Hinweis

Das vorliegende Protokoll wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde dieses Protokoll von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:
https://www.physics-and-stuff.com/

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit des vorliegenden Protokolls! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

11.11.2015 Versuch 238: Transformator

In diesem Versuch geht es um die Übertragungseigenschaften von transformatoren. Es geht um die Umwandlung von elektrischer Energie bei Spannung 1 zu elektrischer Energie bei Spannung 2, was anhand von Messungen klar werden soll. Außerdem wird der Wechselstromkreis und für diesen wichtige Größen behandelt.

Größen, Formeln, Begriffe, Schaltungen

Effektivwerte: Der Scheitelwert geteilt durch Wurzel 2 ergibt den Effektivwert. $I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$.

Das hat damit zu tun, dass bei der Leistungsübertragung mit Wechselstrom nicht der Scheitelwert entscheidend ist, sondern eine quadratische Mittelung über die zeitlich veränderlichen Werte.

$$P = \overline{P(t)} = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} U(t)\, i(t)\, dt = U_{eff} \cdot I_{eff} = \frac{(U_{eff})^2}{R}$$

$$= \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} \frac{1}{R} U^2(t) \qquad = \cancel{\frac{1}{R} U}$$

Mit $U^2(t) = \hat{U}^2 \sin^2(\omega t)$

$$\overline{U^2(t)} = \hat{U}^2\, \overline{\sin^2(\omega t)} = \hat{U}^2 \cdot \frac{1}{T} \underbrace{\int_0^T \sin^2(\omega t)\, dt}_{\pi \text{ mit } T = 2\pi}$$

$$\Rightarrow \sqrt{\overline{U^2(t)}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{U} = U_{eff}$$

Analog für I_{eff}.

Schein-/Wirkleistung: $P_S = U_{eff} \cdot I_{eff}$

Durch die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke wird nur der Anteil der Stromstärke in Richtung der Spannung $I_W = I \cos\varphi$ in Leistung umgesetzt, sodass gilt:

$$\overline{P_W} = \frac{1}{2} |U \cdot I| \cos\varphi$$

(wie zuvor muss hier gemittelt werden)

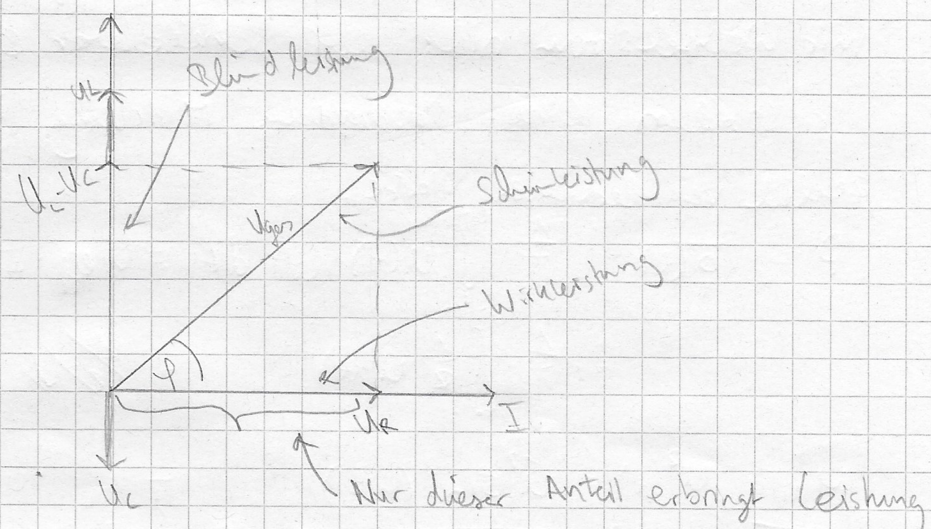
↑ Wirkleistung

Die Blindleistung - das ist die nicht in Wärme etc. umgesetzte Leistung, sondern bloß für den Transport genutzte - gilt

$$P_{Blind}^2 = P_{schein}^2 - P_W^2 = U^2 \cdot I^2 - U^2 I^2 \cos^2\varphi$$
$$= U^2 I^2 (1 - \cos^2\varphi)$$

$$\Leftrightarrow P_{Blind} = UI \sin\varphi$$

Folgendes Diagram stellt den Zusammenhang anschaulich dar:



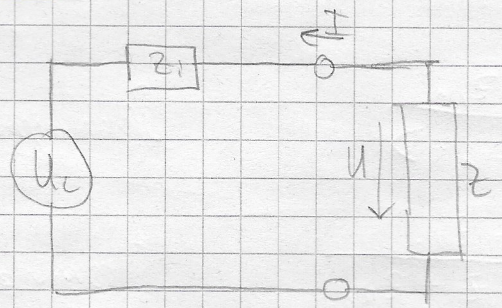
Impedanz (Scheinwiderstand): $Z = \frac{U_{ges}}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$

Wirk-/Blindwiderstand:

$R = \mathrm{Re}\, Z = Z \cos\varphi$ Wirkwid.: Resistanz

$X = \mathrm{Im}\, Z = Z \sin\varphi$ Blindwid.: Reaktanz

reale Spannungsquelle



Z_i : Innenimpedanz

$R_i + iX_i$

Z : Lastimpedanz

$Z = R + iX$

U_L : Leerlaufspannung

$I_k = -\frac{U_L}{Z_i}$ (Kurzschlussstrom)

Es gilt: $\underline{U = \frac{Z}{Z_i + Z} U_L}$ (Spannungsteiler!)

Wirkleistung $P_w = \frac{1}{2} |UI| \cos\varphi$

$$= \frac{R}{(R+R_i)^2 + (X+X_i)^2} U_{L,eff}^2$$

Leistungsanpassung

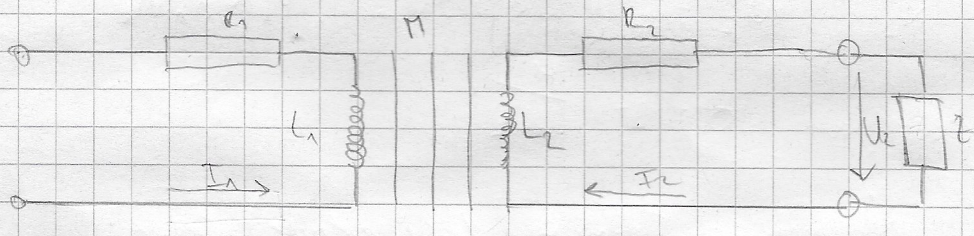
1) $X = -X_i$, $R = R_i$ $\Rightarrow P_{w,max} = \frac{U_{L,eff}^2}{4R_i}$

2) $R_i = X_i = 0$ (ideale Spannungsquelle)

$R = |X|$ $\Rightarrow P_{w,max} = \frac{U_{L,eff}^2}{2|X|}$

3) $R_i = 0$, $X = 0$; $R = |X_i|$ $\Rightarrow P_{w,max} = \frac{U_{L,eff}^2}{2|X_i|}$

Der Transformator



$U_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2$

$U_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$

Impedanz-Matrix

$$(Z_{jk}) = \begin{pmatrix} i\omega L_1 + R_1 & i\omega M \\ i\omega M & i\omega L_2 + R_2 \end{pmatrix}$$

$D = \det Z_{jk} = Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}$

$= (i\omega L_1 + R_1)(i\omega L_2 + R_2) + \omega^2 M^2$

$U_2 = -Z I_2$ bringt uns mit D zu folgenden Gleichungen:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{Z \cdot Z_{21}}{Z \cdot Z_{11} + D} \quad \text{Spannungsübersetzung}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{-Z_{21}}{Z + Z_{22}} \quad \text{Stromübersetzung}$$

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{Z \cdot Z_{11} + D}{Z + Z_{22}} \quad \text{Eingangsimpedanz}$$

Sekundärseite als reale Spannungsquelle liefert

$$U_2 = U_{2,L} - Z_{2,i} I_2$$

$$\rightarrow \quad Z_{2,i} = -\frac{D}{Z_{11}} \quad \text{Innenimpedanz}$$

$$U_{2,L} = \frac{Z_{21}}{Z_{11}} U_1 \quad \text{Leerlaufspannung}$$

$$I_{2,k} = -\frac{Z_{21}}{D} \cdot U_1 \quad \text{Kurzschlussstrom}$$

Idealer Transformator

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \text{, Gegeninduktivität } M \sim n_1 n_2$$

Streukoeffizient $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$

Da die allgemeinen Formeln (Kupferverluste) sehr unübersichtlich werden, vernachlässigen wir diese und erhalten mit $R_1 = R_2 = 0$:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{M/L_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma \omega L_2}{R}\right)^2}} \quad \text{Spannungsübersetzung}$$

Falls der Trafo unbelastet ist (Leerlauf: $R = \infty$) gilt

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{M}{L_1} \approx \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{M/L_2}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L_2}\right)^2}}$$ Strom-übersetzung

Im Kurzschlussfall ($R = 0$) gilt wieder:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{M}{L_2} \approx \frac{n_1}{n_2}$$

Andererseits erhält man mit $R_1 = R_2 = 0$

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{L_1}{L_2} R \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\sigma \omega L_2}{R}\right)^2}{1 + \left(\frac{R}{\omega L_2}\right)^2}}$$ Eingangs-impedanz

Leerlauffall ($R = \infty$): $$\frac{U_1}{I_1} = \omega L_1$$

Kurzschluss ($R = 0$): $$\frac{U_1}{I_1} = \sigma \omega L_1$$

Für den Kurzschlussstrom im Sekundärkreis gilt weiterhin:

$$I_{2,K} = \frac{M}{\sigma \omega L_1 L_2} U_1$$

Leistungsübertragung und Verluste

$$P_{W_{12}} = \left(\frac{M}{L}\right)^2 \cdot \frac{R}{(R+2R_V)^2 + (\sigma\omega L)^2} U_1^2$$

- maximal für $R^2 = R^2_{max} = 4R_V^2 + (\sigma\omega L)^2$
- falls $2R_V \ll \sigma\omega L \Rightarrow R_{max} = \sigma\omega L$

und $P_{W_{1max}} = \frac{M}{L} \frac{U_1^2}{2\sigma\omega L}$

Kupferverluste in den Spulen

$$P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

Außerdem P_{Fe}: Hysterese- und Wirbelstromverluste

Aufgabe 238.A

Die zulässige Stromstärke des Schiebewiderstands darf die zulässige Maximalstromstärke des Widerstands nicht überschreiten.

$$Z_{ges} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}} \quad , \quad I_{eff} = \cancel{\frac{Z_{ges}}{U_{eff}}} \frac{U_{eff}}{Z_{ges}}$$

$$\Rightarrow I_{eff} = U_{eff} (\omega C)$$

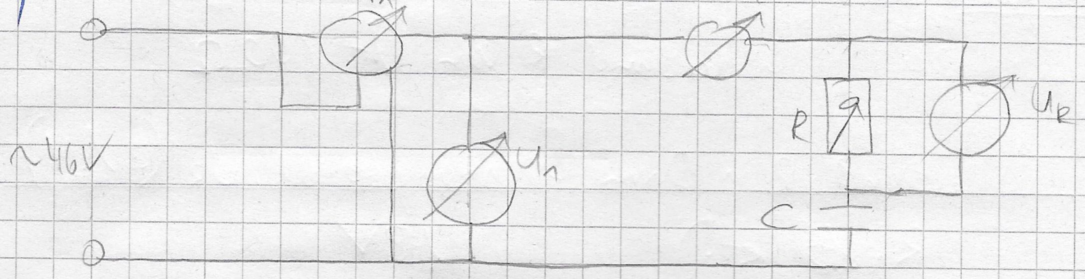
Mit $U_{eff} = 47V$, $\omega = 2\pi f = 100\pi\ Hz$, $C = 80\mu F$

folgt

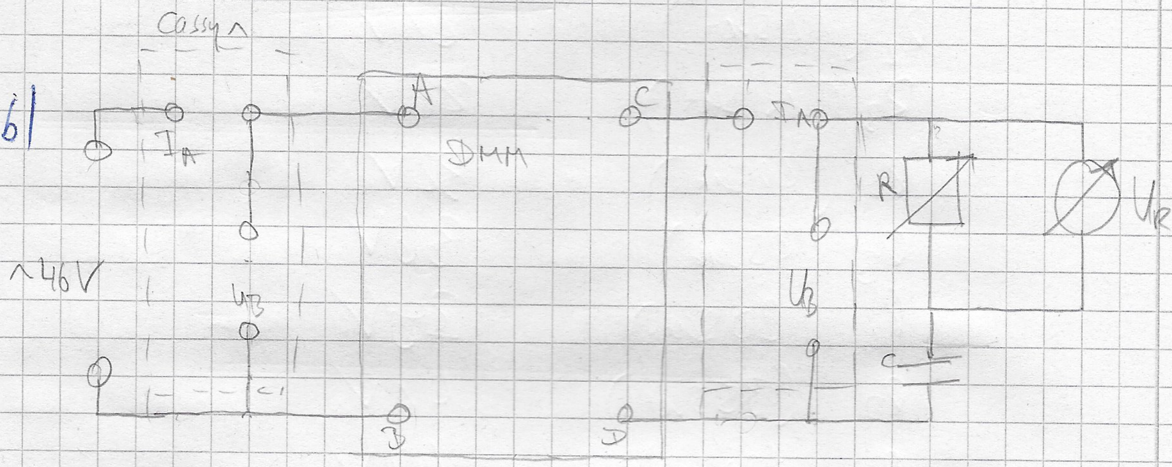
$$I_{eff} = 1{,}18A$$

„Elkos" darf man in unserem Fall nicht benutzen, weil wir Wechselstrom benutzen, „Elkos" aber nur auf eine Art und Weise gepolt werden dürfen. Dies schließt sie prinzipiell aus.

a)

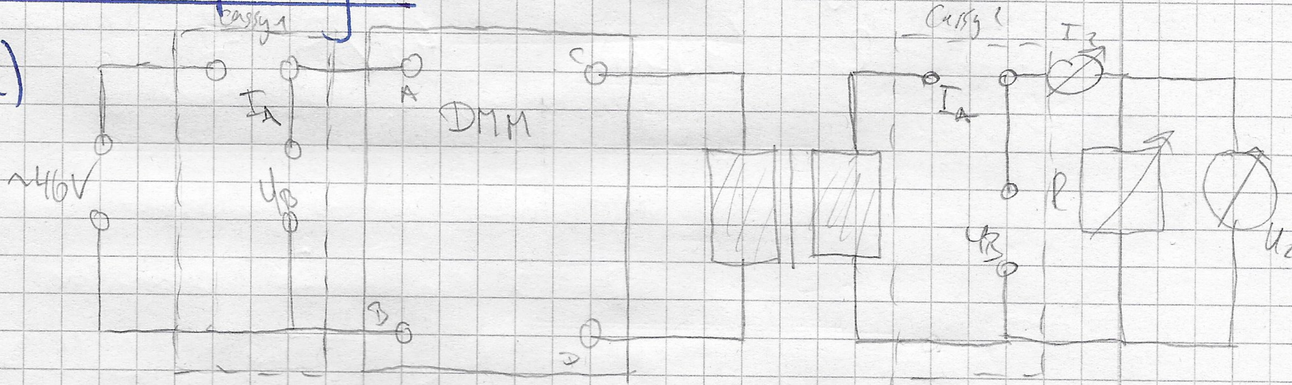


b)



Versuchsdurchführung

c)



1) Im Vorversuch a) misst man für eine RC-Serienschaltung mit einem Kondensator C für 10 Werte R die Spannung, Stromstärke, Wirkleistung und Spannungsabfall über einem Widerstand. Daraus wird Scheinleistung und die maximale Wirkleistung bestimmt.

2) Im zweiten Versuchsteil baut man die Transformatorschaltung auf. Nachdem man $P_{W1}, P_{W2}, U_2, I_2, U_1, I_1$ im 1:1 Trenntrafo bestimmt hat (mit verschiedenen Widerständen), rechnet man für die Auswertung damit verschiedene Größen aus.

Messungen

Aufgabe 238 a) Widerstand R von 0 - 100 Ω

Widerstand R in Ohm	Spannungsabfall U_R (± 1 V)
R_1 (10 Skt.)	18 V
R_2 (12 Skt.)	21 V
R_3 (15 Skt.)	26 V
R_4 (20 Skt.)	32 V
R_5 (25 Skt.)	36 V
R_6 (30 Skt.)	39 V
R_7 (35 Skt.)	41 V
R_8 (38 Skt.)	42 V
R_9 (43 Skt.)	44 V
R_{10} (49 Skt.)	46 V

Auswertung

Mit Hilfe der in Cassy erstellten Textdatei der ausgelesenen Werte und den Werten für U_R auf der linken Seite erstellen wir folgende Tabelle in Excel, wobei die Fehler grob abgeschätzt sind* und weiterhin gilt:

$$R = \frac{U_R}{I} \Rightarrow \Delta R = \sqrt{\left(\frac{1}{I}\Delta U_R\right)^2 + \left(\frac{U_R}{I^2}\Delta I\right)^2}$$

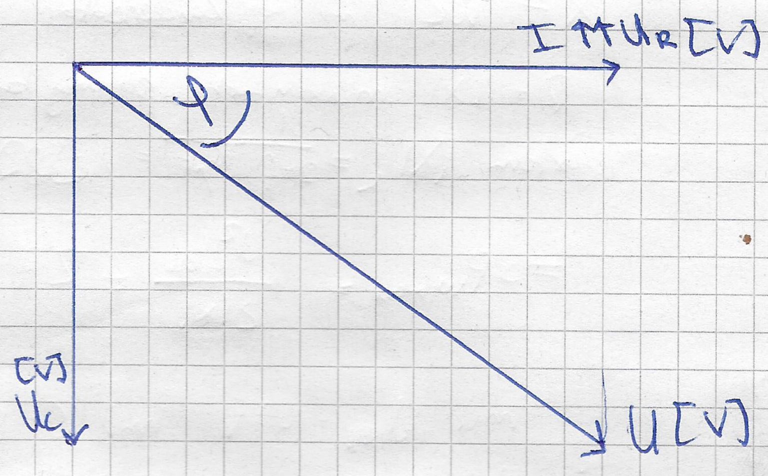
$$\cos(\varphi) = \frac{U_R}{U} \Rightarrow \Delta(\cos\varphi) = \sqrt{\left(\frac{1}{U}\Delta U_R\right)^2 + \left(\frac{U_R}{U^2}\Delta U\right)^2}$$

$$P_S = U \cdot I \Rightarrow \Delta P_S = \sqrt{(I\,\Delta U)^2 + (U\,\Delta I)^2}$$

$$P_W' = P_S\cos(\varphi) \Rightarrow \Delta P_W' = \sqrt{(\cos(\varphi)\,\Delta P_S)^2 + (P_S\,\Delta\cos\varphi)^2}$$

Daraus folgen dann auch direkt die 3 Plots.

Für das Zeigerdiagramm gilt mit Anhang A3:



Die maximale Leistung $P_{W,max}$ liest man einfach am Graphen $P_{Wirkleistung}$ ab zu $(22{,}5 \pm 0{,}5)$ W bei einem Widerstand von $R = 48\,\Omega$.

---

* wobei wir hier abhängig von der Skaleneinteilung des Voltometers bzw. von der Genauigkeit / Schwankung des Cassys abschätzen.

Spannung U_M	ΔU_M	Spannung U_R	ΔU_R	Strom I_1	ΔI_1	Leist.fkt. cos(ϕ)	Wirkleistung P_W	ΔP_W	R	ΔR	eist.fkt. cos(ϕ)	Δcos(ϕ)	Scheinleistung P_S	ΔP_S	P_S*cos(ϕ)	Δ(PS*cos(ϕ))
[V]				[A]		(Cassy)	[W] (Cassy)	[W]	[Ω]		(berechnet)		[W]			
47.24139137	0.5	18	1	0.910359662	0.05	0.411456742	17.695379	1	19.77240507	1.54465312	0.381021801	0.021548592	43.00665709	2.405527245	16.3864739	1.30342358
47.22780938	0.5	21	1	0.868780073	0.05	0.484689281	19.88708214	1	24.17182514	1.80558879	0.444653273	0.021690959	41.03057966	2.401012214	18.2443815	1.389926235
47.18862702	0.5	26	1	0.793945055	0.05	0.587841753	22.02359538	1	32.74785811	2.41654973	0.550980218	0.021981006	37.46517707	2.392593465	20.6425714	1.55435811
47.16984393	0.5	32	1	0.668285667	0.05	0.714346778	22.5183039	1	47.88371439	3.8825222	0.678399531	0.022386386	31.5229306	2.382044683	21.3851413	1.763342139
47.24176125	0.5	36	1	0.562663445	0.05	0.793230212	21.08502052	1	63.98140902	5.95688902	0.762037635	0.022652175	26.58121212	2.378782788	20.255884	1.910107933
47.26083272	0.5	39	1	0.464238346	0.05	0.850467196	18.65949759	1	84.00857089	9.3008765	0.825207635	0.022889508	21.94029081	2.374414682	18.1052955	2.022720291
47.27693974	0.5	41	1	0.388066638	0.05	0.885160351	16.23968561	1	105.6519576	13.8543607	0.867230414	0.023054882	18.34660306	2.371797105	15.9107322	2.09993485
47.24493156	0.5	42	1	0.34950949	0.05	0.900134241	14.8635134	1	120.1684109	17.4274772	0.888984249	0.023163054	16.51255193	2.368701779	14.6793986	2.140193157
47.29314685	0.5	44	1	0.293965814	0.05	0.919690293	12.78605722	1	149.6772682	25.6845452	0.930367356	0.023320575	13.90256842	2.369221037	12.9344958	2.227962294
47.25032059	0.5	46	1	0.243069751	0.05	0.93300745	10.71570593	1	189.2460901	39.1451383	0.973538368	0.02353804	11.48512366	2.365640022	11.1812085	2.318853512

Dass $P_S \cdot \cos(\varphi)$ das gleiche sein sollte wie P_W (nichts anderes ist die Definition der Schein-leistung) wird durch unsere Messungen bestätigt.
Während die Scheinleistung für steigende Widerstände immer kleiner wird, erreichen P_W und $P_S \cos\varphi$ ihr Maximum bei einem bestimmten Widerstand und fallen dann wieder ab.

Für die Berechnung von P_{Max} nimmt man die Formel aus der Vorbereitung:

$X = \frac{1}{\omega C}$ für Kondensator

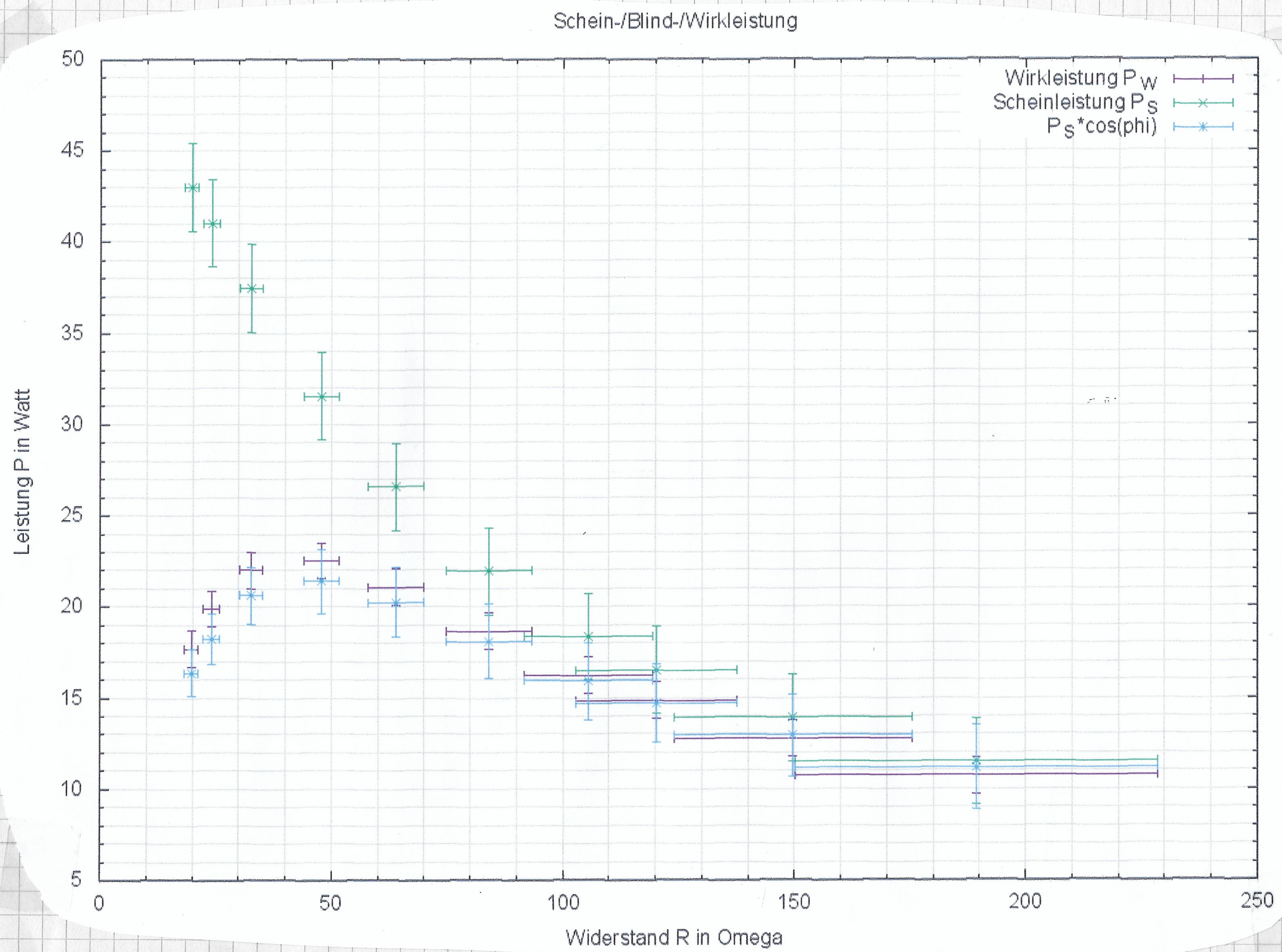
$R = |X|$ maximiert Leistung bei festem $|X|$ $\left(= \frac{1}{2\pi f \cdot 80\mu F} = 39{,}789\,\Omega \right)$

$$\Rightarrow P_{W,max} = \frac{U^2_{L,eff}}{2|X|} = 27{,}76\,W$$

mit $U_{eff} = 47V$ und $C = 80\mu F$,
$f = 50Hz$ wie in Aufgabenstellung

und $R = |X| = 39{,}789\,\Omega$.

Leichte Unterschiede zum abgelesenen Wert aber gleiche Größenordnung.


Schein-/Blind-/Wirkleistung
Wirkleistung P W
Scheinleistung P S
P S*cos(phi)
Leistung P in Watt
Widerstand R in Omega
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
50
100
150
200
250

Aufgabe 238 c)/d)

Die Tabelle füllen wir mittels der Werte aus dem Cassy-Export aus, wobei wir auch hier wieder die Messfehler der Cassy-Apparatur abschätzen müssen. Da die Geräte als ziemlich genau, allerdings nicht kontrolliert durch den DMM – diese Geräte sind leider kaputt – angesehen werden kann schätzen wir den Fehler der Stromstärke mit knapp 5% ab zu $\Delta I_{1/2} = 0{,}01\,A$. Da die Spannung der Spannungsquelle im Prinzip mit 47V angegeben war, wir aber einen um knapp 0,25 V verschiedenen Wert messen, schätzen wir den Fehler hier großzügig ab zu $\Delta U_{1/2} = 0{,}5\,V$.
Da die Phasenverschiebung φ bzw. der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ durch die vorigen Größen zusammenhängt schätzen wir ihn ab zu $\Delta\cos(\varphi)_2 = 0{,}01$, dabei soll nicht genauer quantitativ auf diesen Fehler eingegangen werden, da wir den Wert nicht weiter benutzen.
Der Fehler in den Leistungen schätzen wir ab zu knapp $\Delta P_{W,1/2} = 0{,}05\,W$. Dabei fällt auf, dass wir Fehler gewählt haben, welche von dem Wert selbst unabhängig sind, da das Cassy-Gerät bloß einen Eichungsfehler aufweisen sollte.

Füllt man die Tabelle weiter aus, so gilt mit

$$P_{S2} = U_2 I_2 \Rightarrow \Delta P_{S2} = \sqrt{(I_2 \Delta U_2)^2 + (U_2 \Delta I_2)^2}$$

und

$$P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 \Rightarrow \Delta P_{Cu} = \sqrt{(I_1^2 \Delta R_1)^2 + (I_2^2 \Delta R_2)^2 + (2R_1 I_1 \Delta I_1)^2 + (2R_2 I_2 \Delta I_2)^2}$$

($R_1 = R_2 = R_v$ entnimmt man hierbei den Spulen zu $R_v = 0{,}26\,\Omega$) $\Rightarrow \Delta P_{Cu} = \sqrt{((I_1^2 + I_2^2)\Delta R)^2 + (2R I_1 \Delta I_1)^2 + (2R I_2 \Delta I_2)^2}$

Außerdem $\eta = \frac{P_{W,2}}{P_{W,1}}$ und damit $\Delta\eta = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_{W,2}}{P_{W,1}}\right)^2 + \left(\frac{P_{W,2}}{P_{W,1}^2}\Delta P_{W,1}\right)^2}$

Sowie $P_V = P_{W,1} - P_{W,2} \Rightarrow \Delta P_V = \sqrt{\Delta P_{W,1}^2 + \Delta P_{W,2}^2}$

Desweiteren gilt mit

$$P_{Fe} = P_V - P_{Cu} \Rightarrow \Delta P_{Fe} = \sqrt{\Delta P_V^2 + \Delta P_{Cu}^2}$$

und

$$P_{S,1} = U_1 I_1 \Rightarrow \Delta P_{S,1} = \sqrt{(U_1 \Delta I_1)^2 + (I_1 \Delta U_1)^2}$$

Damit erhält man die vollständige Tabelle und kann damit auch $P_{W,1}$ gegen I_2 und P_V gegen I_2

$P_{W,2}$ " " P_{Cu} " "

P_{Fe} " "

Sowie η gegen I_2 auftragen.

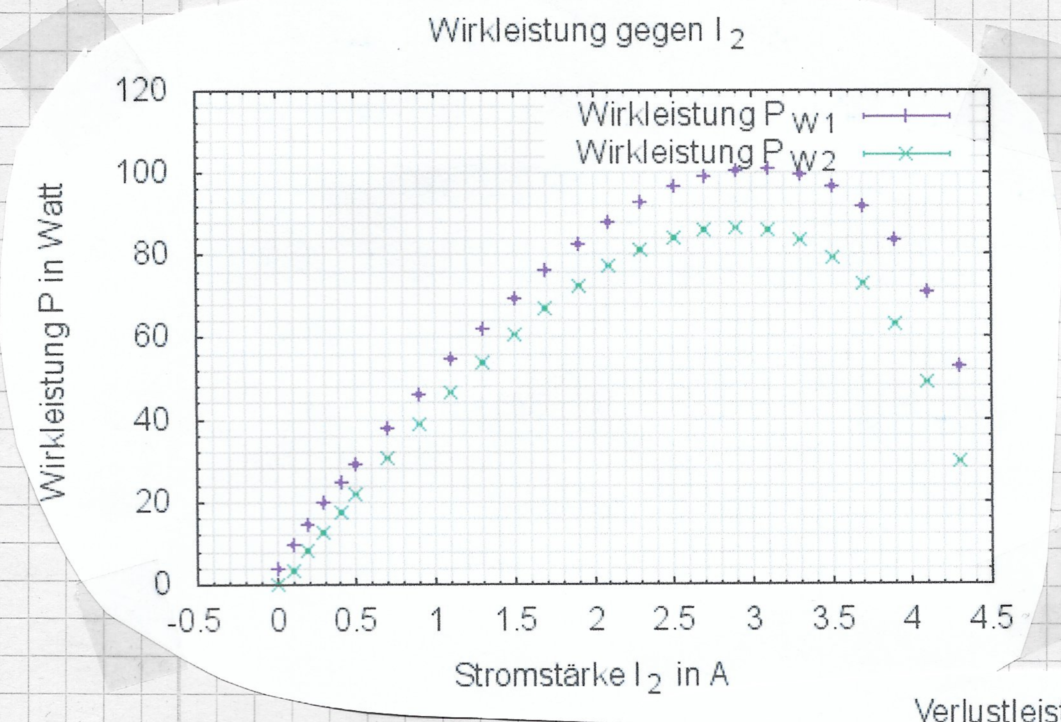
$R_1 = R_2 = R_V = 0{,}26\,\Omega$ wurde hierbei nicht in die Excel Tabelle eingetragen, sondern direkt verrechnet. Außerdem wird dieser Wert fehlerfrei angenommen, sodass sich die Formel für ΔP_{Cu} weiter vereinfacht zu $\Delta P_{Cu} = 2R\sqrt{(I_1 \Delta I_1)^2 + (I_2 \Delta I_2)^2}$

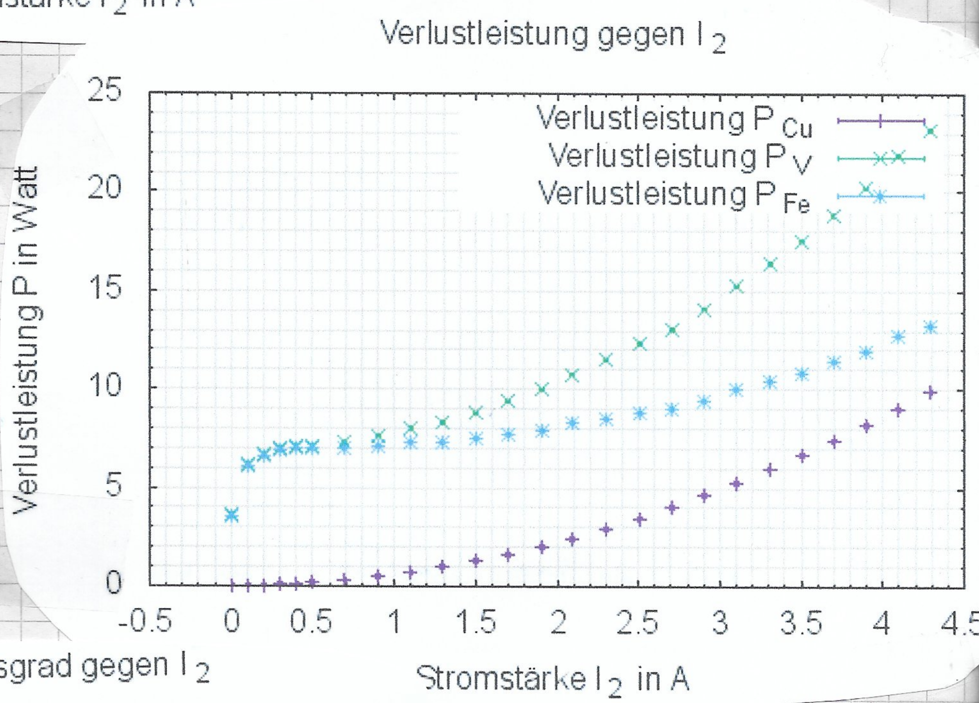
Wir haben die Tabelle in zwei Teile aufgeteilt, der erste Teil enthält die in Cassy gemessenen Werte und der zweite Teil die daraus ermittelten Werte.

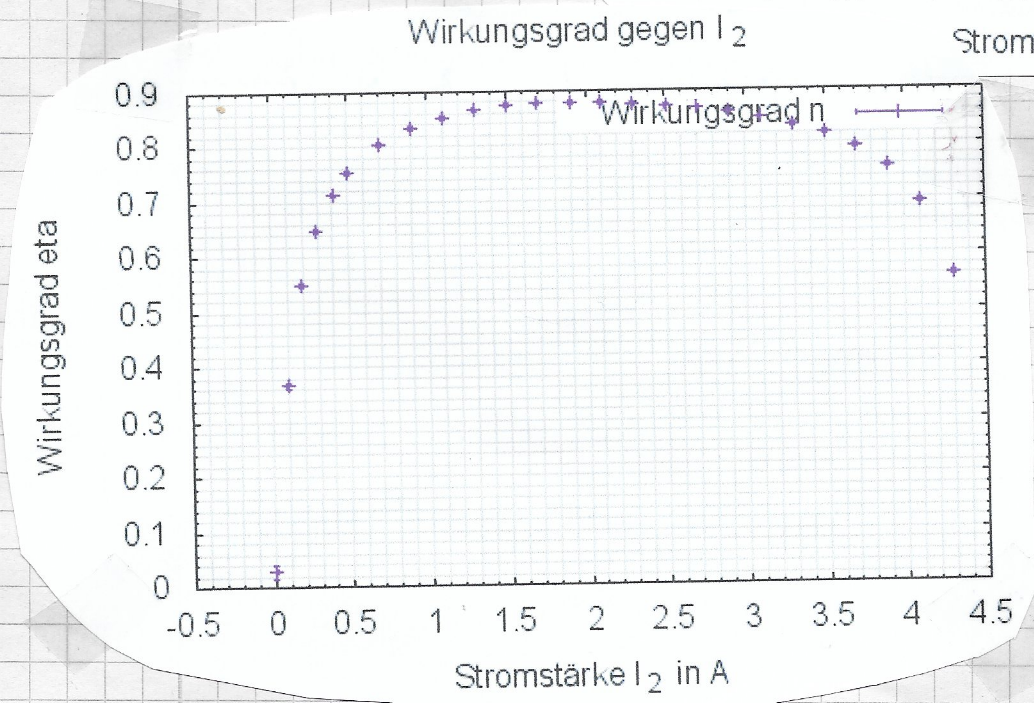
Strom I_1	ΔI_1	Spannung U_1	ΔU_1	Leist.fkt $\cos(\phi_1)$	$\Delta\cos(\phi_1)$	Strom I_2	ΔI_2	Spannung U_2	ΔU_2	Leist.fkt $\cos(\phi_2)$	$\Delta\cos(\phi_2)$	$P_{W,1}$	$\Delta P_{W,1}$	$P_{W,2}$	$\Delta P_{W,2}$
[A]		[V]				[A]		[V]							[V
0.12	0.01	47.22731281	0.5	0.652445778	0.01	0.00837458	0.01	46.55975147	0.5	0.261944553	0.01	3.6975913	0.05	0.10213702	0.05
0.24249138	0.01	47.14263406	0.5	0.846439534	0.01	0.09894015	0.01	46.27273546	0.5	0.775863441	0.01	9.67622789	0.05	3.55208227	0.05
0.35053161	0.01	47.1094071	0.5	0.897281538	0.01	0.19874782	0.01	46.00981666	0.5	0.892307923	0.01	14.817112	0.05	8.15957673	0.05
0.45471732	0.01	47.12668381	0.5	0.91854748	0.01	0.29793013	0.01	45.72672375	0.5	0.935818076	0.01	19.6838474	0.05	12.7489946	0.05
0.56179909	0.01	47.12657816	0.5	0.9293178	0.01	0.40284989	0.01	45.47393775	0.5	0.957819043	0.01	24.6043102	0.05	17.5464507	0.05
0.65826731	0.01	47.06452158	0.5	0.933900518	0.01	0.49829325	0.01	45.16296041	0.5	0.969707505	0.01	28.9332054	0.05	21.8226838	0.05
0.86063755	0.01	47.04933862	0.5	0.932998097	0.01	0.69749636	0.01	44.46023362	0.5	0.981743611	0.01	37.7793577	0.05	30.4447048	0.05
1.06452522	0.01	46.89750524	0.5	0.927427591	0.01	0.89938662	0.01	43.54751946	0.5	0.987803795	0.01	46.3005029	0.05	38.6883789	0.05
1.26829032	0.01	46.95182923	0.5	0.918761181	0.01	1.10214104	0.01	42.78136045	0.5	0.991016838	0.01	54.7108964	0.05	46.7275271	0.05
1.46305085	0.01	46.88062234	0.5	0.906226704	0.01	1.29646833	0.01	41.82475447	0.5	0.993171644	0.01	62.1569428	0.05	53.8542056	0.05
1.66619708	0.01	46.85799613	0.5	0.891114497	0.01	1.49911121	0.01	40.76995533	0.5	0.99466926	0.01	69.573458	0.05	60.7928891	0.05
1.86488035	0.01	46.80446787	0.5	0.873462636	0.01	1.69539753	0.01	39.61499204	0.5	0.995561259	0.01	76.2399524	0.05	66.8650399	0.05
2.07379808	0.01	46.744595	0.5	0.851947646	0.01	1.90434009	0.01	38.26830339	0.5	0.996319862	0.01	82.5868261	0.05	72.607671	0.05
2.26646182	0.01	46.76184622	0.5	0.829925925	0.01	2.09519401	0.01	36.96663534	0.5	0.996816567	0.01	87.9588185	0.05	77.2057086	0.05
2.47122558	0.01	46.70639615	0.5	0.802429551	0.01	2.30045728	0.01	35.35914961	0.5	0.997254039	0.01	92.6180564	0.05	81.1188504	0.05
2.67193481	0.01	46.70703572	0.5	0.773197376	0.01	2.50401014	0.01	33.70213344	0.5	0.997585905	0.01	96.4936058	0.05	84.1867571	0.05
2.86910522	0.01	46.65498906	0.5	0.73957642	0.01	2.70378246	0.01	31.85952578	0.5	0.997820992	0.01	98.9982741	0.05	85.9535247	0.05
3.07017241	0.01	46.42853204	0.5	0.704415778	0.01	2.90264592	0.01	29.79515613	0.5	0.997982094	0.01	100.40996	0.05	86.3102701	0.05
3.25736584	0.01	46.51332786	0.5	0.667502292	0.01	3.09593305	0.01	27.79028356	0.5	0.998148878	0.01	101.13389	0.05	85.8775925	0.05
3.46760366	0.01	46.50829691	0.5	0.618535359	0.01	3.30386345	0.01	25.28771987	0.5	0.998296404	0.01	99.7526449	0.05	83.4048428	0.05
3.66464001	0.01	46.51787666	0.5	0.566267771	0.01	3.50380949	0.01	22.58066897	0.5	0.998471669	0.01	96.5323872	0.05	78.9974432	0.05
3.85440562	0.01	46.59930555	0.5	0.511670943	0.01	3.69683808	0.01	19.80087708	0.5	0.998564793	0.01	91.9025612	0.05	73.0955784	0.05
4.0523195	0.01	46.64378294	0.5	0.442162831	0.01	3.89904545	0.01	16.27370733	0.5	0.99867754	0.01	83.5756334	0.05	63.368012	0.05
4.24518041	0.01	46.69605527	0.5	0.358451432	0.01	4.09978873	0.01	12.02701638	0.5	0.99869481	0.01	71.0569668	0.05	49.2438696	0.05
4.43486553	0.01	46.87361257	0.5	0.25438174	0.01	4.29603523	0.01	6.926431596	0.5	0.999069501	0.01	52.8804101	0.05	29.7285061	0.05

$P_{S,2}$	$\Delta P_{S,2}$	P_{Cu}	ΔP_{Cu}	η	$\Delta\eta$	P_V	ΔP_V	P_{Fe}	ΔP_{Fe}	$P_{S,1}$	$\Delta P_{S,1}$
V]						[W]					
0.38991848	0.46561634	0.00376223	0.00062552	0.02762258	0.01352747	3.59545428	0.07071068	3.59169205	0.07071344	5.66727754	0.47606923
4.57823127	0.46536426	0.01783372	0.00136188	0.3670937	0.00550447	6.12414562	0.07071068	6.1063119	0.07072379	11.4316824	0.48676823
9.14435087	0.47070744	0.04221701	0.00209537	0.55068604	0.00385231	6.65753525	0.07071068	6.61531825	0.07074172	16.5133365	0.50264075
13.6233686	0.48091986	0.07683785	0.00282686	0.64768814	0.00302641	6.93485282	0.07071068	6.85801497	0.07076716	21.4293194	0.5232441
18.3191709	0.4973529	0.12425563	0.0035948	0.7131454	0.00249599	7.05785952	0.07071068	6.93360389	0.070802	26.4756688	0.54863102
22.5043982	0.51579389	0.17721912	0.00429311	0.75424356	0.00216456	7.11052158	0.07071068	6.93330246	0.07084088	30.9810358	0.5743134
31.0108509	0.5650633	0.31907152	0.00576051	0.80585554	0.00169973	7.33465296	0.07071068	7.01558144	0.07094493	40.4924274	0.63760354
39.1660561	0.62598939	0.50494866	0.0072467	0.83559306	0.00140728	7.61212402	0.07071068	7.10717536	0.07108104	49.9235771	0.70939487
47.151093	0.69764117	0.73405155	0.00873735	0.85408082	0.00120185	7.98336928	0.07071068	7.24931773	0.07124845	59.5485503	0.78904215
54.2244696	0.77145223	0.99355046	0.0101651	0.86642301	0.00106435	8.30273715	0.07071068	7.30918669	0.07143759	68.5887345	0.86885483
61.118697	0.85325994	1.30612225	0.0116549	0.87379427	0.00095437	8.78056892	0.07071068	7.47444667	0.07166475	78.0746562	0.9558349
67.1631597	0.93569651	1.65155939	0.01310581	0.87703412	0.00087232	9.37491253	0.07071068	7.72335314	0.07191496	87.2847324	1.04331707
72.8758642	1.02619399	2.0610589	0.0146407	0.87916771	0.00080613	9.97915507	0.07071068	7.91809617	0.07221046	96.9388512	1.1373941
77.4522727	1.11090625	2.47693864	0.01604997	0.87774836	0.00075637	10.7531099	0.07071068	8.27617121	0.07250932	105.983939	1.22591978
81.342213	1.20335068	2.96375548	0.0175565	0.87584272	0.00071764	11.499206	0.07071068	8.5354505	0.0728576	115.422041	1.32094198
84.3904837	1.29657243	3.48641862	0.01904173	0.87245944	0.00068766	12.3068487	0.07071068	8.82043009	0.07322969	124.798155	1.41526098
86.1412271	1.38892507	4.04097313	0.02050027	0.86823256	0.00066886	13.0447494	0.07071068	9.00377628	0.07362242	133.858073	1.50851251
86.4847882	1.48159153	4.6413411	0.02197042	0.85957877	0.00065664	14.0996895	0.07071068	9.45834844	0.07404525	142.543598	1.60376136
86.0368572	1.57271432	5.25076074	0.02336834	0.84914753	0.00064859	15.2562973	0.07071068	10.0055366	0.074472	151.510925	1.69379958
83.5471734	1.67117483	5.96434509	0.02490566	0.8361166	0.00065336	16.3478022	0.07071068	10.3834571	0.07496861	161.27234	1.79509636
79.1183623	1.76639715	6.68362951	0.0263647	0.8183517	0.00066929	17.5349439	0.07071068	10.8513144	0.07546587	170.471272	1.89044648
73.2006365	1.85899447	7.41599416	0.02777163	0.79535954	0.00069516	18.8069828	0.07071068	11.3909886	0.07596883	179.612625	1.98274058
63.4519246	1.9563032	8.22220068	0.02924224	0.75821157	0.00075078	20.2076215	0.07071068	11.9854208	0.07651868	189.015511	2.0791555
49.3082262	2.05341954	9.05575432	0.03068873	0.69301958	0.00085612	21.8130972	0.07071068	12.7573429	0.07708306	198.233179	2.17334796
29.7561942	2.14913406	9.91222726	0.03210719	0.56218373	0.0010847	23.1519041	0.07071068	13.2396768	0.07765869	207.878169	2.26643368

2 Die Graphen sind hinten nochmal in groß falls dir das lieber ist. Oder so ok von der Größe?







Auch hier ist wieder ein deutliches Maximum der Wirkleistung bei $\approx 3\,A$ zu sehen. Da beide Wirkleistungen dort einen Peak haben, gilt für einen großen Bereich I, dass der Wirkungsgrad maximal wird. Die Verlustleistung hingegen steigt für wachsendes I an, sowohl Kupfer, als auch Eisenverluste. Während die Verluste im Bereich um 1,5 A noch recht wenig ansteigen, steigen sie danach ab 2,5 deutlich stärker an.

Aufgabe 238e)

Es gilt $\omega L = \frac{U_1}{I_1}$ im Fall des Leerlaufs ($R = \infty$)

$$\Rightarrow \Delta(\omega L) = \sqrt{\left(\frac{1}{I_1}\Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{U_1}{(I_1)^2}\Delta I_1\right)^2}$$

und damit:

$$\omega L = (393{,}56 \pm 33{,}06)\ \frac{V}{A}$$

Hier muss man beachten, dass wir nicht wirklich die Möglichkeit hatten, $R = \infty$ zu wählen, sodass der Wert nicht gut mit dem exakten Wert für ωL übereinstimmen wird.

Was ist mit den anderen Methoden?

Aufgabe 238 f)

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L^2}$$

• Kurzschlussfall (R=0) : $\frac{I_2}{I_1} \approx 1 - \frac{\sigma}{2}$ (mit Taylor-Näherung)

$$\Leftrightarrow \sigma = 2\left(1 - \frac{I_2}{I_1}\right) = 2 - 2\frac{I_2}{I_1}$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{2\Delta I_2}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{2I_2}{I_1^2}\Delta I_1\right)^2}$$

$$\Rightarrow \sigma = (0{,}0626 \pm 0{,}0199)$$

Hier ist zu bemerken, dass der Fehler noch größer ausfallen wird, als beim vorherigen Ergebnis für ωL, da der Kurzschlussfall „lange" nicht erreicht war. Wir konnten den Widerstand bis maximal 4,4A belasten, das heißt, dass bei etwa $1{,}5\,\Omega = \frac{U}{I}$ Schluss war mit unserer Messung.

• Leerlauf: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{M}{L} \approx 1 - \frac{\sigma}{2}$

$$\Leftrightarrow \sigma = 2\left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) = 2 - 2\frac{U_2}{U_1}$$

$$\Rightarrow \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{2\Delta U_2}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{2U_2}{U_1^2}\Delta U_1\right)^2}$$

$$\Rightarrow \sigma = (0{,}02827 \pm 0{,}029746)$$

Hier haben wir das gleiche Problem wie gehabt. Die als Leerlaufspannung bezeichnete und benutzte Spannung entspricht im ~~Rea~~ reellen Fall nicht der für die Bestimmung von σ nötigen idealen Leerlaufspannung (R=0)

Großer Fehler, weil ΔU großzügig abgeschätzt.

Bei diesen beiden Rechnungen ist weiterhin die Taylor approx. mit zu bedenken.

• $\frac{U_1}{I_1} = \sigma \omega L_1$ (R=0 : Kurzschluss)

$\frac{U_1}{I_1} = \omega L_1$ (R=∞ : Leerlauf)

$\Rightarrow \frac{U_{1k}}{I_{1k}} \Big/ \frac{U_{1L}}{I_{1,L}} = \sigma = \frac{U_{1k} \cdot I_{1L}}{U_{1L} \cdot I_{1,k}}$

$$\Rightarrow \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{I_{1L}}{U_{1L} \cdot I_{1k}} \Delta U_{1k}\right)^2 + \left(\frac{U_{1k}}{U_{1L} \cdot I_{1k}} \cdot \Delta I_{1L}\right)^2 + \left(\frac{U_{1k} \cdot I_{1L}}{U_{1L}^2 I_{1k}} \Delta U_{1L}\right)^2 + \left(\frac{U_{1k} \cdot I_{1L}}{U_{1L} \cdot I_{1k}^2} \cdot \Delta I_{1k}\right)^2}$$

$\Rightarrow \sigma = (0{,}02686 \pm 0{,}002275)$

Hier ist der Fehler sehr klein, da sowohl über Fehler in I als auch U gemittelt wird, sodass hier quasi das „Optimum" rausgeholt wird.
Der Wert selbst ist ähnlich zu dem aus der 2. Variante, was ein gutes Indiz dafür sein könnte, dass der erste Wert (Kurzschlussfall) sehr weit neben dem „richtigen" Wert liegt.

• $I_{2,k} \sigma \omega L = U_1 \Leftrightarrow \sigma = \frac{U_1}{(\omega L) \cdot I_{2,k}}$

$$\Rightarrow \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_1}{(\omega L) \cdot I_{2,k}}\right)^2 + \left(\frac{U_1 \, \Delta(\omega L)}{(\omega L)^2 I_{2,k}}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{(\omega L) I_{2k}^2} \Delta I_{2,k}\right)^2}$$

$\Rightarrow \sigma = (0{,}0277 \pm 0{,}00235)$

mit $\omega L = (393{,}56 \pm 33{,}06) \frac{V}{A}$ (Aufgabenteil e)

Zu bemerken ist erst einmal, dass alle Werte etwa in der gleichen Größenordnung liegen.
Außerdem stimmen die Werte für σ aus den letzten 3 Varianten innerhalb der Fehlergrenzen sehr gut überein. Die erste Variante fällt dabei mit ihrem 3 mal so großen σ ins Auge. Die Hauptursache hierfür liegt wohl darin, dass die verwendeten Formeln bloß im Fall $R = 0$ gelten, wir dies in unserem Fall aber nicht herstellen konnten.
Außerdem tanzt der Fehler bei der 2. Variante etwas aus der Reihe, was daran liegt, dass hier nur Spannungen im Leerlauf betrachtet werden, und diese recht große Fehler aufweisen und außerdem auch nicht im idealen Leerlauffall, sondern mit $R \approx 1000\,\Omega$ gemessen wurden.
Nichts desto trotz erhalten wir insgesamt also einen recht guten Eindruck von σ als $\sigma \approx (0{,}0275 \pm 0{,}0025)$
Dabei ist bemerkenswert, dass $\sigma \ll 1$ und damit der Trafo fast als ideal angesehen werden kann.

Aufgabe 238g)

Die Tabelle wird ergänzt um $\frac{U_2}{U_1} \Rightarrow \Delta\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_2}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{U_1^2}\Delta U_1\right)^2}$

und $R = \frac{U_2}{I_2} \Rightarrow \Delta R = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_2}{I_2}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{I_2^2}\Delta I_2\right)^2}$

R_V wie gehabt von den Spulen abgelesen zu $0{,}26\,\Omega$.
Für M/L und ωL nimmt man die errechneten Werte

$$M/L = \sqrt{1-\sigma} \Rightarrow \Delta(M/L) = \frac{1}{2}(1-\sigma)^{-1/2}\Delta\sigma$$

wobei $\sigma = (0{,}0275 \pm 0{,}0025)$ als Mittelwert gewählt wird.

$\omega L = (393{,}56 \pm 33{,}06)\,\frac{V}{A}$, $M/L = (0{,}98615 \pm 0{,}001$

Für $\frac{U_2}{U_1}$ gilt aufgrund nach der Vorbereitung:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{M/L}{\sqrt{1+\left(\frac{\sigma\omega L}{R}\right)^2}}$$

$$\Rightarrow \Delta\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = \sqrt{\left(\frac{\Delta(M/L)}{\sqrt{1+\left(\frac{\sigma\omega L}{R}\right)^2}}\right)^2 + \left(\frac{M/L \cdot \frac{1}{2}\cdot 2\sigma\omega^2L^2/R^2}{\left(1+\left(\frac{\sigma\omega L}{R}\right)^2\right)^{3/2}}\Delta\sigma\right)^2 + \left(\frac{M/L\cdot\frac{1}{2}\cdot 2(\omega L)\sigma^2/R^2}{\left(1+\left(\frac{\sigma\omega L}{R}\right)^2\right)^{3/2}}\Delta(\omega L)\right)^2}$$

NÄHERUNG

wobei eigentlich:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R}{R+2R_v}\,\frac{M/L}{\sqrt{1+\left(\frac{\sigma\omega L}{R+2R_v}\right)^2}} = \frac{RM/L}{\sqrt{(R+2R_v)^2+(\sigma\omega L)^2}}$$

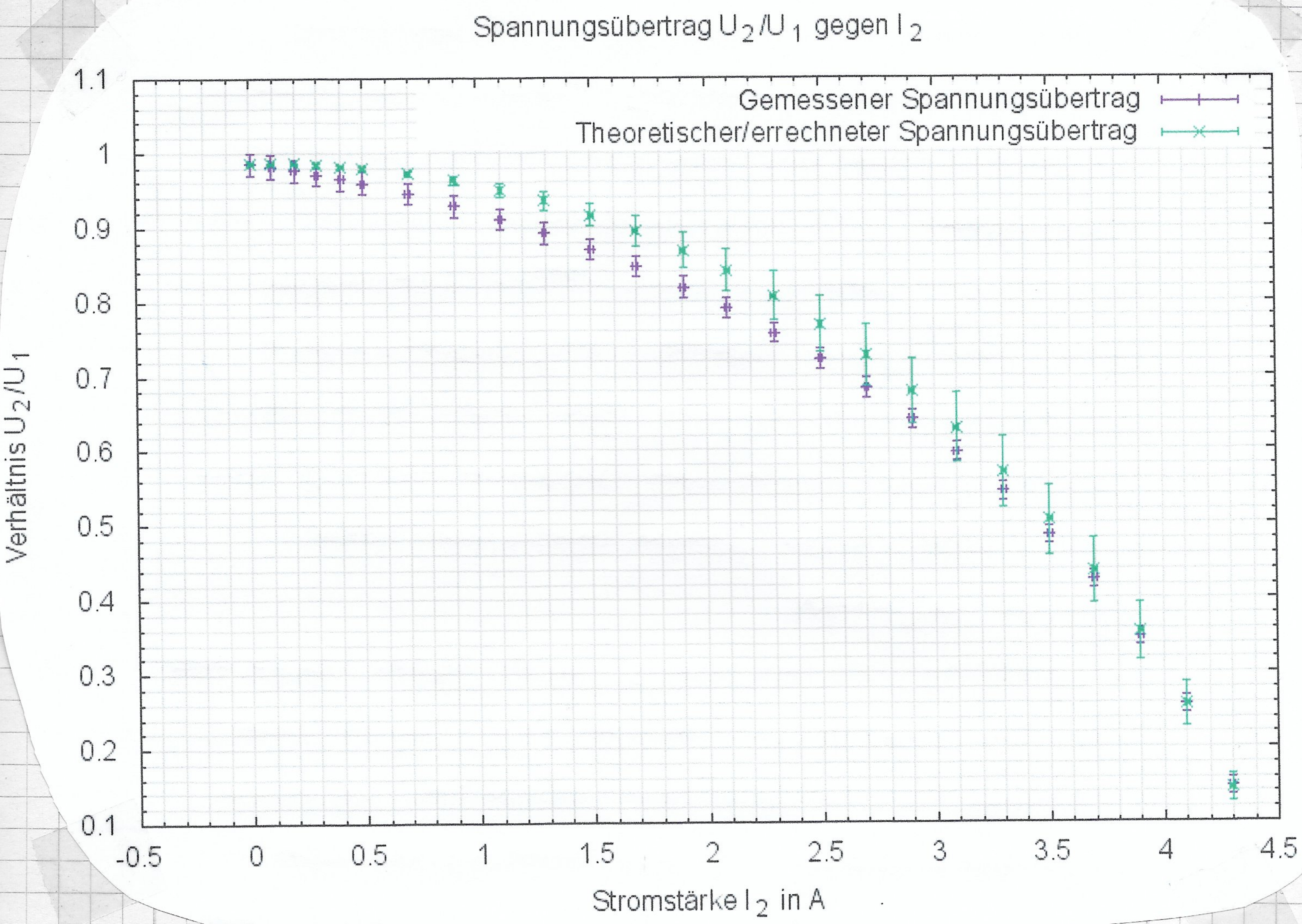
$$\Delta\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = \sqrt{\left(\frac{R\,\Delta(M/L)}{\sqrt{(R+2R_v)^2+(\sigma\omega L)^2}}\right)^2 + \left(\frac{R\,M/L\cdot\frac{1}{2}\cdot 2(R+2R_v)\cdot 2}{\left((R+2R_v)^2+(\sigma\omega L)^2\right)^{3/2}}\Delta R_v\right)^2 + \left(\frac{RM/L\cdot\frac{1}{2}\cdot 2\sigma(\omega L)^2}{\left((R+2R_v)^2+(\sigma\omega L)^2\right)^{3/2}}\Delta\sigma\right)^2 + \left(\frac{R\,M/L\cdot\frac{1}{2}\cdot 2(\omega L)\sigma^2}{\left((R+2R_v)^2+(\sigma\omega L)^2\right)^{3/2}}\Delta(\omega L)\right)^2}$$

Mit der Annahme dass $R_v \ll R$ folgt die Näherung oben, welche im folgenden verwendet werden soll.

Es ergibt sich also folgende Tabelle (nur die neuen Werte ausgedruckt und $I_2 + \Delta I_2$ wegen dem Plot danach.

Strom I_2	ΔI_2	U_2/U_1	$\Delta(U_2/U_1)$	R	ΔR	U_2/U_1	$\Delta(U_2/U_1)$
[A]		Messung [V]		[Ω]		Rechnung [V]	
0.00837458	0.01	0.98586493	0.01486697	5559.65053	81.5818306	0.98614813	0.00127
0.09894015	0.01	0.98154752	0.01486156	467.684116	6.88558747	0.98588605	0.00127134
0.19874782	0.01	0.97665879	0.01483574	231.498469	3.41879458	0.98507405	0.00129619
0.29793013	0.01	0.97029369	0.0147832	153.48137	2.27423883	0.98370728	0.00140281
0.40284989	0.01	0.96493188	0.01474368	112.880601	1.677699	0.98164827	0.00168025
0.49829325	0.01	0.95959672	0.01472382	90.6353049	1.35216048	0.9791935	0.00211982
0.69749636	0.01	0.94497043	0.01462138	63.7426035	0.95926291	0.97223535	0.00359703
0.89938662	0.01	0.92856793	0.01454916	48.4191323	0.73722747	0.96240056	0.00580253
1.10214104	0.01	0.91117558	0.01440694	38.8165933	0.59706148	0.94991707	0.00856913
1.29646833	0.01	0.89215442	0.01429297	32.2605292	0.50280235	0.93493899	0.01176887
1.49911121	0.01	0.87007467	0.01414412	27.1960847	0.43035521	0.91626104	0.01555041
1.69539753	0.01	0.84639339	0.01399554	23.3661966	0.37626242	0.89482232	0.0195988
1.90434009	0.01	0.81866798	0.01382373	20.0953095	0.33063413	0.86823421	0.02418961
2.09519401	0.01	0.79052985	0.01363003	17.6435381	0.29678132	0.84059911	0.02846772
2.30045728	0.01	0.75705155	0.01342689	15.3704874	0.26620553	0.80631605	0.03309768
2.50401014	0.01	0.72156438	0.01320089	13.459264	0.24080524	0.76850582	0.03736752
2.70378246	0.01	0.682875	0.01297735	11.783317	0.21927682	0.7262833	0.04114702
2.90264592	0.01	0.64174237	0.01279607	10.2648263	0.20052185	0.67862178	0.0442291
3.09593305	0.01	0.59746926	0.01252211	8.9763839	0.1847715	0.62954878	0.04617377
3.30386345	0.01	0.54372492	0.01223718	7.65398457	0.16959225	0.56940548	0.04698787
3.50380949	0.01	0.48541917	0.01194798	6.44460523	0.15657938	0.5045387	0.04610808
3.69683808	0.01	0.42491786	0.01165826	5.35616563	0.1454703	0.43740421	0.0434931
3.89904545	0.01	0.34889339	0.01135324	4.17376702	0.13485784	0.35483011	0.03823658
4.09978873	0.01	0.25755958	0.01105699	2.9335698	0.1254361	0.25798886	0.02974954
4.29603523	0.01	0.14776825	0.01078281	1.61228463	0.11749781	0.14530308	0.01759579

Auffällig ist hier bereits an den Werten, dass der Wert U_2/U_1 sowohl durch das Cassy-Messgerät als auch über die rechnerische Bestimmung sehr nahe beieinander liegen. Bemerkenswert ist dabei dass der Fehler über die rechnerische Bestimmung deutlich geringer ist, als der Fehler bei der Bestimmung über die direkt gemessenen Werte U_2 und U_1. Möglicherweise liegt dies daran, dass wir in der Fehlerrechnung dort bereits viele fehlerbehaftete Größen einfließen lassen, vielleicht haben wir uns aber auch einfach verrechnet.



Man sieht bei der Bestimmung von R auch nochmal schön, dass der Widerstand am Anfang etwa $5\,k\Omega$ war und nicht $R = \infty\Omega$ sowie am Ende beim Kurzschluss $1{,}6\,\Omega$ und nicht $R = 0\,\Omega$.

Die beiden Werte für U_2/U_1 sind natürlich nicht unabhängig, da bei der 2. Variante in die Berechnung von $\frac{U_2}{U_1}$ bereits Werte eingehen, die vorher durch u.a. U_1, U_2, I_1, I_2 bestimmt worden sind, wo auch wieder die Annahme einging, dass die Widerstände tatsächlich ihre max. bzw. min-Werte erreichen.

In dem Graphen sind man die beinahe Übereinstimmung der beiden Werte noch einmal schön bestätigt.

Unsere Messungen erscheinen abschließend alle recht plausibel. Bei der Bestimmung der maximalen Wirkleistung liegen theoretisch bestimmter Wert und experimentell gemessener Wert nah beieinander.
Unsere Werte und Diagramme weisen zum Großteil keine sehr großen Fehler und liefern deshalb angemessene Werte, welche sich auch durch die Bestimmung über verschiedene Verfahren bestätigt sehen.
Unsere Fehler ~~schätzen~~ scheinen rückblickend also gescheit ausgewählt.
Die Bestimmung von σ (Streuung des Magnetfelds) ergab über fast alle Verfahren sehr ähnliche Werte. Bloß bei einem Verfahren ist der Wert hier deutlich von den anderen abgewichen. Dies war bei der Bestimmung über den Kurzschlussfall, wobei man – wie gesagt – schnell einen Schuldigen dafür gefunden hat. Der Widerstand hätte hier 0 Ω betragen sollen, hat allerdings noch einen Restwiderstand von knapp 1,5 Ω. Ähnlich bei dem Leerlauffall, wo der Widerstand statt R = ∞ Ω „nur" knapp 5 kΩ betrug, sodass sowohl (ωL) als auch σ über diesen Weg fehlerbehaftet waren, ohne dass wir dies mit in die Fehlerrechnung einbeziehen können.
Erstaunlich ist bei diesem Versuch, wie schnell die Verlustleistung ab einer bestimmten Stromstärke im Sekundärkreis ansteigt und damit die Wirkleistung wieder abnimmt.
Die ~~Gro~~ größten Verluste entstehen hierbei durch Eisenverluste, während Kupferverluste sogar erst

ab knapp $1A = I_2$ von 0 merklich verschieden werden.

c) zu Ende

sonst schön

Nachbesserung

Aufgabe 238 c) **Methode 1**

Falls $R = \omega L$ so gilt $\frac{U_1}{I_1} = \frac{R}{\sqrt{2}}$

Mit $U_2 = (44{,}46023362 \pm 0{,}5)\,V$

$U_1 = (47{,}04933862 \pm 0{,}5)\,V$

$I_2 = (0{,}69749636 \pm 0{,}01)\,A$

$I_1 = (0{,}86063755 \pm 0{,}01)\,A$

folgt $\frac{R}{\sqrt{2}} = \frac{U_2}{I_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 45{,}073$

$\frac{U_1}{I_1} = 54{,}668$

dies ist einer der besten für uns erreichbaren Werte.

Damit gilt $R = \frac{U_2}{I_2}$ und $\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_2}{I_2}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{I_2^2}\Delta I_2\right)^2}$

$\Rightarrow R = (63{,}7426 \pm 1{,}1615)\,\Omega = \omega L$

Methode 2

$\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}707$ für $I_2 = 0{,}40284989\,A$

$I_1 = 0{,}56179909\,A$

mit $\Delta I_{1/2} = 0{,}01A$

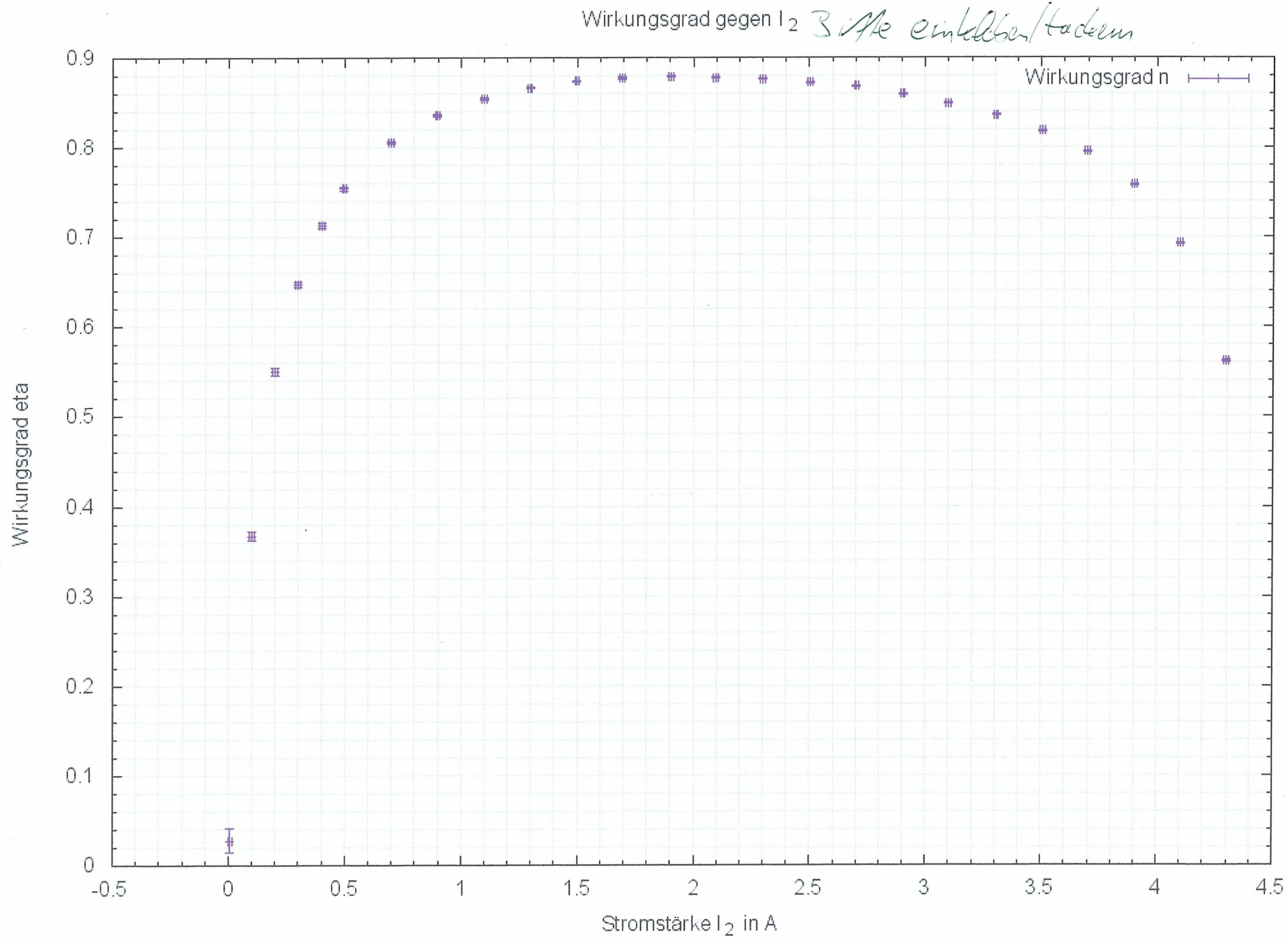
$\Rightarrow R + R_V = \omega L$, wobei $R = \frac{U_2}{I_2} = (112{,}88 \pm 1{,}678)\,\Omega = \omega L$

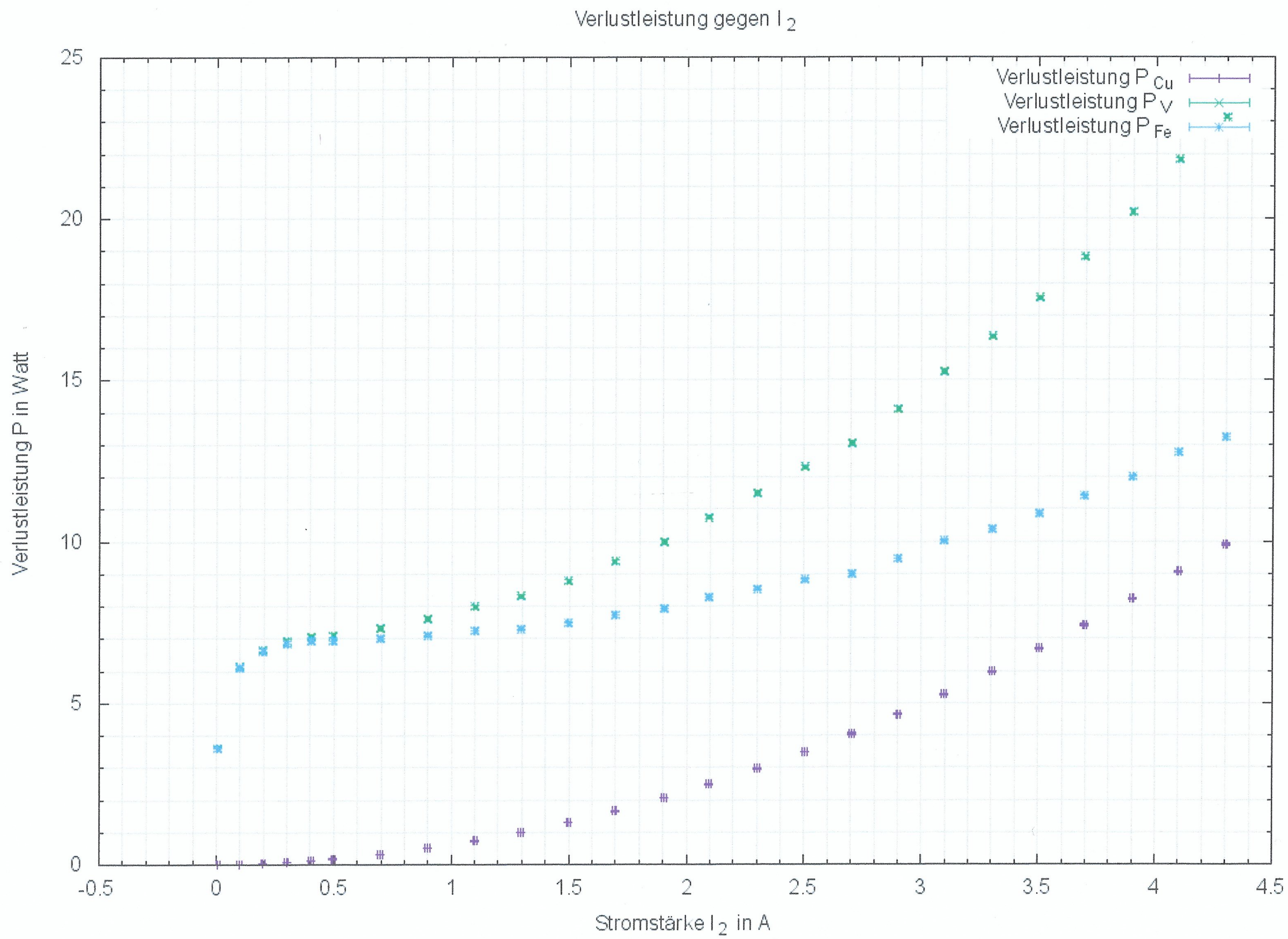
$R_V = 0{,}26\,\Omega$

Diese beiden Werte liegen sehr weit neben dem berechneten Wert mit der ursprünglichen Variante.

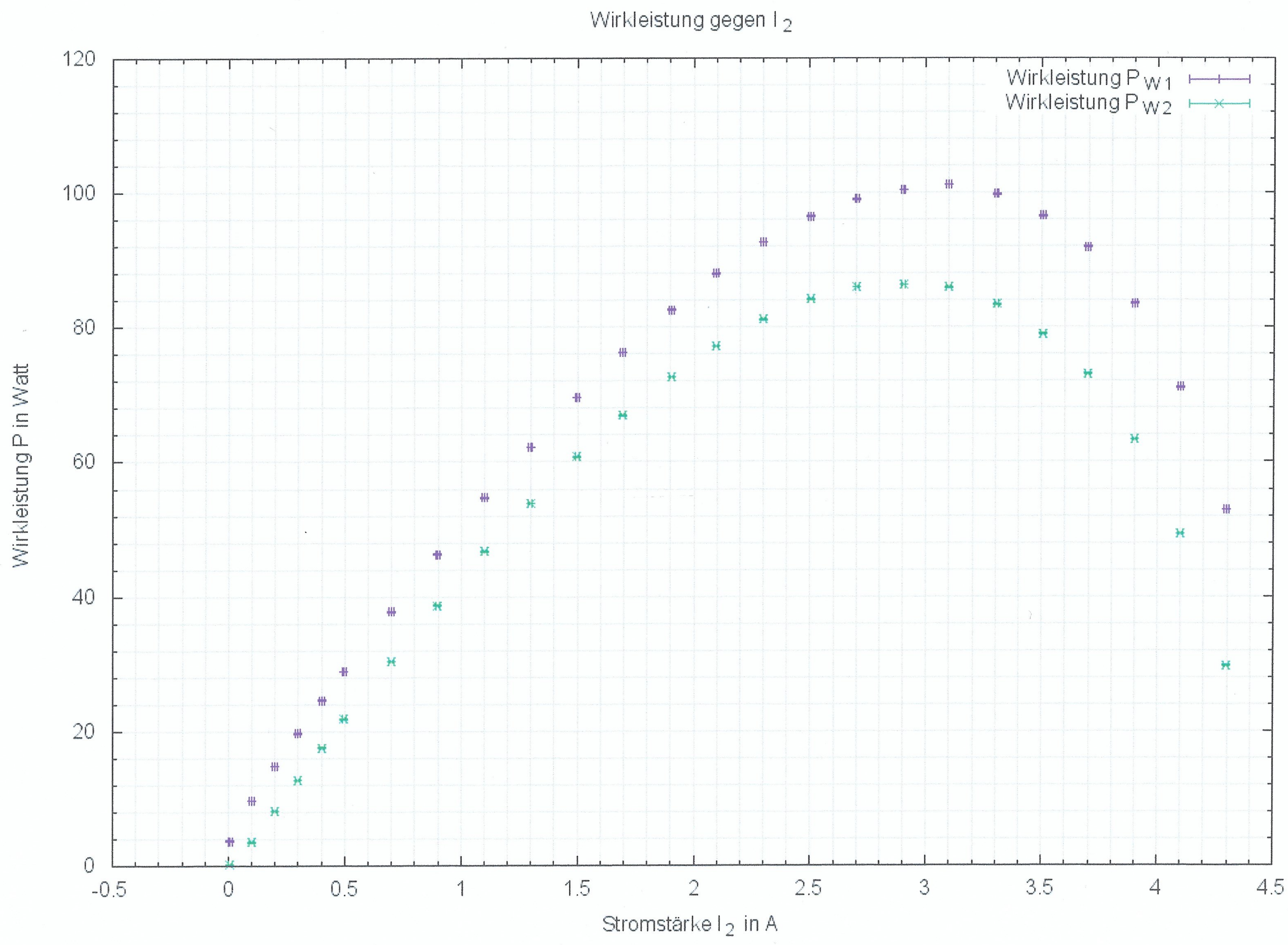
wobei sie auch untereinander sehr weit auseinander liegen. Man kann also nicht darauf schließen, dass der ursprüngliche Wert falsch war, wobei die Tendenz doch eher zu kleineren Werten geht als 393 Ω.
Die zweite Variante konnte von uns auch nicht korrekt durchgeführt werden, da kein Wertepaar mit
$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$ zu finden war.

Bitte einkleben/tackern





Verlustleistung gegen I_2
Verlustleistung P_{Cu}
Verlustleistung P_V
Verlustleistung P_{Fe}
Verlustleistung P in Watt
Stromstärke I_2 in A
25
20
15
10
5
0
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5


Wirkleistung gegen I_2
Wirkleistung P_{W1}
Wirkleistung P_{W2}
Wirkleistung P in Watt
Stromstärke I_2 in A
120
100
80
60
40
20
0
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5