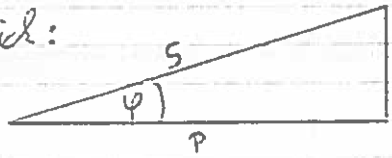
Versuch 238 - Transformator

Ziel dieses Versuches ist die Untersuchung der Übertragungs-eigenschaften eines Transformators. Der Versuch ist zweigeteilt und besteht aus einem Vorversuch, in welchem man sich mit einem R-C-Kreis beschäftigt, und dem eigentlichen Hauptteil, indem Messungen am Transformator durchgeführt werden. Da mit Wechselstrom gearbeitet wird, werden die verwendeten Größen als komplexe Zahlen angegeben, da diese einfacher zu handhaben sind, als trigonometrische Funktionen. An Stelle des reellen Widerstandes tritt somit die Impedanz Z. Wichtige Größen bei Wechselstrom sind die Effektivwerte U_{eff} und I_{eff}, die so groß sind wie U und I bei einer Gleichstromquelle, die im gleichen Zeitintervall (bei sinus/cosinus-förmiger übliche Vielfache einer Periode) an einem ohmschen Verbraucher dieselbe elektrische Energie umsetzt. Bei sinusförmiger Wechselspannung ist $U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$ und $I_{eff} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$. Daraus ergibt sich die Wirkleistung P_W zu: $P_W = \frac{1}{2} \cdot |\hat{U} \cdot \hat{I}| \cos \varphi$.

Der Zusatz $\cos \varphi$ rührt daher, dass nur der Realteil der Scheinleistung betrachtet wird. Da (ideale) Kondensatoren oder Induktivitäten einen reinen (imaginären) Blindwiderstand darstellen, spaltet sich die (Schein-) Leistung auf in Blind- und Wirkleistung. Ein Leistungsdreieck:



Scheinleistung $S = U_{eff} \cdot I_{eff}$

Blindleistung $Q = S \cdot \sin \varphi$

Wirkleistung $P = S \cdot \cos \varphi$

$$\left.\right\} \quad S = P + Q \quad ; \quad |S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Transformator:

Grundlegend besteht der Transformator aus zwei Spulen, die so angeordnet sind, dass bei einem Stromfluss in einer der Spulen das dadurch induzierte Magnetfeld die Windungs-fläche der anderen Spule durchsetzt und eine Spannung induziert.

Dabei sind die zwei Spulen auf den gegenüberliegenden Seiten eines geschlossenen Eisenjochs gewickelt, was dazu dient, dass möglichst viele magnetische Feldlinien die Windungsflächen beider Spulen durchsetzen.

Mit einem Transformator ist es also möglich, ohne dass die beiden Spulen leitend verbunden sind, Leistung zu übertragen. Je nach Windungszahl der einzelnen Spulen kann man dabei auf der Sekundärseite die Spannung hoch- oder runterregulieren. Dabei gilt:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

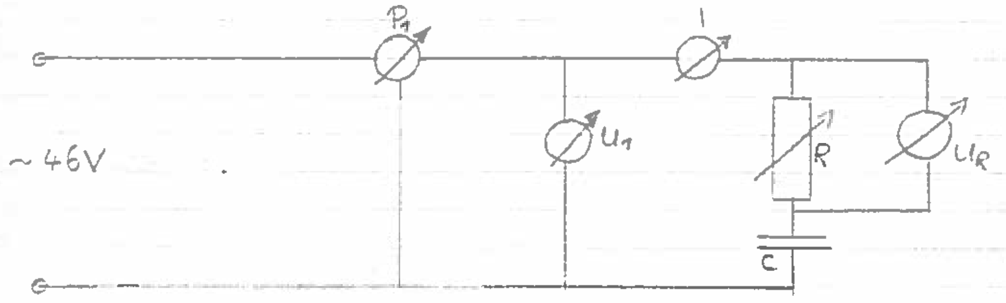
Bei Transformatoren treten üblicherweise verschiedene Verluste auf. Zum einen treten Kupferverluste, bedingt durch die ohmschen (Innen-) Widerstände der Spulen. Dazu kommen sogenannte Eisenverluste, welche sich zusammensetzen aus Wirbelstromverlusten (da auch im Eisenkern ein Strom induziert wird), sowie Hysteresverluste (da der Eisenkern ständig ummagnetisiert wird).

Zuletzt kann man nicht davon ausgehen, dass das komplette Magnetfeld der einen Spule die andere durchsetzt. Von daher führt man den Streukoeffizienten $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L^2}$ ein, der die Streuung des Magnetfeldes beschreibt.

Im Vorversuch soll zunächst Schein-, Wirk- und Blindleistung untersucht werden, sowie deren Verhältnisse und Abhängigkeiten. Im Hauptversuch werden dann Messungen an einem symmetrischen Transformator durchgeführt.

Anhand dieser sollen verschiedene Verluste und Übertragungseigenschaften, wie der Streukoeffizient berechnet werden.

238.A



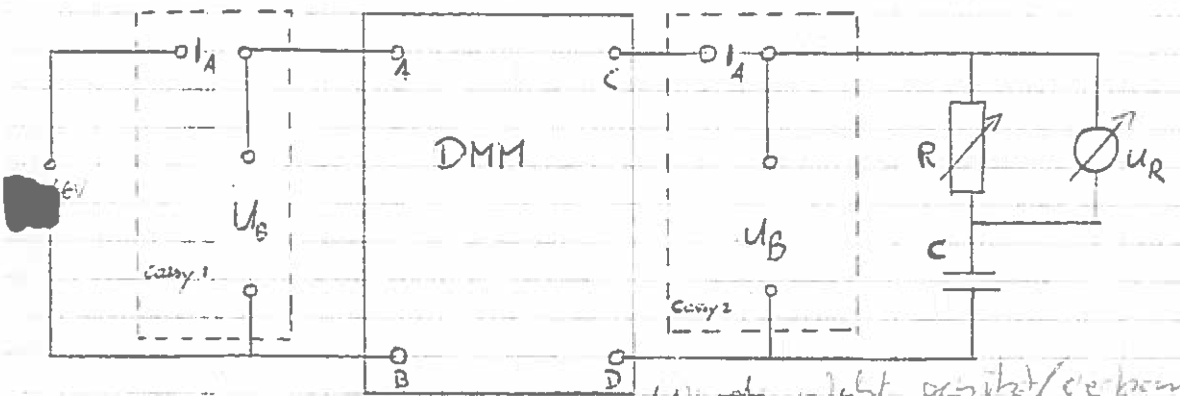
Der Strom wird maximal bei: $R = 0$. Heißt: $I = \frac{U}{Z_c}$

$$I = \frac{U}{Z_c} = U \cdot \omega C = U \cdot 2\pi f C$$

mit $U = 47\,V$, $f = 50\,Hz$ und $C = 80\,\mu F$ ergibt sich $I = 1{,}181\,A$

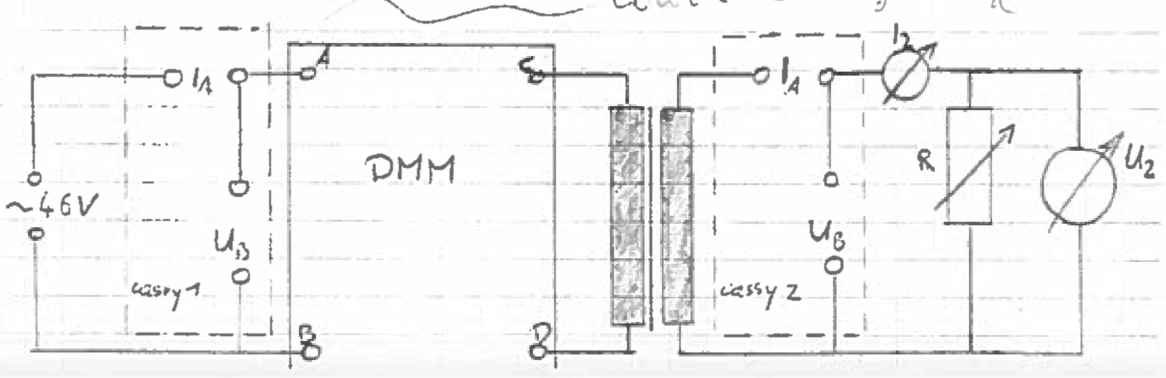
Warum dürfen keine Elkos verwendet werden?
Wie der Fußnote zu Elkos zu entnehmen ist, sind diese empfindlich auf die richtige Polung der Betriebsspannung, da eine Fehlpolung zur Zerstörung des Dielektrikums und damit des Kondensators führt.
Da allerdings mit Wechselspannung (ständige Umpolung) gearbeitet wird, ist die richtige Polung nicht gegeben! sondern beide! [redacted]

Skizzen



Schaltbild 1: Vorversuch zur Leistung

Wurde nicht genutzt (defekt)



Schaltbild 2: Transformator

Messung

238.a)

	U_R [V]	I [A]	U_B [V]	P_W [W]	cos φ
1	9,24	1,16	47,6	12,6	0,23
2	13,91	1,13	47,6	17,6	0,33
3	21,44	1,06	47,7	24,2	0,48
4	28,42	0,95	47,6	28,1	0,62
5	34,7	0,82	47,6	28,9	0,74
6	38,06	0,71	47,6	27,5	0,82
7	40,42	0,62	47,6	25,4	0,86
8	41,63	0,57	47,6	2[illegible]4	0,88
9	42,68	0,52	47,6	22,5	0,9
10	43,88	0,46	47,6	20,2	0,92
11	44,48	0,42	47,6	18,9	0,93

$C = 80\ \mu F$ $\qquad f = 50\ Hz$

$\Delta U_B = 0{,}1\ V = \Delta U_R$

$\Delta I = 0{,}01\ A$

$\Delta P = 0{,}1\ W$

Trafo: $N_1 = N_2 = 250$

$L_1 = L_2 = 2{,}2\ m$

$R_1 = R_2 = 0{,}6.$

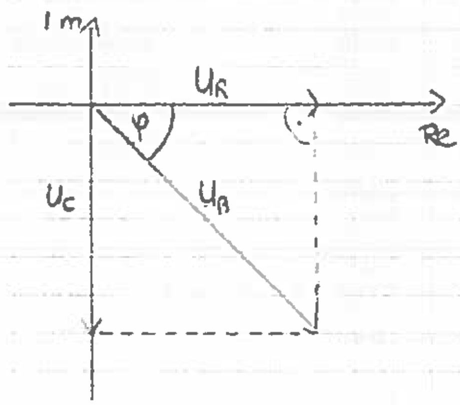
Widerstandsschieber: $100\ \Omega$ - $1{,}8\ A$ $\quad I_{max}\ 2{,}5\ A / 15\ min$

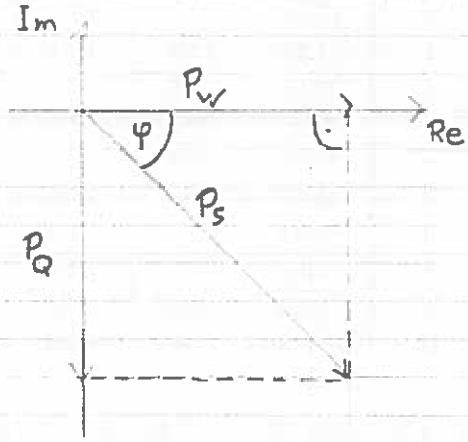
Auswertung

Vorversuch: Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung

Schaltbild zum Versuch siehe Seite 3 (unten) „Schaltbild 1"

In diesem Versuch wurde für eine RC-Serienschaltung die Größen Spannung U_B, Strom I, Wirkleistung P_W und die Spannung U_R über dem Widerstand für verschiedene Widerstände R gemessen.
Verwendet man einen kapazitiven (Blind-) Widerstand, so tritt eine Phasenverschiebung bei Spannung und Strom auf. Dies hat auch Auswirkungen auf die Leistung: Diese muss betrachtet werden als Scheinleistung, die sich zusammensetzt aus Wirkleistung (bei R) und Blindleistung (beim Kondensator):





Im Folgenden werden gemessene Wirkleistung P_W, sowie berechnete Wirkleistung $P_S \cos(\varphi)$, als auch Scheinleistung P_S gegen R in einem Diagramm dargestellt.
Dazu werden folgende Größen berechnet:

- Widerstand:

$$R = \frac{U_R}{I} \quad , \Delta R = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_R}{I}\right)^2 + \left(\frac{U_R}{I^2} \cdot \Delta I\right)^2}$$

- Kosinus des Phasenwinkels:

$$\cos(\varphi) = \frac{U_R}{U_B} \quad , \Delta(\cos(\varphi)) = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_R}{U_B}\right)^2 + \left(\frac{U_R}{U_B^2} \cdot \Delta U_B\right)^2}$$

- Scheinleistung:

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

- Wirkleistung:

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

Zur besseren Übersicht hier noch einmal die Messtabelle:

Tabelle 1:

		Messung			
Messung	U_R [V]	I [A]	U_B [V]	P_W [W]	cos(ϕ) [°]
1	9,24	1,16	47,6	12,6	0,23
2	13,91	1,13	47,6	17,6	0,33
3	21,44	1,06	47,7	24,2	0,48
4	28,42	0,95	47,6	28,1	0,62
5	34,1	0,82	47,6	28,9	0,74
6	38,06	0,71	47,6	27,5	0,82
7	40,42	0,62	47,6	25,4	0,86
8	41,63	0,57	47,6	24	0,88
9	42,68	0,52	47,6	22,5	0,9
10	43,88	0,46	47,6	20,2	0,92
11	44,48	0,42	47,6	18,9	0,93

ΔU_B [V] = 0,1
ΔU_R [V] = 0,1
ΔI [A] = 0,01
ΔP [V] = 0,1
C [F] = 0,00008
f [Hz] = 50

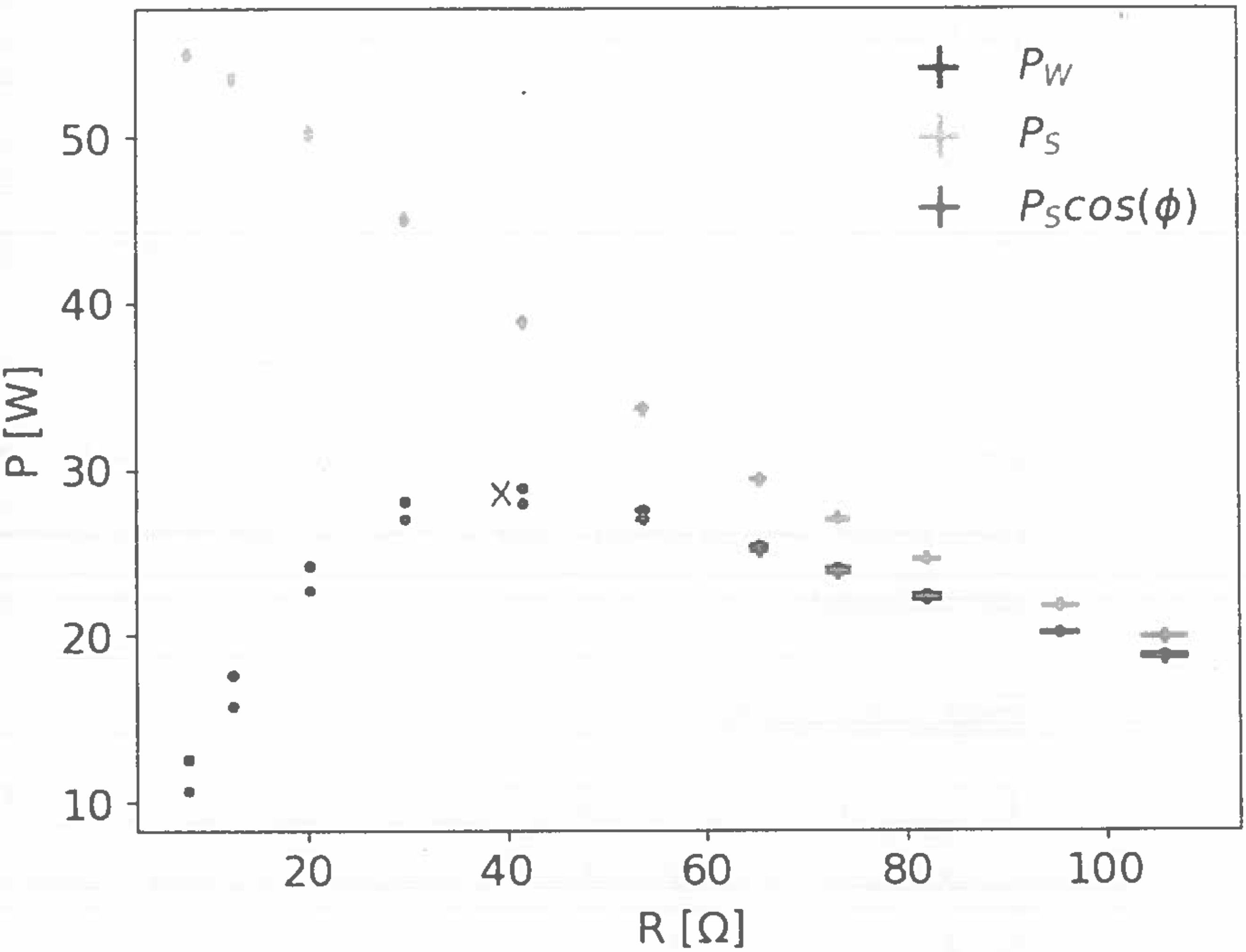
Und die dazugehörigen, berechneten Größen

Tabelle 1.1:

Messung	R [Ω]	ΔR [Ω]	cos(ϕ) [°]	Δcos(ϕ) [°]	P_S [W]	ΔP_S [W]	P_W [W]	ΔP_W [W]
1	7,9655	0,1102	0,1941	0,0021	55,2160	0,4899	10,7184	0,1517
2	12,3097	0,1404	0,2922	0,0022	53,7880	0,4892	15,7183	0,1852
3	20,2264	0,2129	0,4495	0,0023	50,5620	0,4886	22,7264	0,2485
4	29,9158	0,3320	0,5971	0,0024	45,2200	0,4854	26,9990	0,3102
5	41,5854	0,5216	0,7164	0,0026	39,0320	0,4830	27,9620	0,3604
6	53,6056	0,7680	0,7996	0,0027	33,7960	0,4813	27,0226	0,3954
7	65,1935	1,0638	0,8492	0,0028	29,5120	0,4800	25,0604	0,4157
8	73,0351	1,2933	0,8746	0,0028	27,1320	0,4794	23,7291	0,4261
9	82,0769	1,5901	0,8966	0,0028	24,7520	0,4788	22,1936	0,4350
10	95,3913	2,0851	0,9218	0,0029	21,8960	0,4782	20,1848	0,4453
11	105.9048	2,5328	0,9345	0,0029	19,9920	0,4778	18,6816	0,4502

Im folgenden das Diagramm, in dem P_W, P_S und $P_S \cdot \cos(\varphi)$ (≙ errechneter Wirkleistung) gegen R aufgetragen sind:

Abb. 1 RC-Kreis



Benutzt dafür wurden die Wert aus Tabelle 1 und 1.1.

Um die maximale Leistung $P_{w,max}$, die die Schaltung der Spannungsquelle entnehmen kann, kann man die Spannungsquelle als ideal ansehen, denn die Spannung blieb über den gesamten Messvorgang, unabhängig von der Belastung beziehungsweise der Leistung, konstant.
Im Falle einer idealen Spannungsquelle gilt:

Das Maximum liegt bei $R = |X|$ und $P_{w,max} = \frac{U_{L,eff}^2}{2|X|}$.

Fehler berechnet sich nach: $\Delta P_{w,max} = \frac{U_{L,eff} \cdot \Delta U_{L,eff}}{|X|}$

mit $f = 50\,Hz$; $U_{L,eff} = U_C = 47{,}6\,V$; $C = 80\,\mu F$

sowie $\omega = 2\pi f$, $|X| = \frac{1}{\omega C}$

folgt für die maximale Wirkleistung:

$$P_{W,max} = (28{,}47 \pm 0{,}12)\,W$$

Diese Leistung würde entnommen bei einem Widerstand von

$$R = |X| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = 39{,}79\,\Omega$$

Dieser Punkt wurde per Augenmaß (x) in das Diagramm (Abb. 1) eingetragen und passt sehr gut mit der beobachtbaren Tendenz des Verlaufs!

Fazit Vorversuch

Insgesamt lief der Vorversuch sehr gut. Die Messung lief problemlos ab und auch das Ergebnis der Auswertung ist gut.

Die gemessene sowie die berechnete Wirkleistung stimmen in ihrem Verlauf sehr schön überein, auch wenn die vom Cassy-System erfassten Werte tendenziell etwas höher ausfallen. In diesen Verlauf gliedert sich auch die errechnete Maximalwirkleistung ein.

Der Verlauf der Scheinleistung passt auch sehr gut. Es wurde erwartet, dass sich die Scheinleistung immer weiter an die Wirkleistung annähert, da sich die Scheinleistung aus Wirk- und Blindleistung zusammensetzt und letztere, mit wachsendem ohmschen Widerstand, im Verhältnis zur Wirkleistung immer kleiner wird.

Hauptversuch: Messungen am Transformator:

238 c+d

Im Hauptversuch wurden Messungen am Transformator durchgeführt. Für verschiedene R wurden auf der Primärseite, sowie auf der Sekundärseite des Transformators die Spannung U, der Strom I und die Wirkleistung P_W gemessen.
(Schaltbild: siehe Seite 3 (unten) „Schaltbild 2")
Da die Daten mit einem Computer erfasst wurden, folgt zunächst eine Tabelle mit den erfassten Werten:

Tabelle 2: Messtabelle

Messung	I_1 [A]	U_1 [V]	I_2 [A]	U_2 [V]	P_1 [W]	P_2 [W]
1	0,1132	47,9725	0	47,3096	2,8095	0
2	0,1774	47,9076	0,0995	47,1077	6,3043	4,6784
3	0,2587	47,8926	0,1956	46,9159	10,3977	9,1635
4	0,3500	47,8137	0,2955	46,6428	14,8472	13,7805
5	0,4483	47,7597	0,3991	46,3940	19,5250	18,4995
6	0,5507	47,8009	0,5038	46,1507	24,3433	23,2395
7	0,7411	47,7529	0,6958	45,5802	33,0374	31,7055
8	0,9455	47,6642	0,9020	44,7498	41,9711	40,3305
9	1,1458	47,6354	1,1004	43,9696	50,5107	48,3555
10	1,3489	47,5714	1,3023	43,0436	58,7237	56,0190
11	1,5520	47,5498	1,5030	42,0544	66,5732	63,1650
12	1,7526	47,5759	1,7034	41,0249	73,9062	69,8370
13	1,9507	47,5670	1,8984	39,8586	80,5716	75,6225
14	2,1576	47,4924	2,1039	38,3792	86,5326	80,6805
15	2,3514	47,4972	2,2961	37,0101	91,7501	84,9150
16	2,5619	47,4005	2,5040	35,2493	96,2532	88,1977
17	2,7616	47,3118	2,7025	33,4340	99,4827	90,2895
18	2,9664	47,2182	2,9047	31,4047	101,6645	91,1565
19	3,1655	47,2428	3,1015	29,3718	102,9536	91,0305
20	3,3668	47,3826	3,3021	27,2120	103,2099	89,7945
21	3,5650	47,3074	3,5016	24,5768	100,9410	86,0010
22	3,7641	47,3504	3,7016	21,6994	96,8558	80,2665
23	3,9630	47,3486	3,9007	18,3407	89,9549	71,4960
24	4,0635	47,4490	4,0027	16,5738	85,6532	66,2940
25	4,1606	47,3940	4,0970	14,4976	79,7621	59,3595
26	4,2601	47,4159	4,2003	12,1955	72,4712	51,1935
27	4,3575	47,4349	4,3000	9,5582	63,4614	41,0745
28	4,4587	47,4704	4,4017	6,3325	51,3189	27,8550
29	4,5626	47,6343	4,5051	0,7141	34,7477	2,8305

ΔU [V] = 0,1
ΔI [A] = 0,01
ΔP [W] = 0,1

N1 = N2 = 250
L1 [H] = L2 [H] = 0
R1 [Ω] = R2 [Ω] = 0,6

Aus diesen Werten kann man weitere, verschiedene Größen berechnen:

- primäre/sekundäre Scheinleistung $P_{S,1}$ und $P_{S,2}$:

$$P_{S_i} = U_i \cdot I_i \qquad \text{mit } \Delta P_{S_i} = \sqrt{(I_i \cdot \Delta U)^2 + (U_i \cdot \Delta I)^2}$$

- Verlustleistung P_V:

$$P_V = P_{W_1} - P_{W_2} \qquad \text{mit } \Delta P_V = \Delta P_{W,1} + \Delta P_{W,2} = 2 \cdot \Delta P$$

- Kupferverluste P_{Cu}:

$$P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 \quad \text{mit } \Delta P_{Cu} = \sqrt{(2 R I_1 \cdot \Delta I)^2 + (2 R I_2 \cdot \Delta I)^2}$$

- Eisenverluste P_{Fe}:

$$P_{Fe} = P_V - P_{Cu} \qquad \text{mit } \Delta P_{Fe} = \Delta P_V + \Delta P_{Cu}$$

- Wirkungsgrad η:

$$\eta = P_{W,2}/P_{W,1} \qquad \text{mit } \Delta \eta = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{P_{W,1}}\right)^2 + \left(\frac{P_{W,2}}{P_{W,1}^2} \cdot \Delta P\right)^2}$$

Die einzelnen Werte sind in der folgenden Tabelle (Tabelle 3) zusammengefasst.

Im Anschluss daran wurden die beiden Wirkleistungen (Abb. 2), die Verlustleistungen (Abb. 3) sowie der Wirkungsgrad (Abb. 4) gegen I_2 aufgetragen.

Tabelle 3:

mit $\Delta P_V = 2 \cdot \Delta P = 0{,}2\,W$

Messung	P_S,1 [W]	ΔP_S,1 [W]	P_S,2 [W]	ΔP_S,2 [W]	η	Δη	P_V [W]	P_Cu [W]	ΔP_Cu [W]	P_Fe [W]	ΔP_Fe [W]
1	5,4300	0,4799	0	0,4731	0	0,0356	2,8095	0,0077	0,0014	2,8019	0,2014
2	8,4987	0,4794	4,6872	0,4712	0,7421	0,0198	1,6260	0,0248	0,0024	1,6012	0,2024
3	12,3921	0,4796	9,1756	0,4696	0,8813	0,0128	1,2342	0,0631	0,0039	1,1711	0,2039
4	16,7348	0,4794	13,7814	0,4674	0,9282	0,0092	1,0667	0,1259	0,0055	0,9408	0,2055
5	21,4092	0,4797	18,5169	0,4657	0,9475	0,0071	1,0255	0,2161	0,0072	0,8094	0,2072
6	26,3254	0,4812	23,2501	0,4642	0,9547	0,0057	1,1038	0,3343	0,0090	0,7695	0,2090
7	35,3883	0,4832	31,7167	0,4611	0,9597	0,0042	1,3319	0,6200	0,0122	0,7119	0,2122
8	45,0661	0,4859	40,3642	0,4565	0,9609	0,0033	1,6406	1,0245	0,0157	0,6160	0,2157
9	54,5812	0,4899	48,3856	0,4533	0,9573	0,0027	2,1552	1,5143	0,0191	0,6409	0,2191
10	64,1680	0,4945	56,0567	0,4497	0,9539	0,0024	2,7047	2,1093	0,0225	0,5954	0,2225
11	73,7993	0,5002	63,2077	0,4466	0,9488	0,0021	3,4082	2,8007	0,0259	0,6075	0,2259
12	83,3817	0,5070	69,8822	0,4442	0,9449	0,0019	4,0692	3,5839	0,0293	0,4853	0,2293
13	92,7876	0,5141	75,6690	0,4415	0,9386	0,0017	4,9491	4,4455	0,0327	0,5036	0,2327
14	102,4690	0,5216	80,7443	0,4377	0,9324	0,0016	5,8521	5,4488	0,0362	0,4032	0,2362
15	111,6844	0,5300	84,9800	0,4355	0,9255	0,0015	6,8351	6,4807	0,0394	0,3544	0,2394
16	121,4353	0,5388	88,2630	0,4324	0,9163	0,0014	8,0555	7,6999	0,0430	0,3556	0,2430
17	130,6553	0,5478	90,3555	0,4299	0,9076	0,0014	9,1932	8,9579	0,0464	0,2353	0,2464
18	140,0677	0,5576	91,2224	0,4278	0,8966	0,0013	10,5080	10,3422	0,0498	0,1658	0,2498
19	149,5450	0,5687	91,0960	0,4272	0,8842	0,0013	11,9231	11,7836	0,0532	0,1395	0,2532
20	159,5270	0,5813	89,8572	0,4279	0,8700	0,0013	13,4154	13,3435	0,0566	0,0719	0,2566
21	168,6528	0,5924	86,0580	0,4278	0,8520	0,0013	14,9400	14,9824	0,0600	-0,0424	0,2600
22	178,2301	0,6049	80,3219	0,4291	0,8287	0,0013	16,5893	16,7219	0,0634	-0,1325	0,2634
23	187,6417	0,6174	71,5413	0,4310	0,7948	0,0014	18,4589	18,5524	0,0667	-0,0935	0,2667
24	192,8073	0,6247	66,3393	0,4332	0,7740	0,0015	19,3592	19,5199	0,0684	-0,1607	0,2684
25	197,1889	0,6307	59,3967	0,4346	0,7442	0,0016	20,4026	20,4578	0,0701	-0,0552	0,2701
26	201,9978	0,6374	51,2250	0,4374	0,7064	0,0017	21,2777	21,4748	0,0718	-0,1971	0,2718
27	206,6998	0,6441	41,1000	0,4405	0,6472	0,0019	22,3869	22,4867	0,0735	-0,0998	0,2735
28	211,6546	0,6513	27,8734	0,4447	0,5428	0,0022	23,4639	23,5527	0,0752	-0,0888	0,2752
29	217,3367	0,6596	3,2173	0,4506	0,0815	0,0029	31,9172	24,6680	0,0769	7,2492	0,2769

Abb. 2 Wirkleistungen

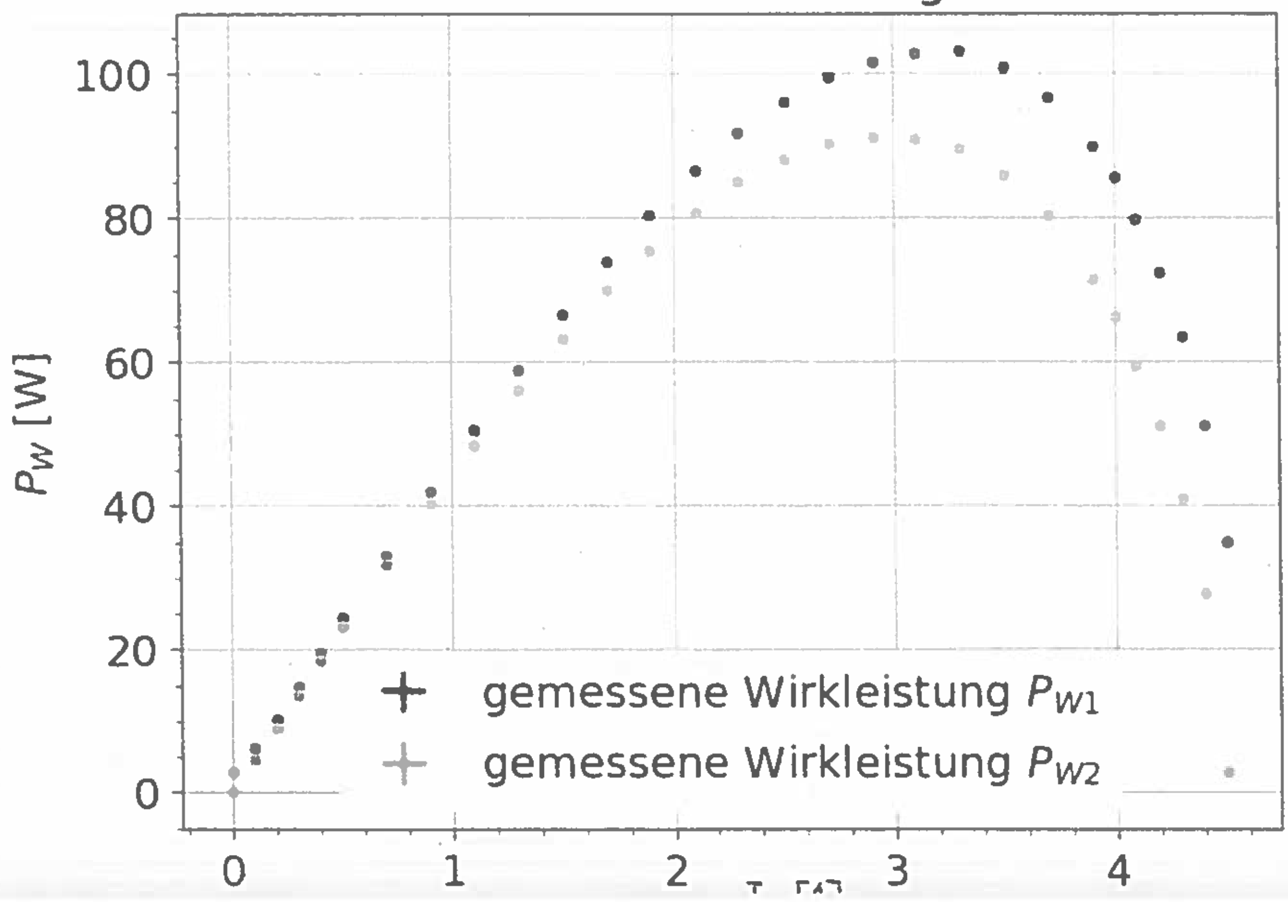
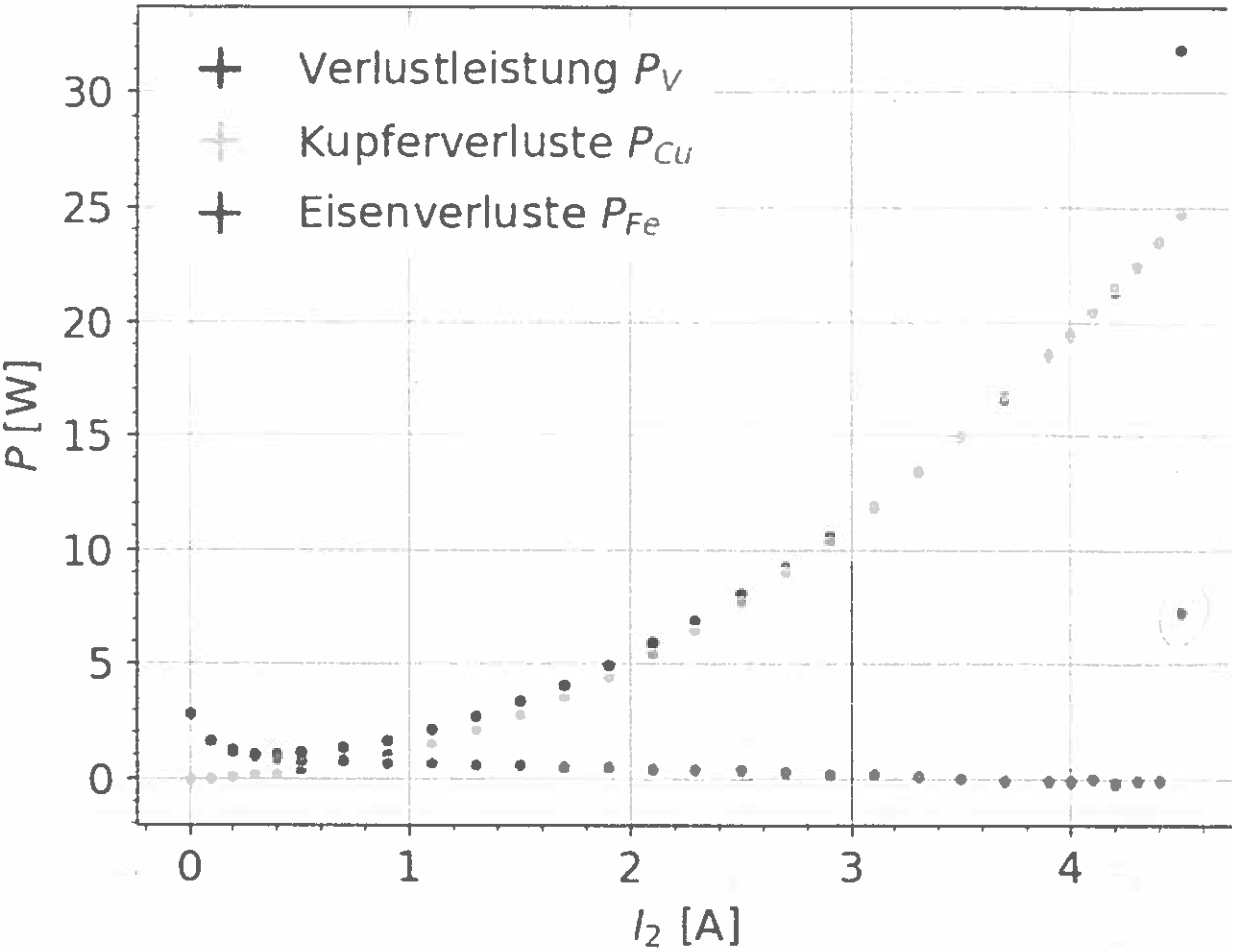
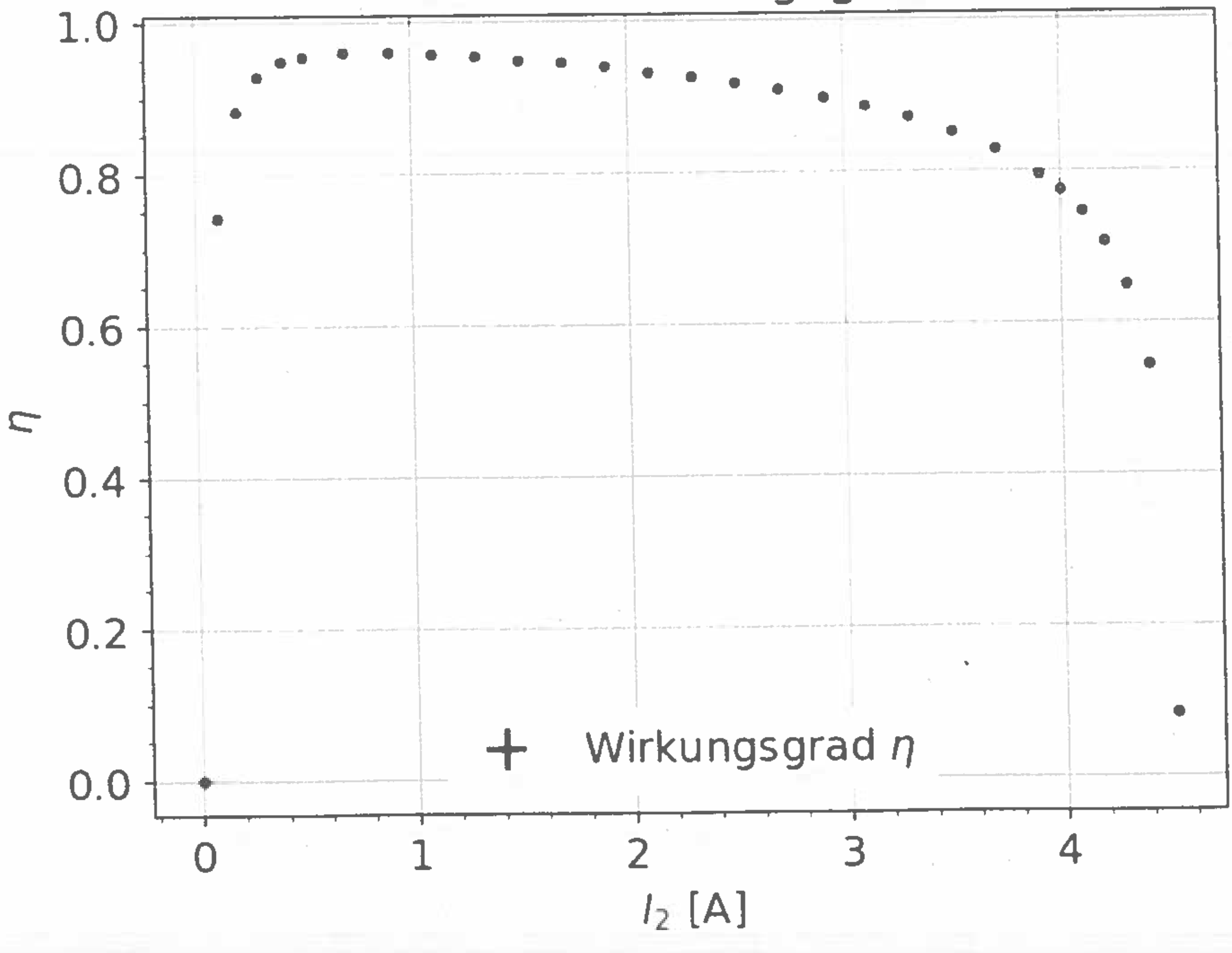


Abb. 3 Verlustleistungen



kleiner Ausreißer

Abb. 4 Wirkungsgrad



Bemerkung zu Abb. 3 „Verlustleistungen":
Der letzte Datenpunkt kommt zustande, da für diesen Messwert der Widerstand R so klein wie möglich eingestellt wurde. Wir befinden uns an dieser Stelle nahezu beim Kurzschluss.

238. e) Selbstinduktion:

Es soll ωL bestimmt werden. Im Leerlauffall ($R=\infty$) gilt:

$$\omega L = \frac{U_1}{I_1} \qquad \text{mit } \Delta(\omega L) = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{I_1^2}\cdot \Delta I\right)^2}$$

$$\Rightarrow \omega L = (423{,}79 \pm 37{,}45)\,\frac{V}{A}$$

238. f) Streukoeffizient

In dieser Aufgabe soll der Streukoeffizient $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L^2}$ auf 4 verschiedene Weisen bestimmt werden: Einmal aus der gemessenen Stromübertragung im Kurzschlussfall, dann aus der gemessenen Spannungsübertragung im Leerlauf, aus den gemessenen Beträgen der Eingangsimpedanzen für Kurzschluss und Leerlauf und zuletzt aus dem gemessenen Kurzschlussstrom $I_{2,k}$ mit $I_{2k}\sigma\omega L = U_1$.

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

- aus der gemessenen Stromübertragung im Kurzschlussfall ($R \stackrel{!}{=} 0$)

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{M}{L} = \sqrt{1-\sigma} \approx 1 - \frac{\sigma}{2}$$

$$\Leftrightarrow \sigma \approx 2 - 2\cdot\frac{I_2}{I_1} \qquad \text{mit } \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{2}{I_1}\cdot\Delta I\right)^2 + \left(\frac{2 I_2}{I_1^2}\cdot \Delta I\right)^2}$$

$$\Rightarrow \sigma = (0{,}0252 \pm 0{,}0062)$$

• aus der gemessenen Spannungsübertragung im Leerlauf ($R = \infty$)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{M}{L} = \sqrt{1-\sigma} \approx 1 - \frac{\sigma}{2}$$

$$\Rightarrow \sigma \approx 2 - 2\frac{U_2}{U_1} \quad \text{mit } \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{2}{U_1}\cdot\Delta U\right)^2 + \left(\frac{2U_2}{U_1^2}\cdot\Delta U\right)^2}$$

$$\Rightarrow \sigma = (0{,}0276 \pm 0{,}0059)$$

• aus den gemessenen Beträgen der Eingangsimpedanzen für Kurzschluss und Leerlauf:

$$\frac{U_{K,1}}{I_{K,1}} \cdot \frac{I_{L,1}}{U_{L,1}} \quad \text{mit } \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{\Delta U\cdot I_{L}}{I_{K,1}\cdot U_{L,1}}\right)^2 + \left(\frac{U_{K,1}\cdot\Delta I}{I_{K,1}\cdot U_{L,1}}\right)^2 + \left(\frac{U_{K,1}\cdot I_{L,1}\cdot\Delta I}{I_{K,1}^2\cdot U_{L,1}}\right)^2 + \left(\frac{U_{K,1}\cdot I_{L,1}}{I_{K,1}\cdot U_{L}}\right.}$$

$$\Rightarrow \sigma = (0{,}0246 \pm 0{,}0022)$$

• aus dem gemessenen Kurzschlussstrom $I_{2,K}$:

$$\sigma = \frac{U_{1,K}}{I_{K,2}\cdot \omega L} \quad \text{mit } \Delta\sigma = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{I_{K,2}\cdot\omega L}\right)^2 + \left(\frac{U_{K,1}\cdot\Delta I}{I_{K,2}^2\,\omega L}\right)^2 + \left(\frac{U_{K,1}\cdot\Delta(\omega L)}{I_{K,2}\cdot(\omega L)}\right.}$$

$$\Rightarrow \sigma = (0{,}0249 \pm 0{,}0022)$$

Die Werte für σ sind sehr gut miteinander verträglich, wobei Methode 3 und 4 genauere Ergebnisse zu liefern scheinen. Man muss hierbei bedenken, dass die Werte für den Kurzschluss Fall nur annähernd stimmen, da bei der Versuchsdurchführung zwar ein sehr kleiner Widerstand eingestellt wurde, aber kein Kurzschluss simuliert wurde.
Dies wird auch der Grund sein, wieso der Wert für Methode 2 von den übrigen etwas abweicht, da hier als einziger der Kurzschlussstrom nicht gebraucht wurde.

↳ Die Fehler der ersten beiden sind definitiv größer!

238 g) Spannungsübertragung

Es soll die Spannungsübertragung $\frac{U_2}{U_1}$ mit den gemessenen Werten M/L und ωL und $R = U_2/I_2$, sowie R_V (auf Spulen angegeben) berechnet werden und zusammen mit dem gemessenen Spannungsverhältnis gegen I_2 aufgetragen werden.

Für einen symmetrischen Transformator mit Kupferverlusten gilt für die Spannungsübersetzung:

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

Aus den Teilaufgaben e und f erhalten wir:

$$\frac{M}{L} = \frac{U_2}{U_1}\Big|_{R \hat{=} \infty} = 1-\frac{\sigma}{2} \qquad \text{mit } \Delta\left(\frac{M}{L}\right) = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{U_1^2}\cdot\Delta U\right)^2}\Bigg|_{R \hat{=} \infty}$$

$$\Rightarrow \frac{M}{L} = (0{,}3862 \pm 0{,}0029)$$

$$\sigma = (0{,}0249 \pm 0{,}022)$$

$$\omega L = (423{,}79 \pm 37{,}45)\,\frac{V}{A}$$

sowie:

$$R = \frac{U_2}{I_2} \qquad \text{mit } \Delta R = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{I_2}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{I_2^2}\cdot\Delta I\right)^2}$$

$$R_V = 0{,}6\,\Omega$$

Der Fehler auf die Spannungsübersetzung ergibt sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung zu:

$$\Delta\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = \sqrt{\left(\frac{M/L\cdot\left(2\cdot R_V R + 4R_V^2 + (\sigma\omega L)^2\right)\cdot\Delta R}{(R+2R_V)^3\cdot\left(\frac{(\sigma\omega L)^2}{(R+2R_V)^2}+1\right)^{3/2}}\right)^2 + \left(\frac{R\cdot\Delta\left(\frac{M}{L}\right)}{(R+2R_V)\sqrt{1+\left(\frac{\sigma\omega L}{2R_V+R}\right)^2}}\right)^2 \ldots}$$

$$\ldots + \left(\frac{M/L\cdot\sigma\, R(\omega L)^2\cdot\Delta\sigma}{(2R_V+R)^3\cdot\left(\left(\frac{\sigma\omega L}{2R_V+R}\right)^2+1\right)^{3/2}}\right)^2 + \left(\frac{M/L\cdot R\cdot\sigma^2\,\omega L\cdot\Delta(\omega L)}{(2R_V+R)^3\left(\left(\frac{\sigma\omega L}{2R_V+R}\right)^2+1\right)^{3/2}}\right)^2$$

Für die Spannungsübertragung bildet man das Verhältnis

$\frac{U_2}{U_1}$ aus den gemessenen Werten für U_2 bzw. U_1

Der Fehler berechnet sich nach Gauß zu:

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

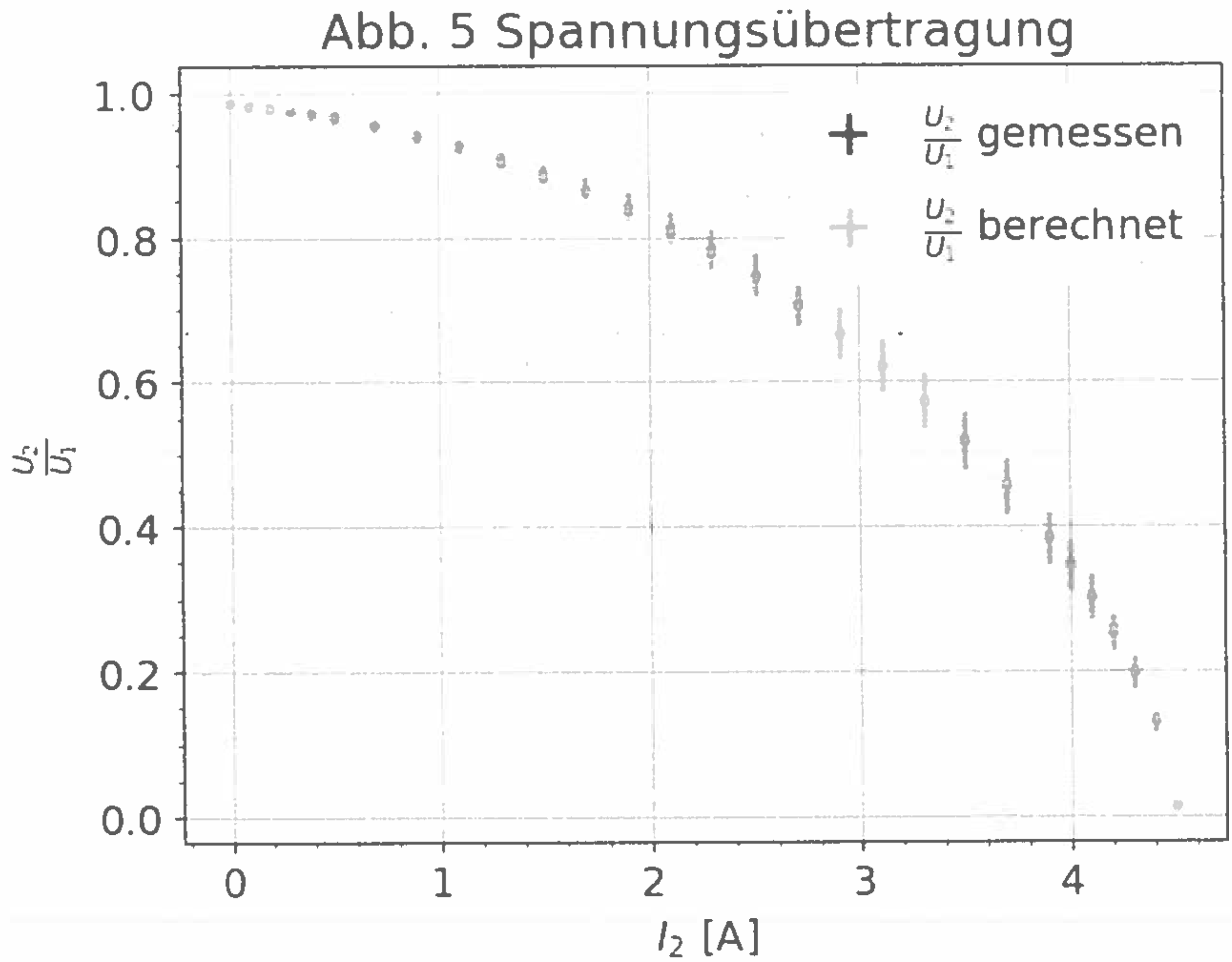
Alle Größen lassen sich in folgender Tabelle finden:

Tabelle 4:

Messung		Berechnung			
U_2/U_1	Δ(U_2/U_1)	R [Ω]	ΔR [Ω]	U_2/U_1	Δ(U_2/U_1)
0,9862	0,0029	∞	/	0,9862	/
0,9833	0,0029	473,4507	47,5942	0,9834	0,0029
0,9796	0,0029	239,8859	12,2763	0,9803	0,0029
0,9755	0,0029	157,8621	5,3535	0,9766	0,0029
0,9714	0,0029	116,2395	2,9231	0,9722	0,0030
0,9655	0,0029	91,6079	1,8292	0,9672	0,0033
0,9545	0,0029	65,5034	0,9523	0,9565	0,0041
0,9389	0,0029	49,6119	0,5611	0,9427	0,0056
0,9230	0,0029	39,9567	0,3743	0,9273	0,0077
0,9048	0,0028	33,0513	0,2651	0,9093	0,0103
0,8844	0,0028	27,9804	0,1977	0,8891	0,0132
0,8623	0,0028	24,0840	0,1531	0,8666	0,0163
0,8379	0,0027	20,9955	0,1225	0,8422	0,0196
0,8081	0,0027	18,2423	0,0989	0,8129	0,0233
0,7792	0,0027	16,1185	0,0826	0,7834	0,0267
0,7436	0,0026	14,0774	0,0690	0,7472	0,0303
0,7067	0,0026	12,3715	0,0589	0,7092	0,0336
0,6651	0,0025	10,8115	0,0507	0,6663	0,0364
0,6217	0,0025	9,4702	0,0444	0,6217	0,0386
0,5743	0,0024	8,2408	0,0392	0,5733	0,0399
0,5195	0,0024	7,0188	0,0349	0,5169	0,0403
0,4583	0,0023	5,8622	0,0313	0,4547	0,0393
0,3874	0,0023	4,7019	0,0283	0,3829	0,0365
0,3493	0,0022	4,1407	0,0270	0,3447	0,0344
0,3059	0,0022	3,5386	0,0259	0,3012	0,0314
0,2572	0,0022	2,9035	0,0248	0,2525	0,0274
0,2015	0,0022	2,2229	0,0238	0,1972	0,0223
0,1334	0,0021	1,4386	0,0230	0,1302	0,0153
0,0150	0,0021	0,1585	0,0222	0,0147	0,0022

Zu beachten ist, dass der Leerlaufstrom 0 und R somit ∞ war. Dementsprechend wurden die Fehler auf 0 (/) gesetzt.

Um die gemessene mit der berechneten Spannungs-
übertragung [redacted]egleichen werden beide in einem Diagramm
gegen I_2 [redacted]n.
Es ergibt sich:



Hier sind die Datenpunkte nicht gut voneinander zu unterscheiden

Fazit Transformator:

Der Versuch, als auch die Auswertung verlief ohne große Probleme.

Die Werte waren alle wie erwartet, vor allem stimmen die gemessenen, sowie die berechneten Werte für die Wirkleistung, als auch die Spannungsübertragung überein.

Bei den Eisenverlusten war auffällig, dass diese unter Anderem negative Werte annahmen, da die berechneten Kupferverluste irgendwann die gemessenen Gesamtverluste überstiegen.

Sehr schöne und saubere Auswertung!

Bestanden! [redacted]