇒ Die Effekte nehmen also bei steigender Temperatur ab.

Der Ursprung des diamagnetismus liegt in der Lenz'schen Regel.

- Paramagnetismus:

Die Atome paramagnetischer Stoffe besitzen im Gegensatz zu diamagnetischen Stoffen permanente magnetische Dipole, deren Orientierung jedoch durch thermische Bewegungen willkürlich ist. Ein äußeres Magnetfeld führt dazu, dass die Dipole teilweise ausgerichtet werden.

[vgl. Demtröder, EP 2, 3.5.4, Paramagnetismus]

Das innere Magnetfeld wird also verstärkt.
Daraus folgt, dass die Suszeptibilitätszahl positiv ($\chi_m > 0$) ist und die Permeabilitätszahl größer 1.!

Das Curie-Weiss Gesetz gilt weiterhin, was zur Folge hat, dass die Effekte bei steigender Temperatur schwächer werden. ✓

- Ferromagnetismus:

Bei ferromag. Stoffen ist χ_m sehr groß und die Permeabilitätszahl ist sehr viel größer als 1.

Auf atomarer Ebene kann der Ferromagnetismus durch die weibsohen Bezirke erklärt werden.

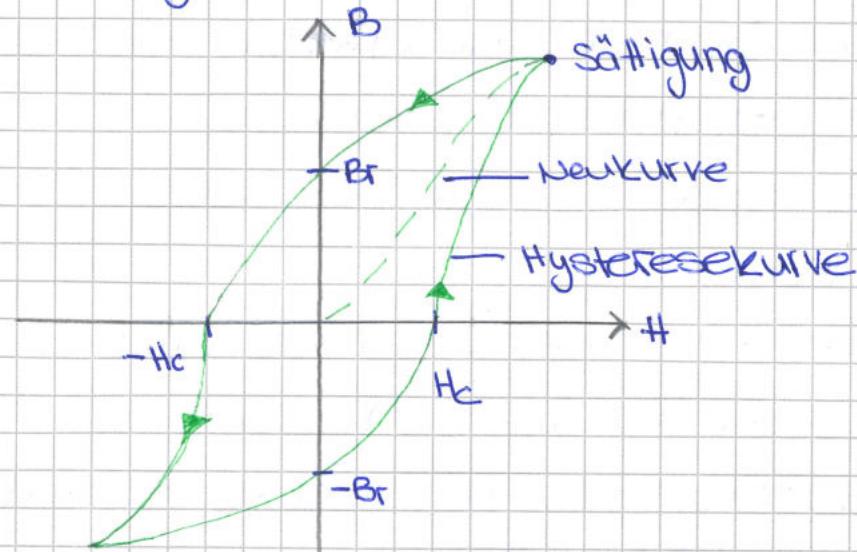
Ähnlich wie bei paramagnetischen Stoffen bestehen Ferromagneten aus paramagnetischen Atomen. Jedoch sind die einzelnen Paramagneten innerhalb kleiner Bereiche (Weißsche Bezirke) vollkommen parallel ausgerichtet. Die Grenzen zwischen den Bezirken heißen Bloch-Wände und sind einige Atomlagen dick. Ohne äußeres Magnetfeld sind die einzelnen Weißsche Bezirke zufällig ausgerichtet.

Wird nun ein Magnetfeld angelegt wachsen zuerst diejenigen Bezirke, auf Kosten der anderen, die im äußeren Magnetfeld die geringere potentielle Energie haben. Dies geschieht sehr schnell, weshalb die Magnetisierung bei kleinen äußeren Feldern bereits stark ansteigt.

Eine weitere Besonderheit ist, dass die Magnetisierung, auch nachdem das äußere Feld verschwunden ist, teilweise erhalten bleibt.

✓

3.2 Frage 2



Bringt man eine ferromagnetische Probe (z.B. Eisen, Kobalt oder Nickel) in ein magnetisches Wechselfeld mit der Feldstärke H , so kann die Flussdichte B durch die Hysteresekurve beschrieben werden. Die Neukurve ist die Kurve einer unmagnetisierten Probe.

Die Sättigungsfeldstärke ist der Bereich, indem der Feldauwachs nur noch mit dem Verstärkungsfaktor M_0 erfolgt. ✓

Wird die Feldstärke auf Null gebracht, geht die Flussdichte nur bis zur remanenten Flussdichte B_r (Remanenz) zurück. ✓

Das Koerzitivfeld ist das äußere Feld mit genau der Koerzitivfeldstärke H_c , die benötigt wird um die remanente Flussdichte zu kompensieren. ✓

[vgl. EVS, Abschnitt 28]

Allgemein spricht man von Hysterese, wenn die Änderung, hervorgerufen durch eine ursache, verzögert eintritt.

3.3 Frage 3

Die Hysteresekurve stellt die Abhängigkeit zwischen dem Magnetfeld H und dem resultierenden Feld B dar. Sie ist außerdem abhängig vom verwendeten Material.

Der Flächeninhalt der Hysteresekurve beschreibt, die Energie E die zur Ummagnetisierung der Probe während einer Periode notwendig ist, dividiert durch dessen Volumen V .

$$\oint \vec{B} d\vec{H} = \frac{E}{V}$$

Für Permanentmagnete werden Materialien benötigt, bei denen sowohl B_r als auch H_c möglichst groß ist. Das heißt die Hysteresekurve sollte möglichst breit sein und eine große Fläche haben. ✓

Bei Transformatoren verhält es sich genau anders. Hier sind Materialien mit schmaler Hysteresekurve von Vorteil. Durch eine kleinere Fläche wird auch weniger Energie verbraucht, also ist H_c möglichst klein. ✓

3.4 Frage 4

Für den idealen Transfomator gelten folgende Gleichungen:

$$\tilde{U}_1 = i\omega L_1 \tilde{I}_1 + i\omega L_{12} \tilde{I}_2$$

$$\tilde{U}_2 = i\omega L_2 \tilde{I}_2 + i\omega L_{12} \tilde{I}_1$$

a) Transfomator im Leerlauf: $R = \infty \Rightarrow \tilde{I}_2 = 0$

also gilt:

$$\begin{aligned}\tilde{U}_1 &= i\omega L_1 \tilde{I}_1 \\ \tilde{U}_2 &= i\omega L_{12} \tilde{I}_1\end{aligned} \Rightarrow \frac{\tilde{U}_2}{\tilde{U}_1} = \frac{L_{12}}{L_1}$$

Da $L_{12} \sim N_1 N_2$ und $L_1 \sim N_1^2$ folgt:

$$\frac{\tilde{U}_2}{\tilde{U}_1} = \frac{N_1 N_2}{N_1^2} = \frac{N_2}{N_1} \quad \checkmark$$

Für die Leistung $P = U \cdot I$ gilt:

$$P = i\omega L_1 \tilde{I}_1^2$$

b) Transfomator mit Kurzschluss: $R = 0 \Rightarrow \tilde{U}_2 = 0$

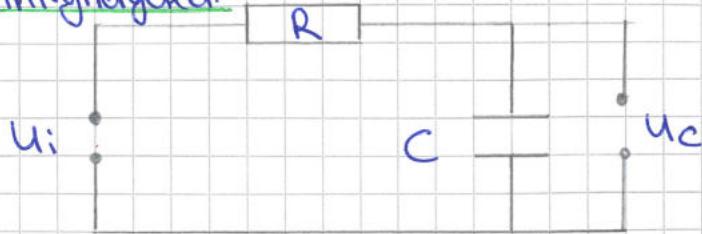
Somit gilt:

$$\tilde{U}_2 = i\omega L_2 \tilde{I}_2 + i\omega L_{12} \tilde{I}_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{\tilde{I}_2}{\tilde{I}_1} = -\frac{L_{12}}{L_2} = -\frac{N_1}{N_2} \quad \checkmark$$

3.5 Frage 5

Integrierglied:



Für U_c gilt: $U_c(t) = \frac{Q(t)}{C}$ wobei $Q(t)$ die Ladungen des Kondensators beschreibt

$$Q(T) = \int_0^T I(t) dt$$

$$\leadsto U_c = \frac{1}{C} \int_0^T I(t) dt = \frac{1}{RC} \int_0^T (U_c - U_i) dt$$

$$\Rightarrow U_c \approx \int_0^T U_i dt \quad \text{für } U_i \gg U_c$$

Aus $U_i \ll U_c$ folgt:

$$\frac{I}{U_C} \ll IR \Leftrightarrow 1 \ll RC\omega = RC \frac{2\pi}{T}$$

$$\Rightarrow T \ll RC \quad \text{mit } RC = \tau \quad \text{folgt:}$$

$$\Rightarrow T \ll \tau$$

Das heißt die Zeitkonstante τ muss wesentlich größer sein, als die Dauer der Zustandsänderung T .
Für die Zeitkonstante gilt:

$$\underline{\tau = RC = 15 \text{ M}\Omega \cdot 20 \mu\text{F} = 300 \text{ s}}$$

✓

(Angaben s. Skript)

3.6 Frage 6

Belastet man die Sekundärseite des Transformators, so fließt ein Strom I_2 , der einen mag. Fluss Φ_2 erzeugt.

Dieser mag. Fluss Φ_2 ist gegenüber dem von I_1 erzeugtem mag. Fluss Φ_1 um 90° phasenverschoben.

Also sind Strom I_1 und Spannung U_1 in der Primärspule nicht in Phase.

Die Spannung U_2 ist phasenverschoben gegen den mag. Fluss Φ_1 , ebenfalls um 90° , somit ist der Strom I_2 und die Spannung U_2 phasengleich.

[vgl. Demtröder, Abschnitt 5.6.2]

Die Wirkleistung bezeichnet die Leistung, die vom Verbraucher in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Die Einheit ist Watt. ✓

Als Blindleistung wird die Leistung im Wechselstromkreis bezeichnet, die periodisch zwischen Verbraucher und Quelle ausgetauscht wird. ✓

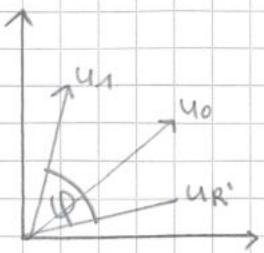
Die Einheit der Blindleistung ist Volt-Ampere-reactive.

Scheinleistung ist die Leistung, die eine Quelle einem Verbraucher zur Verfügung stellen muss. Sie setzt sich aus der Wirkleistung und Blindleistung zusammen. ✓

$$P_S = \sqrt{P_B^2 + P_W^2} = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}}$$

↑ Blindleistung ↑ Wirkleistung

Gleichung (1) gilt:



Mit dem Kosinussatz gilt:

$$U_0^2 = U_{R'}^2 + U_1^2 - 2U_{R'}U_1 \cos(180^\circ - \varphi)$$
$$\Rightarrow \underline{\underline{\cos \varphi = \frac{U_0^2 - U_1^2 - U_{R'}^2}{2U_1U_{R'}}}}$$

4 Auswertung

4.1 Hysteresekurve von Trafoblech

Nur die Schichterstellung S wurde vorgegeben.

Die gemessenen Größen sind, zum einem der Strom I_1 durch die Primärspule, und zum anderen die Kondensatorspannung U_C .

Die restlichen Größen wurden wie folgt berechnet:

- ΔI_K :

$$\Delta I_K = I_k - I_{k-1}$$

Fehler:

$$S_{I_K} = 0,0025 \cdot I_k + 0,0005 \text{ A}$$

$$S_{\Delta I_K} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta I_K}{\partial I_K} S_{I_K} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta I_K}{\partial I_{K-1}} S_{I_{K-1}} \right)^2}$$
$$= \sqrt{S_{I_K}^2 + S_{I_{K-1}}^2}$$

- H_K :

$$H_K = \frac{N_1 \cdot I_k}{l}$$

N_1 : Wicklungen der Primärspule

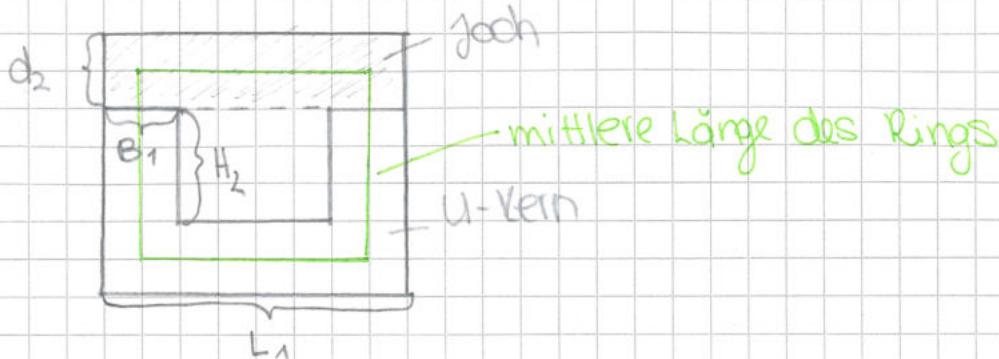
l : mittlere Länge des Eisenkerns

Fehler:

$$S_{H_K} = \sqrt{\left(\frac{\partial H_K}{\partial I_K} S_{I_K} \right)^2 + \left(\frac{\partial H_K}{\partial l} \cdot S_l \right)^2}$$
$$= \sqrt{\left(\frac{N_1 \cdot S_{I_K}}{l} \right)^2 + \left(\frac{N_1 \cdot I_k}{l^2} \cdot S_l \right)^2}$$

- L: mittlere Länge des Rings (U-Kern und Joch)

Skizze: Seitenansicht



$$\begin{aligned}
 L &= 2(L_1 - B_1) + 2 \cdot (H_2 + d_2) \\
 &= 2(150,00 - 40,00) \text{ mm} + 2 \cdot (90,00 + 40,00) \text{ mm} \\
 &= \underline{\underline{0,48 \text{ m}}}
 \end{aligned}$$

Fehler:

$$s_L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial L_1} s_{L_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial B_2} s_{B_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial H_2} s_{H_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial d_2} s_{d_2}\right)^2}$$

Wobei der Fehler der gemessenen Größen ($s_{L_1}, s_{B_2}, s_{H_2}, s_{d_2}$) sich wie folgt berechnet

$$s = \sqrt{(0,05 \text{ mm})^2 + ((0,05 + 1 \cdot 10^{-4} L) \text{ mm})^2}$$

↑ gemessene Länge

Daraus ergibt sich der Gesamtfehler für s_L .

$$\underline{\underline{s_L = 0,002 \text{ m}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{L = (480 \pm 2) \text{ mm}}}$$

- A: Fläche des Eisenkerns

$$A = d_1 \cdot d_2 = (0,03915 \cdot 0,04) \text{ m} = 0,001566 \text{ m}^2$$

Fehler:

$$\begin{aligned} S_A &= \sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial d_1} s_{d_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial d_2} s_{d_2}\right)^2} \\ &= \sqrt{(d_2 \cdot s_{d_1})^2 + (d_1 \cdot s_{d_2})^2} = 0,000003657 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Wobei s_{d_1}, s_{d_2} wie folgt bestimmt wurden

$$\begin{aligned} s_{d_1} &= \sqrt{10,00005^2 + (10,00005 + d_1 \cdot 10^{-7})^2} \text{ m} \\ &= 0,000070713 \text{ m} \end{aligned}$$

$$s_{d_2} = 0,000070713 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \underline{A = (1566 \pm 4) \text{ mm}^2}$$

- ΔH_K

$$\Delta H_K = \frac{N_1 \cdot \Delta I_K}{U}$$

Fehler:

$$\begin{aligned} S_{\Delta H_K} &= \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta H_K}{\partial \Delta I_K} s_{\Delta I_K}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta H_K}{\partial U} s_U\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{N_1}{U} s_{\Delta I_K}\right)^2 + \left(\frac{N_1 \Delta I_K}{U^2} s_U\right)^2} \end{aligned}$$

• $M_{\text{diff},k}$

$$M_{\text{diff},k} = \frac{I \cdot C \cdot |U_{\text{erk}}|}{N_1 \cdot N_2 \cdot A \cdot |\Delta I_k|}$$

Fehler

$$S_{U_{\text{erk}}} = 0,0002 \text{ V}_{\text{erk}} + 0,00004 \text{ V}$$

$$S_{M_{\text{diff},k}} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_{\text{diff},k}}{\partial I} S_I\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{\text{diff},k}}{\partial U_{\text{erk}}} S_{U_{\text{erk}}}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{\text{diff},k}}{\partial \Delta I_k} S_{\Delta I_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{\text{diff},k}}{\partial A} S_A\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{C |U_{\text{erk}}| S_U}{N_1 N_2 A |\Delta I_k|}\right)^2 + \left(\frac{I \cdot C \cdot S_{U_{\text{erk}}}}{N_1 N_2 A |\Delta I_k|}\right)^2 + \left(\frac{I \cdot C (|U_{\text{erk}}| S_{\Delta I_k})}{N_1 N_2 A |\Delta I_k|^2}\right)^2 + \left(\frac{I \cdot C \cdot |U_{\text{erk}}| S_A}{N_1 N_2 A^2 |\Delta I_k|}\right)^2}$$

• ΔB_k

$$\Delta B_k = M_{\text{diff},k} \cdot \Delta H_k$$

Fehler:

$$S_{\Delta B_k} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta B_k}{\partial M_{\text{diff},k}} \cdot S_{M_{\text{diff},k}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta B_k}{\partial \Delta H_k} \cdot S_{\Delta H_k}\right)^2}$$

$$= \sqrt{(M_{\text{diff},k} \cdot S_{\Delta H_k})^2 + (M_{\text{diff},k} \cdot S_{M_{\text{diff},k}})^2}$$

• B_k

$$B_k = \Delta B_k + B_{k-1}$$

Fehler:

$$S_{B_k} = \sqrt{\left(\frac{\partial B_k}{\partial \Delta B_k} S_{\Delta B_k}\right)^2 + \left(\frac{\partial B_k}{\partial B_{k-1}} S_{B_{k-1}}\right)^2}$$

$$= \sqrt{S_{\Delta B_k}^2 + S_{B_{k-1}}^2}$$

Tabellen:

a) Weikurve 1:

Schalter	I/A	$\Delta I/A$	H/A	$\Delta H/A$	U_C/V	μ_{diff}/Vs	$\Delta B/T$	B/T
0	0,0004	0,0004	0,83333	0,83	0,00003	0,000298851	0,000249042	0,000249042
1	0,0092	0,0088	19,16667	18,3	0,00118	0,000534309	0,009795658	0,0100447
2	0,0180	0,0088	37,5	18,3	0,00203	0,000919192	0,016851852	0,026896552
3	0,0355	0,0175	73,95833	36,4583	0,0238	0,005419157	0,197573436	0,224469987
4	0,0629	0,0274	131,04167	57,083	0,03613	0,005254244	0,299929757	0,524399745
5	0,0891	0,0262	185,62500	54,583	0,01905	0,002897254	0,158141762	0,682541507
6	0,1331	0,0440	277,29167	91,667	0,01856	0,001680808	0,154074074	0,836615581
7	0,1771	0,0440	368,95833	91,667	0,01085	0,000982584	0,090070243	0,926685824
8	0,2669	0,0898	556,04167	187,083	0,01285	0,00057019	0,106673052	1,033358876
9	0,3585	0,0916	746,87500	190,833	0,00761	0,000331041	0,063173691	1,096532567
10	0,4513	0,0928	940,20833	193,33	0,00511	0,000219415	0,042420179	1,138952746
11	0,6401	0,1888	1333,54167	393,33	0,00677	0,000142883	0,056200511	1,195153257

b) Hysteresekurve 1:

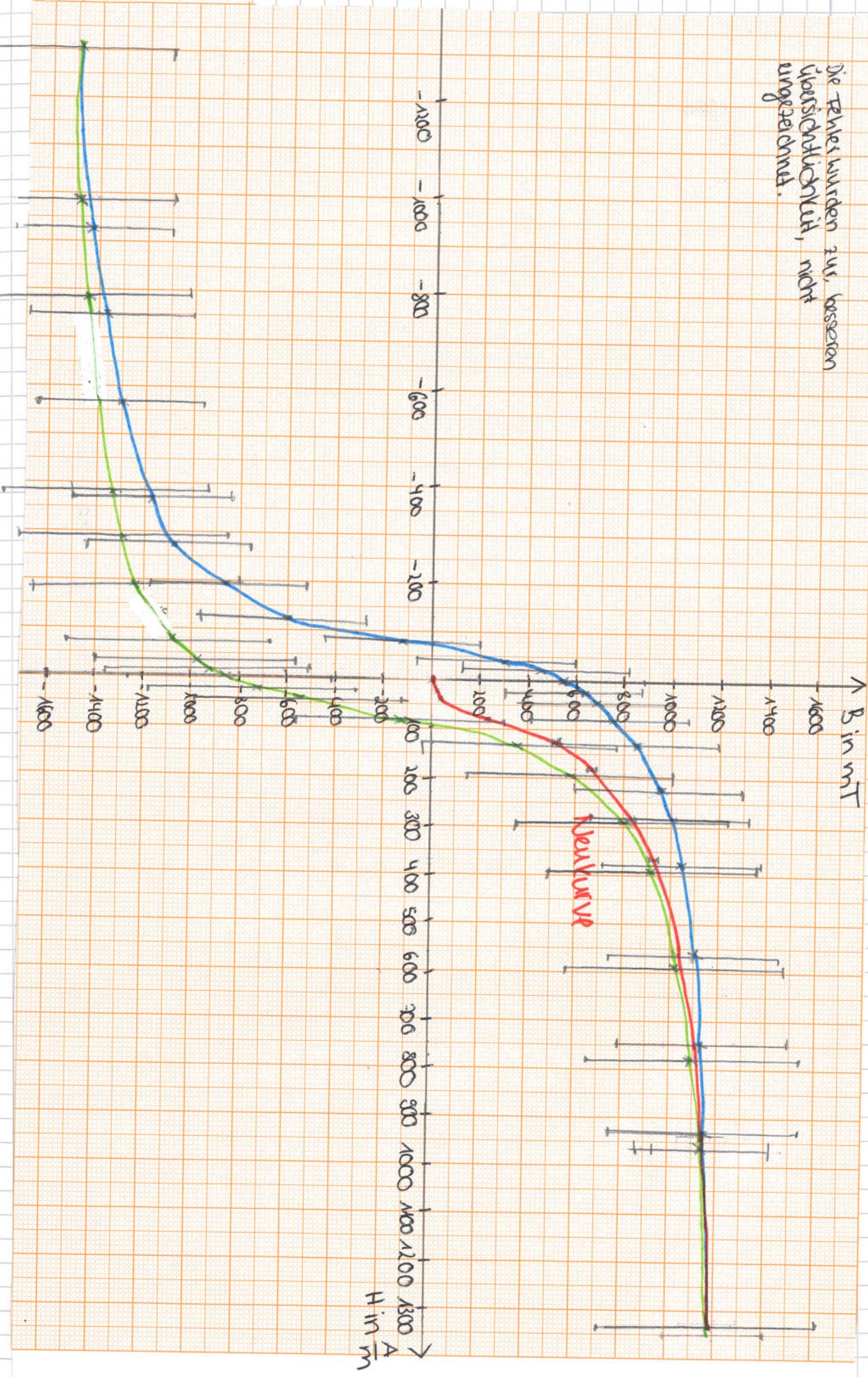
SINNLICHE ANZAHL DER MAGNETSTELLEN

Schalter	I/A	$\Delta I/A$	H/A	$\Delta H/A$	U_C/V	μ_{diff}/Vs	$\Delta B/T$	B/T
10	0,4485	-0,1916	934,375	-399,167	-0,00405	0,000084227	-0,03362069	1,161532567
9	0,3598	-0,0887	749,583	-184,7916667	-0,00285	0,000128031	-0,023659004	1,137873563
8	0,2703	-0,0895	563,125	-186,4583	-0,00422	0,000187881	-0,035031928	1,102841635
7	0,1804	-0,0899	375,83	-187,2916667	-0,00681	0,000301842	-0,056532567	1,046309068
6	0,1358	-0,0446	282,91667	-92,91667	-0,00523	0,000467261	-0,043416347	1,00289272
5	0,11	-0,0258	229,1666667	-53,75	-0,00776	0,001198491	-0,064418902	0,938473819
4	0,0643	-0,0457	133,9583333	-95,208333	-0,00699	0,000609472	-0,05802682	0,880446999
3	0,0363	-0,028	75,625	-58,333	-0,01123	0,001598139	-0,093224777	0,787222222
2	0,0184	-0,0179	38,333	-37,291667	-0,01118	0,002488752	-0,092809706	0,694412516
1	0,0094	-0,009	19,58333	-18,75	-0,00767	0,003395828	-0,063671775	0,630740741
0	0,0003	-0,0091	0,625	-18,958333	-0,00962	0,00421237	-0,079859515	0,550881226
-1	-0,0086	-0,0089	-17,916667	-18,54166667	-0,0127	0,005685996	-0,105427842	0,445453384
-2	-0,017	-0,0084	-35,416667	-17,5	-0,0183	0,008680898	-0,151915709	0,293537676
-3	-0,0355	-0,0185	-73,958333	-38,54166667	-0,04919	0,010594926	-0,408346105	-0,114808429
-4	-0,0635	-0,028	-132,2916667	-58,333	-0,05777	0,008221237	-0,479572158	-0,594380587
-5	-0,092	-0,0285	-191,6667	-59,375	-0,03026	0,004230745	-0,251200511	-0,845581098
-6	-0,1349	-0,0429	-281,0416667	-89,375	-0,02646	0,00245768	-0,219655172	-1,065236271
-7	-0,1797	-0,0448	-374,375	-93,333	-0,01403	0,001247879	-0,11646871	-1,181704981
-8	-0,2693	-0,0896	-561,0416667	-186,6667	-0,01501	0,000667522	-0,124604087	-1,306309068
-9	-0,3605	-0,0912	-751,0416667	-190	-0,00829	0,000362203	-0,068818646	-1,375127714
-10	-0,4493	-0,0888	-936,0416667	-185	-0,00535	0,000240068	-0,044412516	-1,41954023
-11	-0,6301	-0,1808	-1312,708333	-376,667	-0,00723	0,000159343	-0,060019157	-1,479559387
-10	-0,4612	0,1689	-960,833	351,875	0,00348	0,000082100	0,028888889	-1,450670498
-9	-0,3689	0,0923	-768,5416667	192,2916667	0,0028	0,000120879	0,023243934	-1,427426564
-8	-0,2774	0,0915	-577,9166667	190,625	0,00414	0,00018029	0,034367816	-1,393058748
-7	-0,1849	0,0925	-385,208333	192,708333	0,00663	0,000285604	0,055038314	-1,338020434
-6	-0,139	0,0459	-289,58333	95,625	0,00514	0,000446214	0,042669221	-1,295351213
-5	-0,0929	0,0461	-193,5416667	96,04166667	0,00766	0,000662096	0,063588761	-1,231762452
-4	-0,0654	0,0275	-136,25	57,29166667	0,00691	0,00100124	0,057362708	-1,174399745
-3	-0,0366	0,0288	-76,25	60	0,01125	0,001556513	0,093390805	-1,08100894
-2	-0,0182	0,0184	-37,916667	38,333	0,01136	0,002460103	0,094303959	-0,986704981
-1	-0,0089	0,0093	-18,54166667	19,375	0,00797	0,003414823	0,066162197	-0,920542784
0	-0,0003	0,0086	-0,625	17,916667	0,01014	0,004698209	0,084176245	-0,836366539
1	0,0096	0,0099	20	20,625	0,01364	0,005489996	0,113231162	-0,723135377
2	0,0189	0,0093	39,375	19,375	0,02014	0,008629176	0,167190294	-0,555945083
3	0,0373	0,0184	77,708333	38,333	0,05303	0,011484091	0,440223499	-0,115721584
4	0,0662	0,0289	137,916667	60,208333	0,05719	0,007885243	0,474757344	0,35903576
5	0,0937	0,0275	195,208333	57,29166667	0,02883	0,004177388	0,239329502	0,598365262
6	0,14	0,0463	291,6667	96,458333	0,02503	0,002154134	0,207784163	0,806149425
7	0,186	0,046	387,5	95,8333	0,01335	0,001156422	0,110823755	0,91697318
8	0,2788	0,0928	580,8333	193,333	0,01448	0,000621747	0,120204342	1,037177522
9	0,37	0,0912	770,8333	190	0,00789	0,000344727	0,065498084	1,102675607
10	0,458	0,088	954,166667	183,33	0,00514	0,000232741	0,042669221	1,145344828
11	0,6468	0,1888	1347,5	393,333	0,00682	0,000143938	0,056615581	1,201960409

c) Fehler der Neukurve und Hysteresekurve

Schalter	s_I/A	$s_{\Delta I}/A$	s_H/A_m	$s_{\Delta H}/A_m$	s_{U_C}/V	$s_{\mu_{diff}}/Vs Am$	$s_{\Delta B}/T$	s_B/T
0	0,000501	0,000501	1,04375006	1,04375006	0,00050008	0,0000104150	0,00031193	0,00031193
1	0,000523	0,00015009	1,0896126	0,31278768	0,00050295	0,0002288020	0,00045154	0,0005488
2	0,000545	0,00015328	1,13552417	0,31943312	0,00050508	0,0002297900	0,00051351	0,00075158
3	0,00058875	0,00022271	1,22694955	0,46423628	0,0005595	0,0005066430	0,00312106	0,00321028
4	0,00065725	0,00029215	1,37035902	0,60910817	0,00059033	0,0008364170	0,00574794	0,00658367
5	0,00072275	0,00030065	1,50771429	0,62676547	0,00054763	0,000741778	0,00443744	0,0079395
6	0,00083275	0,00041365	1,7387388	0,8626135	0,0005464	0,0001242803	0,01148425	0,01396151
7	0,00094275	0,00044193	1,97006985	0,92148617	0,00052713	0,0001198949	0,0110276	0,01779134
8	0,00116725	0,00068826	2,44278261	1,435982	0,00053213	0,0002470146	0,04621958	0,04952556
9	0,00139625	0,00076619	2,92545325	1,59820075	0,00051903	0,0002457628	0,04690271	0,0682103
10	0,00162825	0,00083767	3,41473378	1,74699533	0,00051278	0,0002459841	0,04755847	0,08315319
11	0,00210025	0,00132659	4,41065993	2,7685928	0,00051693	0,0005045032	0,1984383	0,21515625
10	0,00162125	0,00133514	3,42300283	2,78636541	0,00048988	0,0004781035	0,18805447	0,28575635
9	0,0013995	0,00081844	2,94150327	1,71318502	0,00049288	0,0004881628	0,19485837	0,34587061
8	0,00117575	0,00075909	2,46931083	1,58330332	0,00048945	0,0002244213	0,04147168	0,34834807
7	0,000951	0,00069137	1,99509532	1,44243978	0,00048298	0,0002234497	0,04166494	0,35083094
6	0,0008395	0,00044681	1,75595499	0,93412326	0,00048693	0,0002262840	0,04238205	0,35338164
5	0,000775	0,0003227	1,61888094	0,67340536	0,0004806	0,0001108029	0,01030025	0,35353172
4	0,00066075	0,00040501	1,37987025	0,84407144	0,00048253	0,000643553	0,00360399	0,35355009
3	0,00059075	0,00029598	1,2319942	0,61790271	0,00047193	0,0001114865	0,01062112	0,35370959
2	0,000546	0,00022554	1,13793636	0,47050908	0,00047205	0,0006683280	0,00405611	0,35373285
1	0,0005235	0,00015512	1,09074195	0,3235503	0,00048083	0,0000445031	0,00184463	0,35373766
0	0,00050075	0,00015265	1,04326108	0,31811449	0,00047595	0,0000221881	0,0011576	0,35373955
-1	0,0004785	0,00014761	0,99687503	0,30761945	0,00046825	0,0000220966	0,00136184	0,35374217
-2	0,0004575	0,0001402	0,95315424	0,29218519	0,00045425	0,0000210325	0,00170652	0,35374629
-3	0,00041125	0,00020045	0,85689791	0,41766514	0,00037703	0,0000167660	0,00363756	0,35376499
-4	0,00034125	0,00022951	0,71160505	0,47841616	0,00035558	0,0000342898	0,00523824	0,35380377
-5	0,00027	0,00020869	0,56519433	0,43544993	0,00042435	0,0000615161	0,00506881	0,35384008
-6	0,00016275	0,00021544	0,3483406	0,44950519	0,00043385	0,0000639413	0,00424619	0,35386556
-7	0,00005075	0,00015464	0,15776954	0,32430157	0,00046493	0,0001031083	0,00924971	0,35398642
-8	-0,0001733	0,00016565	0,39320304	0,34728888	0,00046248	0,0001071034	0,01000571	0,35412781
-9	-0,0004013	0,00036192	0,86800846	0,75800066	0,00047928	0,0002219859	0,04144046	0,35654427
-10	-0,0006233	0,00047691	1,33561508	0,99670246	0,00048663	0,0002294148	0,04359031	0,35919901
-11	-0,0010753	0,0008762	2,27380303	1,8270382	0,00048193	0,0002212201	0,04092807	0,36152322
-10	-0,000653	0,00085426	1,46625398	1,78660704	0,0005087	0,0004754373	0,1790816	0,40344672
-9	-0,0004223	0,00049811	0,96650297	1,0480359	0,000507	0,0004426594	0,1557608	0,43247044
-8	-0,0001935	0,0003753	0,51483421	0,78597697	0,00051035	0,0002435016	0,04682343	0,43499784
-7	0,00003775	0,00018978	0,25331628	0,40327814	0,00051658	0,0002443355	0,04657651	0,43748427
-6	0,0001525	0,00014775	0,35594936	0,31812062	0,00051285	0,0002452247	0,04725693	0,44002921
-5	0,00026775	0,00022008	0,5707132	0,46022139	0,00051915	0,0001231794	0,01178082	0,44018689
-4	0,0003365	0,00020382	0,70566466	0,42650442	0,00051728	0,00012327	0,01184237	0,44034615
-3	0,0004085	0,0002316	0,85293308	0,48309663	0,00052813	0,00007507720	0,00432841	0,44036743
-2	0,0004545	0,00019924	0,94740786	0,41584294	0,0005284	0,00007866870	0,0047643	0,4403932
-1	0,00047775	0,00014722	0,99543788	0,3071316	0,00051993	0,00004946340	0,0020411	0,44039793
0	0,00049925	0,00014493	1,04013286	0,30205112	0,00052535	0,000025296	0,00114197	0,44039941
1	0,000524	0,00015914	1,0916667	0,33162504	0,0005341	0,00002382450	0,00161546	0,44040237
2	0,00054725	0,00015782	1,14013462	0,32890006	0,00055035	0,00002825750	0,00189739	0,44040646
3	0,00059325	0,00022905	1,23604639	0,47725168	0,00063258	0,00003062260	0,00416081	0,44042611
4	0,0006655	0,00030157	1,38683635	0,6284746	0,00064298	0,00006134360	0,00759087	0,44049152
5	0,00073425	0,00031021	1,53076651	0,64676618	0,00057208	0,00008552710	0,00724747	0,44055114
6	0,00085	0,00042823	1,7727003	0,89245543	0,00056258	0,00007999230	0,00590778	0,44059075
7	0,000965	0,00045686	2,01408644	0,95264883	0,00053338	0,000127661	0,01248375	0,44076757
8	0,001197	0,00070823	2,49897136	1,47601095	0,0005362	0,000127503	0,01233767	0,44094021
9	0,001425	0,00077319	2,97859821	1,61281639	0,00051973	0,000249319	0,04821203	0,44356812
10	0,001645	0,00082183	3,44210068	1,71396936	0,00051285	0,000241778	0,0459417	0,44594093
11	0,002117	0,00133254	4,42829952	2,77717667	0,00051705	0,000235206	0,04312586	0,44802138

Die Fehlerwurden zur besseren
Übersichtlichkeit, nicht
ungezeichnet.



Bestimmung μ_{diffmax} :

$$\mu_{\text{diff}, \text{max}} = \frac{\mu_{\text{diffmax}}}{M_0}$$

$$\mu_{\text{diffmax}} = 1/48,41 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$M_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$\Rightarrow \underline{\mu_{\text{diffmax}} = 9135,49}$$

✓ FEHLERANGABE

SINNVOLLE ANZAHL DER NACHKOMMASTELLEN!

Zusammenhang zw. $\mu_{\text{diff}}(H)$ und $B(H)$:

Die magnetische Permeabilität μ_{diff} ist die Ableitung vom mag. Fluss B nach H :

$$\mu_{\text{diff}} = \frac{dB}{dH}$$

Also ist μ_{diff} die Steigung von ^{der} mag. Fluss-dichte B .

Graphische Integration:

$$A_H = H \cdot B$$

$$\rightarrow H \cdot B \stackrel{!}{=} \frac{E}{V} \Leftrightarrow E = H \cdot B \cdot V$$

$$\begin{aligned} V &= 2(d_1 \cdot L_1 \cdot d_2) + 2 \cdot (B_1 \cdot B_3 \cdot H_1) && \text{Wert aus} \\ &= 865520 \text{ mm}^3 = 0,000865 \text{ m}^3 && \text{dem Protokoll} \end{aligned}$$

$$1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \text{ Kästchen: } 20 \text{ mT} \cdot 10 \frac{\text{A}}{\text{m}} = 0,2 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

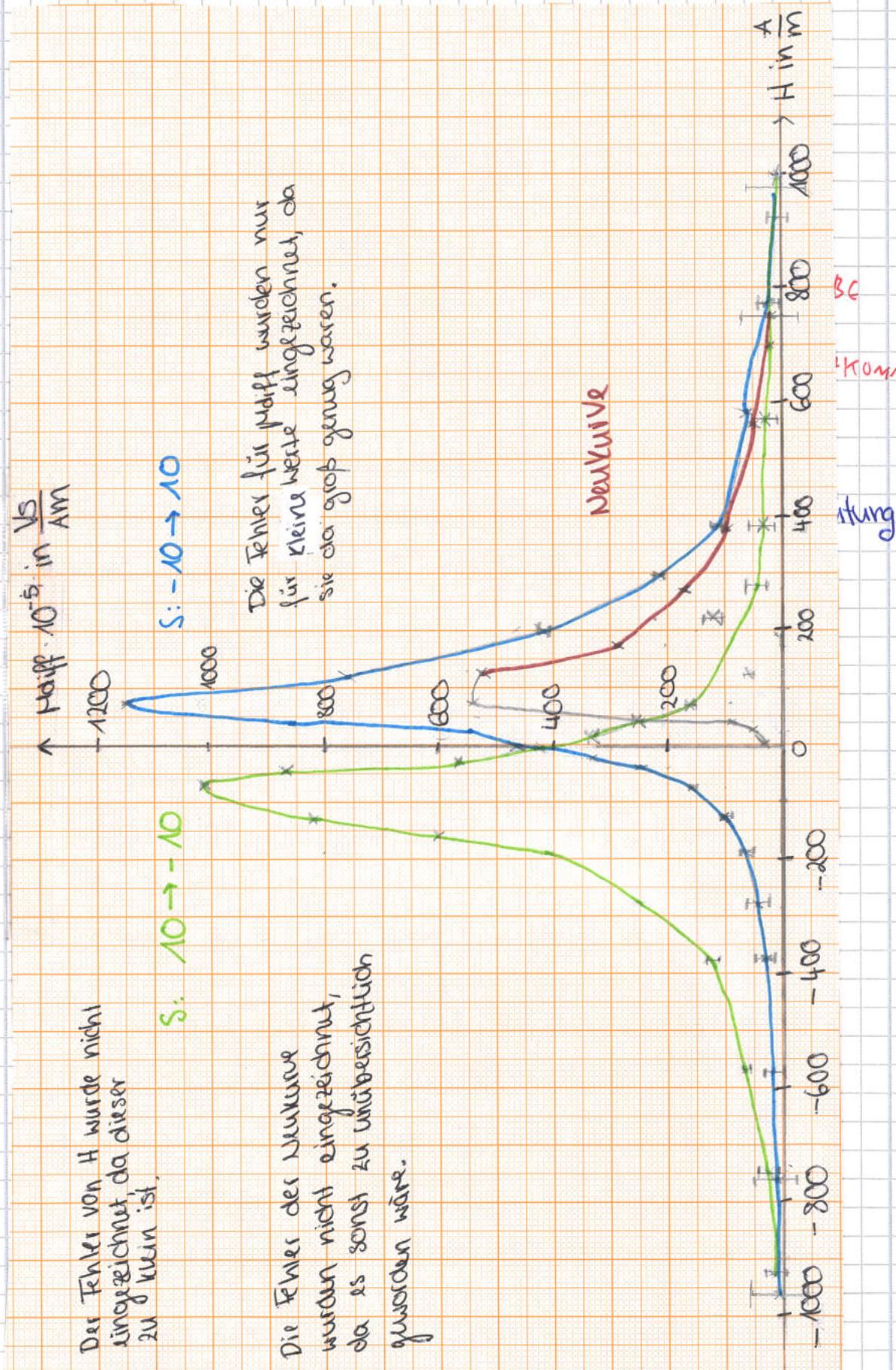
$$\text{Kästchen} \approx 2800$$

$$\Rightarrow \text{Energiedichte: } 2800 \cdot 0,2 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = 576 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

$$\Rightarrow \text{Energie des } 576 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \cdot 0,000865 \text{ m}^3 =$$

$$\text{Ummagnetisieren: } = 0,49824 \text{ J} \approx 0,51$$

Bestimmung Haffmax:



$$\text{Ummagnetisieren: } = 0,49824 \text{ J} \approx 0,5 \text{ J}$$

d) Newkurve 2:

Schalter	I/A	dI/A	H/A_m	dH/A_m	U_C/V	$\mu_{diff}/V_s A_m$	dB/T	B/T
0	0,0004	0,0004	0,83333	0,8333333333	0,00001	0,0000996169	0,000083014	0,000083014
1	0,0095	0,0091	19,79167	18,95833333	0,00358	0,001567597	0,029719029	0,029802043
2	0,0187	0,0092	38,95833	19,16666667	0,00575	0,002490421	0,047733078	0,077535121
3	0,0366	0,0179	76,25000	37,29166667	0,02196	0,004888461	0,182298851	0,259833972
4	0,0650	0,0284	135,41667	59,16666667	0,04323	0,006065404	0,358869732	0,618703704
5	0,0920	0,0270	191,66667	56,25	0,02208	0,003258578	0,183295019	0,801998723
6	0,1337	0,0417	278,54167	86,875	0,0201	0,00192067	0,166858238	0,96885696
7	0,1822	0,0485	379,58333	101,04166667	0,01108	0,000910313	0,091979566	1,060836526
8	0,2726	0,0904	567,91667	188,3333333	0,01278	0,00056332	0,106091954	1,16692848
9	0,3654	0,0928	761,25000	193,3333333	0,00763	0,000327619	0,063339719	1,230268199
10	0,5489	0,1835	1143,54167	382,29166667	0,00518	0,000112483	0,043001277	1,273269476
11	0,6577	0,1088	1370,20833	226,6666667	0,00687	0,000251606	0,057030651	1,330300128

e) Hysteresekurve 2:

Schalter	I/A	dI/A	H/A_m	dH/A_m	U_C/V	$\mu_{diff}/V_s A_m$	dB/T	B/T
10	0,4727	-0,185	984,79166667	-385,41666667	-0,00351	7,56011E-05	-0,029137931	1,301162197
9	0,3789	-0,0938	789,375	-195,41666667	-0,00276	0,000117246	-0,022911877	1,278250319
8	0,2848	-0,0941	593,3333333	-196,04166667	-0,00408	0,000172768	-0,033869732	1,244380587
7	0,1897	-0,0951	395,2083333	-198,125	-0,00654	0,000274025	-0,054291188	1,1900894
6	0,1427	-0,047	297,29166667	-97,91666667	-0,00501	0,000424749	-0,041590038	1,148499361
5	0,0955	-0,0472	198,9583333	-98,33333333	-0,00745	0,000628937	-0,061845466	1,086653895
4	0,0674	-0,0281	140,41666667	-58,54166667	-0,00668	0,000947246	-0,055453384	1,031200511
3	0,038	-0,0294	79,166666667	-61,25	-0,0108	0,001463758	-0,089655172	0,941545338
2	0,0193	-0,0187	40,20833333	-38,95833333	-0,01085	0,002311963	-0,090070243	0,851475096
1	0,0098	-0,0095	20,416666667	-19,791666667	-0,0072	0,003019964	-0,059770115	0,791704981
0	0,0003	-0,0095	0,625	-19,791666667	-0,00962	0,004035007	-0,079859515	0,711845466
-1	-0,009	-0,0093	-18,75	-19,375	-0,01285	0,005505706	-0,106673052	0,605172414
-2	-0,0183	-0,0093	-38,125	-19,375	-0,01884	0,008072179	-0,156398467	0,448773946
-3	-0,0368	-0,0185	-76,666666667	-38,541666667	-0,05611	0,01208541	-0,465791826	-0,01701788
-4	-0,066	-0,0292	-137,5	-60,83333333	-0,05993	0,008178135	-0,497503193	-0,514521073
-5	-0,0938	-0,0278	-195,41666667	-57,916666667	-0,02875	0,004120841	-0,23866539	-0,753186462
-6	-0,1403	-0,0465	-292,29166667	-96,875	-0,02464	0,002111449	-0,204546616	-0,957733078
-7	-0,1868	-0,0465	-389,16666667	-96,875	-0,01316	0,001127706	-0,109246488	-1,066979566
-8	-0,2801	-0,0933	-583,54166667	-194,375	-0,01414	0,000603894	-0,117381865	-1,18436143
-9	-0,3729	-0,0928	-776,875	-193,3333333	-0,00778	0,00033406	-0,06458493	-1,24894636
-10	-0,4639	-0,091	-966,4583333	-189,5833333	-0,00507	0,000222003	-0,042088123	-1,291034483
-11	-0,6548	-0,1909	-1364,1666667	-397,7083333	-0,00686	0,000143189	-0,056947637	-1,34798212
-10	-0,4696	0,1852	-978,3333333	385,8333333	0,00348	7,4874E-05	0,028888889	-1,319093231
-9	-0,3766	0,093	-784,5833333	193,75	0,00275	0,000117826	0,022828863	-1,296264368
-8	-0,2831	0,0935	-589,79166667	194,79166667	0,00402	0,00017132	0,033371648	-1,26289272
-7	-0,1888	0,0943	-393,3333333	196,4583333	0,00649	0,000274237	0,053876117	-1,209016603
-6	-0,1419	0,0469	-295,625	97,70833333	0,005	0,000424805	0,041507024	-1,167509579
-5	-0,0949	0,047	-197,7083333	97,916666667	0,00745	0,000631613	0,061845466	-1,105664112
-4	-0,0667	0,0282	-138,9583333	58,75	0,0067	0,000946713	0,055619413	-1,0500447
-3	-0,0373	0,0294	-77,70833333	61,25	0,01086	0,00147189	0,090153257	-0,959891443
-2	-0,0186	0,0187	-38,75	38,95833333	0,01097	0,002337534	0,091066411	-0,868825032
-1	-0,0091	0,0095	-18,95833333	19,791666667	0,00765	0,003208711	0,063505747	-0,805319285
0	0,0003	0,0094	0,625	19,58333333	0,00985	0,00417543	0,081768838	-0,723550447
1	0,0097	0,0094	20,20833333	19,58333333	0,01325	0,005616695	0,109993614	-0,613556833
2	0,0191	0,0094	39,791666667	19,58333333	0,0196	0,00830847	0,162707535	-0,450849298
3	0,0377	0,0186	78,541666667	38,75	0,05791	0,012406048	0,480734355	0,029885057
4	0,067	0,0293	139,5833333	61,041666667	0,05887	0,008006068	0,488703704	0,518588761
5	0,0949	0,0279	197,7083333	58,125	0,02792	0,003987531	0,231775223	0,750363985
6	0,1416	0,0467	295	97,291666667	0,02411	0,002057184	0,200146871	0,950510856
7	0,1833	0,0417	381,875	86,875	0,01276	0,001219291	0,105925926	1,056436782
8	0,2828	0,0995	589,16666667	207,29166667	0,01403	0,000561859	0,11646871	1,172905492
9	0,3757	0,0929	782,7083333	193,54166667	0,0077	0,000330269	0,063920817	1,236826309
10	0,4698	0,0941	978,75	196,04166667	0,00504	0,000213419	0,04183908	1,27866539
11	0,6605	0,1907	1376,0416667	397,29166667	0,00665	0,000138952	0,055204342	1,333869732

f) Fehler der Nullkurve 2 und Hypothesekurve 2

Schalter	s_I/A	$s_{\Delta I}/A$	$s_H/\frac{A}{m}$	$s_{\Delta H}/\frac{A}{m}$	s_{U_C}/V	$s_{\mu_{diff}}/\frac{V_s}{Am}$	s_{AB}/T	s_B/T
0	0,000501	0,000501	1,04375006	1,04375006	0,0005	0,0000010348	0,00010398	0,00010398
1	0,000524	0,00015269	1,091177	0,31819423	0,000509	0,0000239503	0,00067451	0,00068248
2	0,000547	0,00015691	1,13917816	0,32699836	0,000514	0,0000244844	0,0009399	0,00116155
3	0,000592	0,00022569	1,23270116	0,47044746	0,000555	0,0000513856	0,00299348	0,00321094
4	0,000663	0,00029839	1,38136116	0,62212543	0,000608	0,0000893062	0,006493	0,00724356
5	0,00073	0,00030658	1,5229287	0,63914654	0,000555	0,0000775018	0,00483143	0,008707
6	0,000834	0,00040382	1,74189153	0,84207641	0,00055	0,0001186150	0,01043079	0,01358725
7	0,000956	0,00046584	1,99689819	0,97141337	0,000528	0,0001323010	0,01339712	0,0190813
8	0,00118	0,00069495	2,47280646	1,44994728	0,000532	0,0002485830	0,04682365	0,05056234
9	0,00141	0,00077591	2,96182475	1,61849005	0,000519	0,0002490060	0,04814415	0,06981697
10	0,00187	0,00122774	3,92951547	2,56274024	0,000513	0,0004865690	0,18601142	0,1986823
11	0,00214	0,00104522	4,5035224	2,17959197	0,000517	0,0002908700	0,06593282	0,20933655
10	0,00168	0,00133023	3,54985689	2,77293162	0,000491	0,0002762750	0,06262632	0,21850366
9	0,00145	0,00085659	3,04289726	1,79177851	0,000493	0,0004715620	0,181748	0,28421151
8	0,00121	0,00079094	2,54633154	1,64980542	0,00049	0,0002374950	0,0464108	0,28797595
7	0,000974	0,00072096	2,04468828	1,50421605	0,000484	0,0002352630	0,04612201	0,29164599
6	0,000857	0,00046383	1,79247577	0,96984177	0,000487	0,0002396430	0,04748004	0,2954856
5	0,000739	0,0004339	1,54403936	0,90487805	0,000481	0,0001169540	0,01145816	0,29570768
4	0,000669	0,00031442	1,39517339	0,65631974	0,000483	0,0001179210	0,01160293	0,29593523
3	0,000595	0,00030474	1,2409633	0,63534609	0,000473	0,0000687079	0,00406705	0,29596317
2	0,000548	0,00023119	1,14266372	0,48231304	0,000473	0,0000718690	0,00445823	0,29599675
1	0,000525	0,00015962	1,09283676	0,33293285	0,000482	0,0000466030	0,001972	0,29600332
0	0,000501	0,00015604	1,04326385	0,32519596	0,000476	0,0000234070	0,00108586	0,29600531
-1	0,000478	0,00015081	0,9947917	0,31430024	0,000468	0,0000230380	0,00134768	0,29600838
-2	0,000454	0,00014718	0,94638641	0,30673999	0,000453	0,0000218935	0,00174128	0,2960135
-3	0,000408	0,0001997	0,85014843	0,41611462	0,00036	0,0000176176	0,00337625	0,29603275
-4	0,000335	0,00023289	0,69864735	0,48545877	0,00035	0,0000338645	0,00601039	0,29609376
-5	0,000266	0,00020429	0,55608417	0,42636005	0,000428	0,0000647126	0,00525884	0,29614046
-6	0,000149	0,00021958	0,32142174	0,45809113	0,000438	0,0000630244	0,0041094	0,29616897
-7	0,000033	0,00014556	0,13985323	0,30591644	0,000467	0,0001122810	0,01089643	0,29636935
-8	-0,0002	0,00019751	0,44759237	0,41345876	0,000465	0,0001116900	0,01083002	0,29656716
-9	-0,000432	0,00038307	0,93276791	0,8021544	0,000481	0,0002317680	0,04505243	0,29996967
-10	-0,00066	0,00049843	1,4120812	1,04151064	0,000487	0,0002337750	0,04519792	0,30335565
-11	-0,00114	0,00092601	2,40273523	1,93080902	0,000483	0,0002271360	0,04306332	0,30639697
-10	-0,000674	0,00091569	1,51484842	1,91487674	0,000509	0,0005019970	0,19964847	0,36570291
-9	-0,000442	0,00050927	1,00607464	1,07308543	0,000507	0,0004852590	0,18722927	0,41084476
-8	-0,000208	0,00038957	0,54239896	0,81560238	0,00051	0,0002452040	0,04750839	0,41358248
-7	0,000028	0,00020585	0,25257501	0,43647605	0,000516	0,0002495070	0,04860194	0,4164284
-6	0,000145	0,00014253	0,34413493	0,30800516	0,000513	0,0002498260	0,04908047	0,41931075
-5	0,000263	0,00021895	0,56108359	0,45796328	0,000519	0,0001257360	0,01228697	0,41949073
-4	0,000333	0,00020498	0,69914105	0,42899221	0,000517	0,0001255480	0,01229627	0,41967091
-3	0,000407	0,00023322	0,84937155	0,48648426	0,000527	0,0000768460	0,00453813	0,41969545
-2	0,000454	0,00020054	0,94534632	0,41857246	0,000527	0,0000801591	0,00494825	0,41972462
-1	0,000477	0,00014868	0,99440192	0,31017204	0,000519	0,0000501912	0,00208546	0,4197298
0	0,000501	0,0001516	1,04325907	0,315944	0,000525	0,0000257982	0,00113509	0,41973133
1	0,000524	0,0001552	1,09218753	0,32343936	0,000533	0,0000259637	0,00144304	0,41973381
2	0,000548	0,00015872	1,1411769	0,33076708	0,000549	0,0000267792	0,00193042	0,41973825
3	0,000594	0,00023044	1,23813185	0,48015451	0,000645	0,0000315212	0,00403682	0,41975766
4	0,000668	0,00030401	1,39101001	0,63356373	0,000647	0,0000624396	0,00822399	0,41983822
5	0,000737	0,00031302	1,53703824	0,65262011	0,00057	0,0000863667	0,0074225	0,41990383
6	0,000854	0,00043102	1,78107278	0,89828535	0,00056	0,0000808220	0,00590757	0,41994538
7	0,000958	0,00043466	2,00013461	0,9064432	0,000532	0,0001284070	0,01263133	0,4201353
8	0,00121	0,0007339	2,51961243	1,52938212	0,000535	0,000115342	0,01019236	0,42025892
9	0,00144	0,00078396	3,00846986	1,63552993	0,000519	0,000267075	0,05536998	0,42389078
10	0,00167	0,00085587	3,50375267	1,78488059	0,000513	0,000246165	0,04764688	0,42656021
11	0,00215	0,00135053	4,50028675	2,8147858	0,000517	0,000251303	0,04926949	0,4293962

$\mu_{\text{DPP}} \cdot 10^{-5}$ in Am

$S: -10 \rightarrow 10$

Der Fehler von H
und der Neukurve
wurde nicht
abgezeichnet.

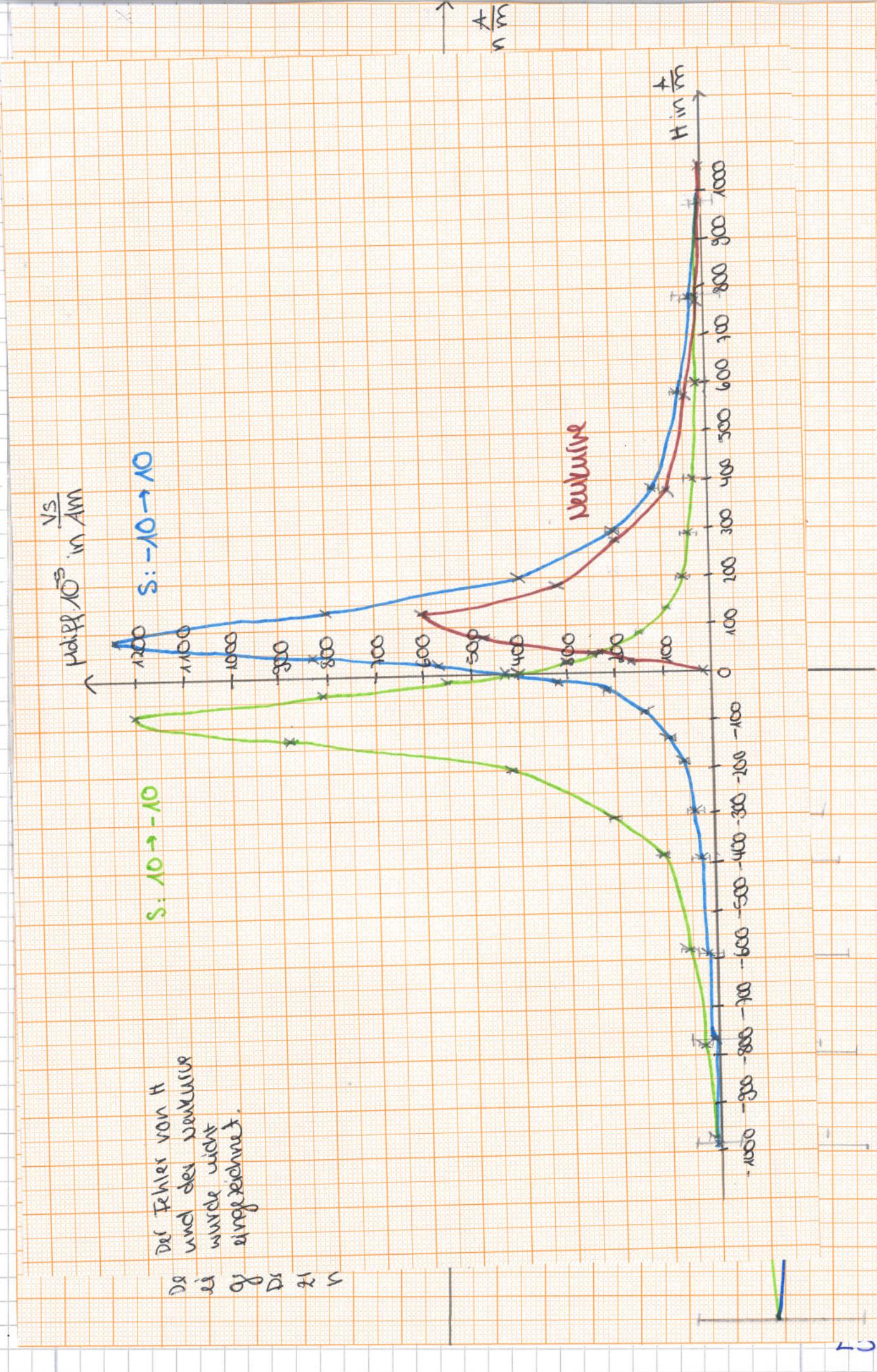
D 8 D 2 S

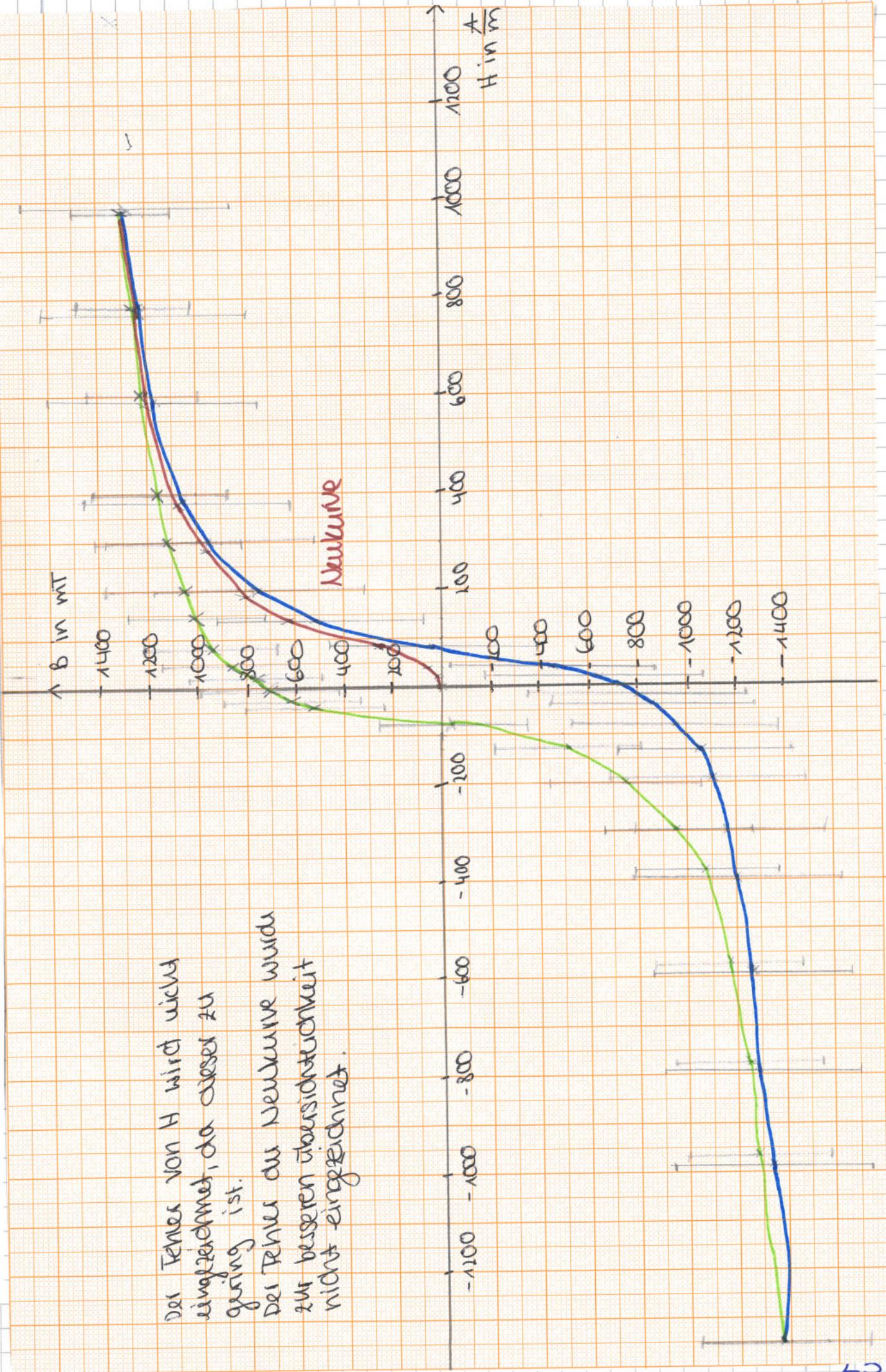
$\frac{A}{m}$

$H \text{ in } \frac{A}{m}$

Neukurve

15





Der Fehler von H wird wieder
 linear zehnfach, da dieses zu
 gering ist.
 Der Fehler der Newkurve wurde
 zur besseren Übersichtlichkeit
 nicht eingezzeichnet.

Bestimmung von $H_{\text{diff max}}$:

$$H_{\text{diff max}} = \frac{M_{\text{diff max}}}{\mu_0} = \frac{1240,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}}{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}} = \underline{\underline{9867,61}}$$

Graphische Integration:

$$E = HBV \quad (\text{s. S. 20})$$

$$V = 0,000865 \text{ m}^3 \quad \text{kästchen: } 0,2 \text{ } \text{m}^3$$

$$E = 1425 \cdot 0,2 \text{ } \text{m}^3 = 485 \text{ } \text{m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Ummagnet. Energie: } 485 \text{ } \text{m}^3 \cdot 0,000865 \text{ m}^3 = \\ = \underline{\underline{0,41195 \text{ J} \approx 0,421}}$$

Also folgt das der absolute max. Wert μ_{diff} bei der Hysteresekurve 2 erreicht wird:

$$S_{\text{urdiff max}2} = \frac{S_{\text{diff}2}}{\mu_0} = 102,177$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{H_{\text{diff max}} = (9867 \pm 102)}}$$

VERGLEICH MIT LITERATURWERT?

↗ ZUSAMMENHANG $\mu_{\text{diff}}(H) \leftrightarrow B(H)$

4.2 Der reale Transformator

Berechnung der Werte:

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi)$$

$$\cos(\varphi) = \frac{U_0^2 - U_h^2 - U_R^2}{2 U_h U_R}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

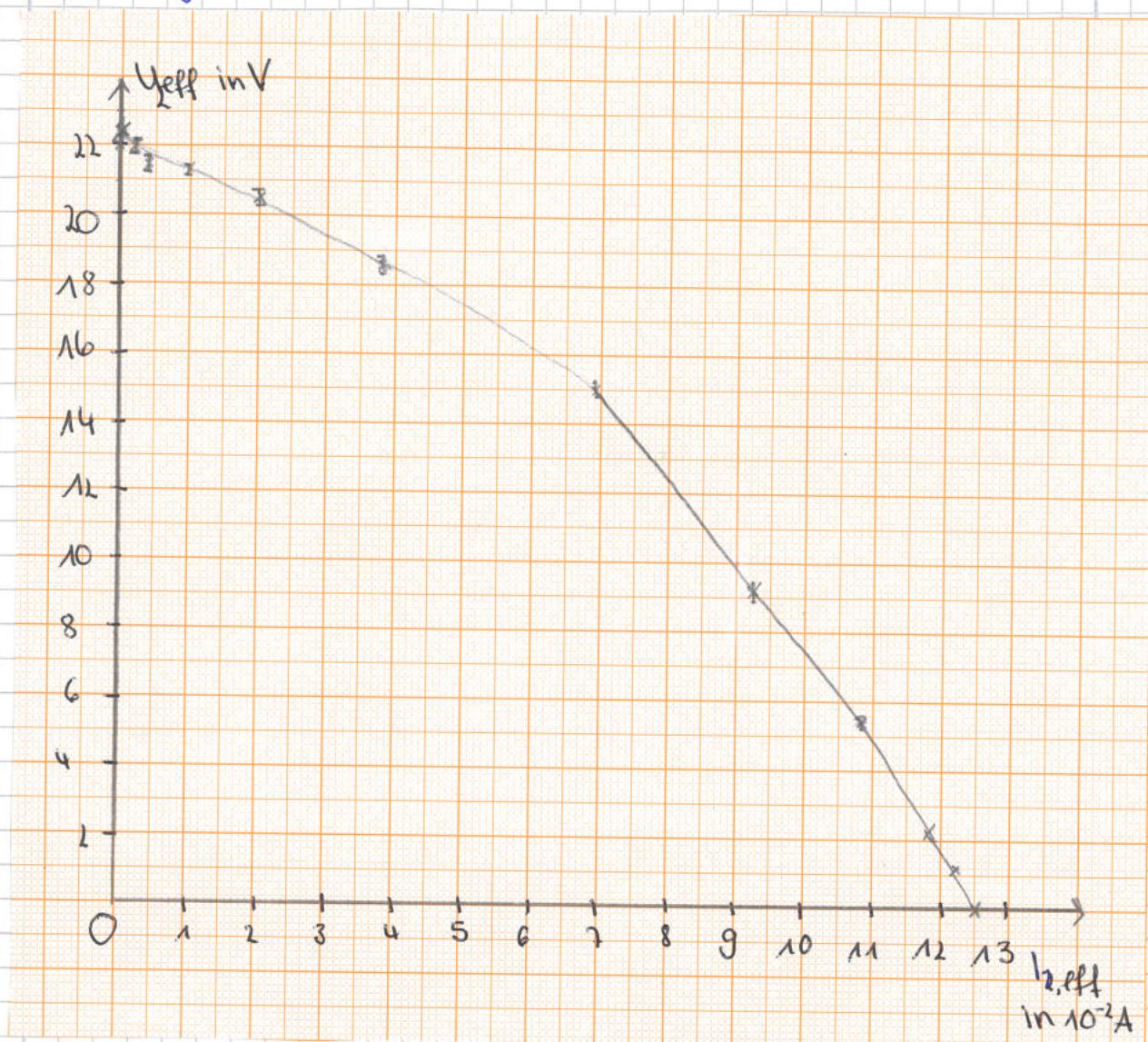
R/Ω	P_2/W	P_1/W	$\frac{P_2}{P_1}$
$\rightarrow \infty$	0	0,15209514	0
10000	0,04854306	0,24993165	0,19422532
5000	0,09334656	0,2971692	0,31411923
2000	0,23017995	0,48144003	0,47810721
1000	0,41846821	0,71940909	0,58168324
500	0,68852032	1,11413918	0,61798412
200	0,955512	1,62692042	0,5873133
100	0,858864	1,7124195	0,50155
50	0,589696	1,54639023	0,38133712
20	0,284208	1,32984755	0,21371472
10	0,15011775	1,21723037	0,12332731
0	0	1,04112421	0

R/Ω	U_2/V	I_2/A	U_1/V	I_1/A	$U_{R'}/V$	U_0/V	$\cos(\phi)$
$\rightarrow \infty$	22,43	0	11,99	0,038996	0,383	12,12	0,32529403
10000	22,01	0,0022055	11,91	0,040484	0,396	12,12	0,51835356
5000	21,6	0,0043216	11,85	0,042306	0,414	12,1	0,59276626
2000	21,45	0,010731	11,69	0,049805	0,492	12,1	0,82690334
1000	20,47	0,020443	11,45	0,06508	0,641	12,07	0,96543467
500	18,56	0,037097	11,07	0,09569	0,945	12,06	1,05178087
200	13,8	0,06924	10,48	0,1594	1,586	12,03	0,97390526
100	9,28	0,09255	10,28	0,20703	2,06	12	0,80460693
50	5,44	0,1084	10,37	0,23941	2,383	12	0,62287092
20	2,4	0,11842	10,53	0,25946	2,581	12	0,48674676
10	1,233	0,12175	10,61	0,26601	2,644	11,99	0,43128011
0	0	0,12526	10,75	0,27288	2,705	11,98	0,35491338

mit den entsprechenden Fehlern:

R/Ω	s_{U_2}/V	s_{I_2}/A	s_{U_1}/V	s_{I_1}/A	$s_{U'_R}/V$	s_{U_0}/V	s_{P_1}/W	s_{P_2}/W	$s_{\frac{P_2}{P_1}}$	$s_{\cos(\phi)}$
$\rightarrow \infty$	0,36159	0,00004	0,16287	0,00098494	0,011979	0,22756	0,34294361	0,0008972	0,00191889	0,733412553
10000	0,35613	7,30825 10⁻⁵	0,16183	0,00100726	0,012148	0,22756	0,346111801	0,001790068	0,072364482	0,717678955
5000	0,3508	0,000104824	0,16105	0,00103459	0,012382	0,2273	0,344633863	0,002724867	0,128117017	0,687244413
2000	0,34885	0,000200965	0,15897	0,001147075	0,013396	0,2273	0,340244286	0,00570929	0,231246011	0,583972159
1000	0,33611	0,000346645	0,15585	0,0013762	0,015333	0,22691	0,338303712	0,009877382	0,255299131	0,45334812
500	0,31128	0,000596455	0,15091	0,00183535	0,019285	0,22678	0,33462287	0,015996732	0,205880633	0,31492301
200	0,2494	0,0014386	0,14324	0,002791	0,027618	0,22639	0,327517001	0,026312136	0,113243388	0,194860732
100	0,19064	0,00178825	0,14064	0,00350545	0,03378	0,226	0,324616291	0,024221767	0,062595294	0,151517024
50	0,14072	0,002026	0,14181	0,00399115	0,037979	0,226	0,324052022	0,018819089	0,031916012	0,129832201
20	0,0382	0,0021763	0,14389	0,0042919	0,040553	0,226	0,324335327	0,006909728	0,012605351	0,118251961
10	0,023029	0,00222625	0,14493	0,00439015	0,041372	0,22587	0,324309903	0,003923777	0,006267875	0,114535032
0	0,007	0,0022789	0,14675	0,0044932	0,042165	0,22574	0,325186466	0,00087682	0,000298903	0,110594014

Als nächstes wurde U_{eff} als Funktion von $I_{2,\text{eff}}$ gezeichnet:



Die Fehler wurden wie folgt berechnet:

$$S_{u_2} = (1.3 \cdot U_2) + 0.07 \text{ V} \quad S_{u_0} = (1.3 \cdot U_0) + 0.07 \text{ V}$$

$$S_{u_1} = (1.3 \cdot U_1) + 0.07 \text{ V} \quad S_{u_R} = (1.3 \cdot U_R) + 0.07 \text{ V}$$

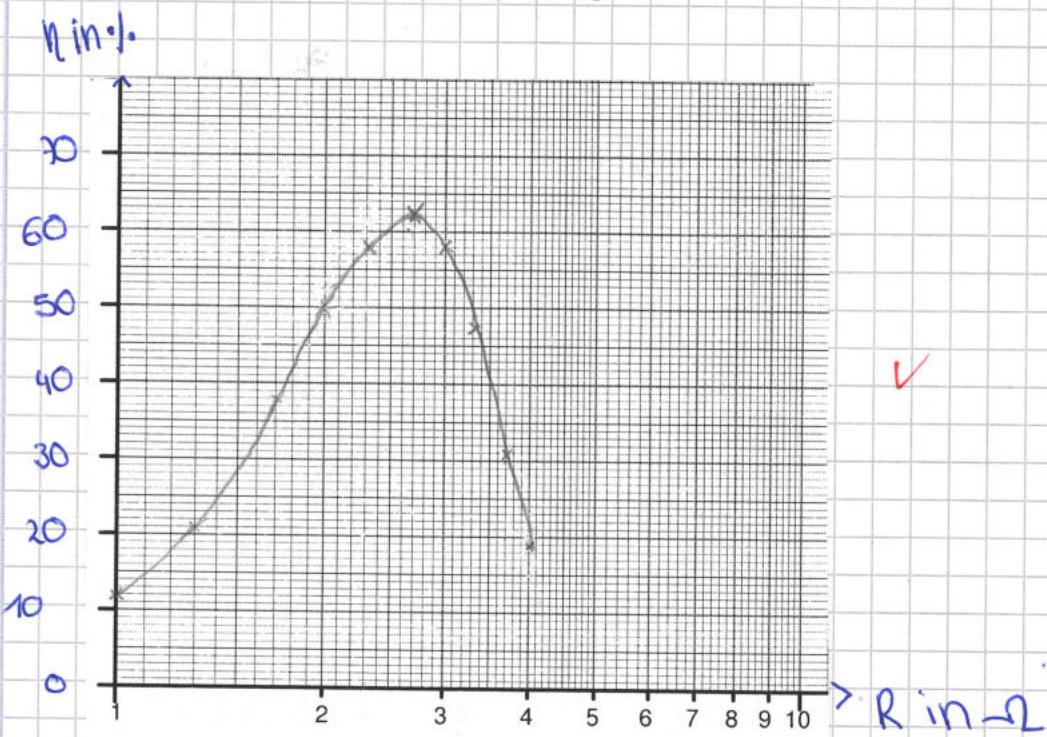
$$S_{I_1} = (1.5 \cdot I_1) + 4 \cdot 10^{-5} \text{ A} \quad S_{I_2} = (1.5 \cdot I_2) + 4 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

$$S_{p_1} = \sqrt{(I_1 \cos \varphi \cdot S_{I_1})^2 + (U_1 \cos \varphi \cdot S_{u_1})^2 + (U_1 I_1 \cdot S_{u_R} \cos \varphi)^2}$$

$$S_{p_2} = \sqrt{(I_2 \cos \varphi \cdot S_{I_2})^2 + (U_2 \cos \varphi \cdot S_{u_2})^2 + (U_2 I_2 \cdot S_{u_R} \cos \varphi)^2}$$

$$S_p = \sqrt{\left(\frac{S_{p_1}}{P_1}\right)^2 + \left(-\frac{P_1}{P_2} S_{p_2}\right)^2}$$

Zum Schluss wurde noch der Wirkungsgrad η gegen den Widerstand R aufgetragen.
Wobei die R -Achse logarithmisch ist.



Erwartung aus Frage 4:

a) $R = \infty$:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{22,43 \text{ V}}{11,99 \text{ V}} \approx 1,87 < 2 = \frac{1000}{500} = \frac{N_2}{N_1}$$

Es ist eine Abweichung dar, jedoch hält sie sich in Grenzen.

$$S = \sqrt{\left(\frac{U_2}{U_1}\cdot s_{u1}\right)^2 + \left(\frac{1}{U_1} s_{u2}\right)^2} = 0,04$$

$$\Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = 1,87 \pm 0,04$$

✓

b) $R = 0$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{0,27288 \text{ A}}{0,12526 \text{ A}} = 2,18 > 2 = \frac{1000}{500} = \frac{N_2}{N_1}$$

Auch hier hält sich die Abweichung in Grenzen.

$$S = \sqrt{\left(\frac{1}{I_1}\right)^2 \cdot s_{i1}^2 + \left(\frac{I_1}{I_2} s_{i2}\right)^2} = 0,04$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 2,18 \pm 0,04$$

✓

5. Vergleich mit Volleisen

Im folgenden wurden die Werte mit der Gruppe 7 verglichen; diese sind die Werte für den Eisenkern.

5.1 Hysteresekurve

a) 1 Hysteresekurve

$$\text{Trafoblech: } M_{\text{diffmax}} = (1148 \pm 3) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$\text{Volleisen: } M_{\text{diffmax}} = (56,0 \pm 0,9) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

b) 2 Hysteresekurve

$$\text{Trafoblech: } M_{\text{diffmax}} = (1241 \pm 13) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$\text{Volleisen: } M_{\text{diffmax}} = (56 \pm 1) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

Wie man erkennen kann, liegt M_{diffmax} vom Volleisen deutlich unter dem Wert vom Trafoblech.

Zudem fällt auf, dass das Maximum schon für ein kleines H-Feld erreicht wird, beim Trafoblech.

$$\text{Trafoblech: } H_1 = (87 \pm 1) \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad H_2 = (79 \pm 2) \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$\text{Volleisen: } H_1 = (2281 \pm 13) \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad H_2 = (2264 \pm 13) \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Das Trafoblech ist also leichter magnetisierbar.

✓

5.2 Reales Trafo

a) $R = \infty$

Volleisen: $U_2 = (10,6 \pm 0,2) V$

Trafoblech: $U_2 = (22,4 \pm 0,4) V$

Es fällt auf, dass U_2 beim Trafoblech fast doppelt so hoch ist als beim Volleisen.

*)

b) $R=0$

Volleisen: $\frac{I_1}{I_2} = 3,58 \pm 0,13 > 2$

Trafoblech: $\frac{I_1}{I_2} = 2,18 \pm 0,04 \approx 2$

Auch hier sieht man, dass der Wert vom Trafoblech viel näher am erwarteten Wert liegt als der Wert vom Eisenkern.

c) Wirkungsgrad:

Trafoblech: $\eta_{\max} = (62 \pm 20) \cdot 1 \quad (R=500\Omega)$

Eisen: $\eta_{\max} = (14,6 \pm 2,5) \cdot 1 \quad (R=100\Omega)$

Wie man erkennt ist der max. Wirkungsgrad beim Trafoblech fast 4 mal größer als der vom Volleisen und zudem bei einem 5 mal größeren Widerstand.

\Rightarrow Trafoblech arbeitet besser bei
einem hohen Widerstand.

*) $\frac{U_2}{U_1} = 1,04 \pm 0,21 \quad (\text{Volleisen}) < 2$

$\frac{U_2}{U_1} = 1,87 \pm 0,04 \quad (\text{Traf}) \sim 2$

Messprotokoll Versuch TRA

1 Allgemeines

- Ort: Universität Bayreuth, NWII
- Raum: 2102.669
- Datum: 23.10.2020
- Startzeit: 09:15
- Gruppe: 3
- (Auswerteperson: Paul Schwanitz) *
- Messperson: Dominik Müller
- Protokollperson: Anna-Maria Player
- Einziger Arbeitsplatz im Raum

* Ausfall wegen Quarantäne
⇒ Auswertung als Team

16 PUNKTE

18.11.2020

Dr. Bernd F. Müller