

VERSUCHSBERICHT ZU

E1 – GLEICH- UND WECHSELSTROM

Gruppe Mi 10

Alex Oster (a\_oste16@uni-muenster.de)  
Jonathan Sigrist (j\_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 10.01.2018  
betreut von  
Katharina RITTER

17. Januar 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Untersuchung von Akkumulatorzellen</b>	<b>2</b>
2.1	Methoden . . . . .	2
2.1.1	Aufbau . . . . .	2
2.1.2	Unsicherheiten . . . . .	2
2.2	Datenanalyse . . . . .	3
2.3	Diskussion . . . . .	8
2.4	Schlussfolgerung . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Verbraucher bei Gleich- und Wechselstrom</b>	<b>10</b>
3.1	Methoden . . . . .	10
3.1.1	Aufbau . . . . .	10
3.1.2	Unsicherheiten . . . . .	11
3.1.3	Komplikationen . . . . .	11
3.2	Datenanalyse . . . . .	12
3.3	Diskussion . . . . .	13
3.4	Schlussfolgerung . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Anhang</b>	<b>20</b>
4.1	Unsicherheitsrechnung . . . . .	20

## 1 Kurzfassung

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Untersuchung von Widerständen und Leistungsabgabe von Verbrauchern. Dazu werden zwei Teilversuche betrachtet. In beiden werden die Sachverhalte, die die Theorie liefert bestätigt.

Der Erste beschäftigt sich mit der Untersuchung der Innenwiderstände und der Leistungsabgabe von Akkumulatorzellen. Zur Betrachtung dieser wird ein einfacher Schaltkreis mit diesen und einem äußeren Widerstand herangezogen. Durch Messung der anliegenden Spannung in Abhängigkeit des angelegten Widerstandes und der Theorie werden dann die Zusammenhänge aus gemessener und ermittelter Leerlaufspannung gebildet, der Innenwiderstand und die Leistungsabgabe bestimmt. Das Ziel des Versuches ist die Übereinstimmung der gemessenen Werte mit den ermittelten. Dies wird bestätigt, da die gemessene Leerlaufspannung von z.B.  $(1,2 \pm 0,2)$  V für eine einzelne Akkumulatorzelle mit dem ermittelten Wert von  $(1,260 \pm 0,194)$  V übereinstimmt. Auch die Werte für drei in Reihe bzw. parallel geschaltete Akkumulatorzellen und für die maximale Leistung stimmen mit den Erwartungen überein.

Der zweite Teilversuch beschäftigt sich mit der Untersuchung des Verhaltens von verschiedenen Verbrauchern bei Gleich- und Wechselstrom. Dazu werden verschiedene Verbraucher an einen Schaltkreis geschlossen. Es werden die bei den verschiedenen Strömen erhaltenen Spannungen, Stromstärken und Leistungen verglichen und Beziehungen mit der Theorie, insbesondere der Impedanzen für die Spule und den Kondensator, sowie dessen Kapazität behandelt. Die Theorie zu bestätigen ist das Ziel dieses Versuches. Dies wird auch anhand der Ergebnisse gezeigt. Das Verhältnis der Widerstände bei Gleich- und Wechselstrom stimmt mit den Erwartungen überein und die ermittelte Kapazität des Kondensators entspricht bis auf eine kleine Unsicherheit exakt der angegebenen.  $(0,060 \pm 0,004)$  mF waren angegeben und  $(0,060 \pm 0,001)$  mF wurden ermittelt.

## 2 Untersuchung von Akkumulatorzellen

Dieser Teilversuch beschäftigt sich mit der Untersuchung der Innenwiderstände und der Leistungsabgabe von Akkumulatorzellen. Zur Betrachtung dieser wird ein einfacher Schaltkreis mit diesen und einem äußeren Widerstand herangezogen. Es wird die anliegende Klemmspannung gemessen und in Abhängigkeit des Widerstands gesetzt. Mit Hilfe der Darstellung der Spannungsquelle als Reihenschaltung von einer idealen Quelle und einem Innenwiderstand, sowie den Kirchhoff'schen Regeln wird dann der letzterer bestimmt. Das Ziel des Versuches ist die Übereinstimmung der gemessenen Werte mit den ermittelten. Dies wird bestätigt, da die gemessene Leerlaufspannung von z.B.  $(1,2 \pm 0,2) \text{ V}$  für eine einzelne Akkumulatorzelle mit dem ermittelten Wert von  $(1,260 \pm 0,194) \text{ V}$  übereinstimmt. Auch die Werte für drei in Reihe bzw. parallel geschaltete Akkumulatorzellen stimmen mit den Erwartungen überein. Zudem wird auch der Zusammenhang der Widerstände für die maximale Leistung bestätigt.

### 2.1 Methoden

#### 2.1.1 Aufbau

Der Aufbau dieses Versuchs beschränkt sich auf einen simplen Schaltkreis, welcher zunächst nur aus einer Akkumulatorzelle und einem regulierbaren Widerstand  $R_a$  besteht. Zusätzlich dazu ist ein Multimeter an die Akkumulatorzelle geschlossen, sodass die dort anliegende Spannung gemessen werden kann. Mit diesem Aufbau wird zuerst die Leerlaufspannung  $U_0$  der Akkumulatorzelle und dann der Innenwiderstand  $R_i$  dieser bestimmt. Dazu wird die Klemmspannung  $U_{kl}$  gemessen und in Abhängigkeit des elektrischen Stroms  $I$  gesetzt, welcher sich durch die Spannung und dem anliegenden Widerstand bestimmen lässt.

Dieser Vorgang wird dann für drei in Reihe- und drei parallel geschaltete Akkumulatorzellen wiederholt.

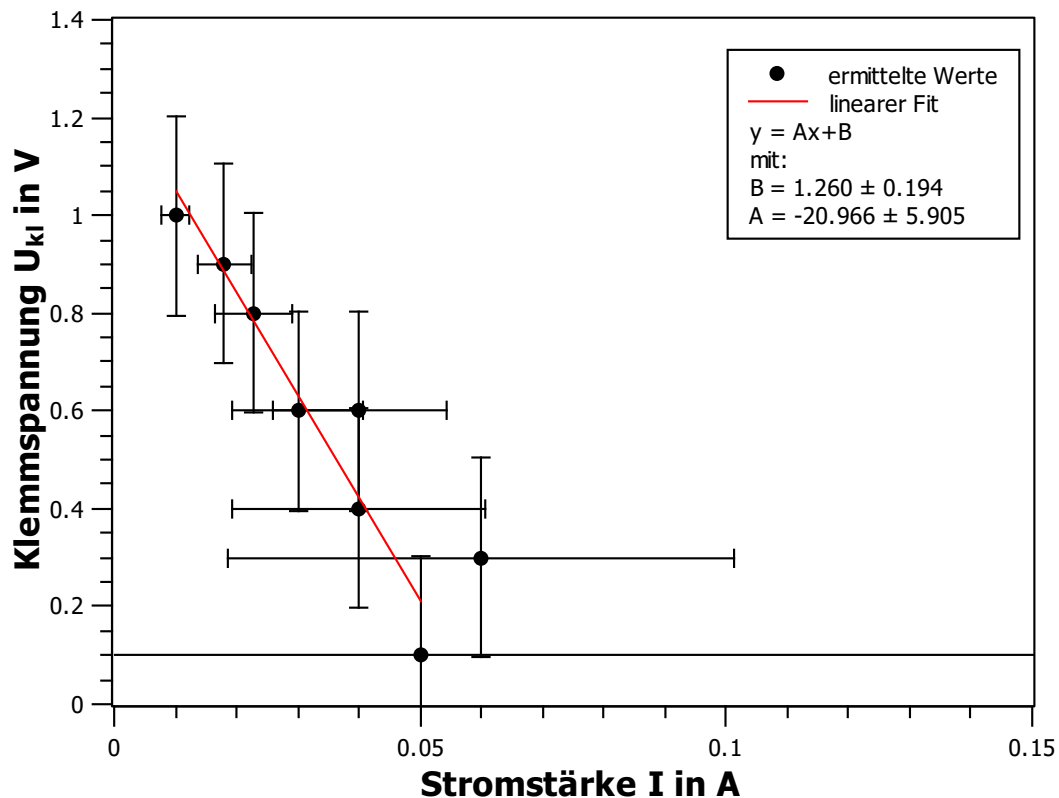
#### 2.1.2 Unsicherheiten

Bei diesem Versuch treten lediglich die Unsicherheit des Multimeters und des Lastwiderstands  $R_a$  auf. Da das Multimeter eine analoge Darstellung der Messwerte verwendet und sich je nach verwendeter Größenordnung mit einer Genauigkeit von 1 V bzw. 0,1 V

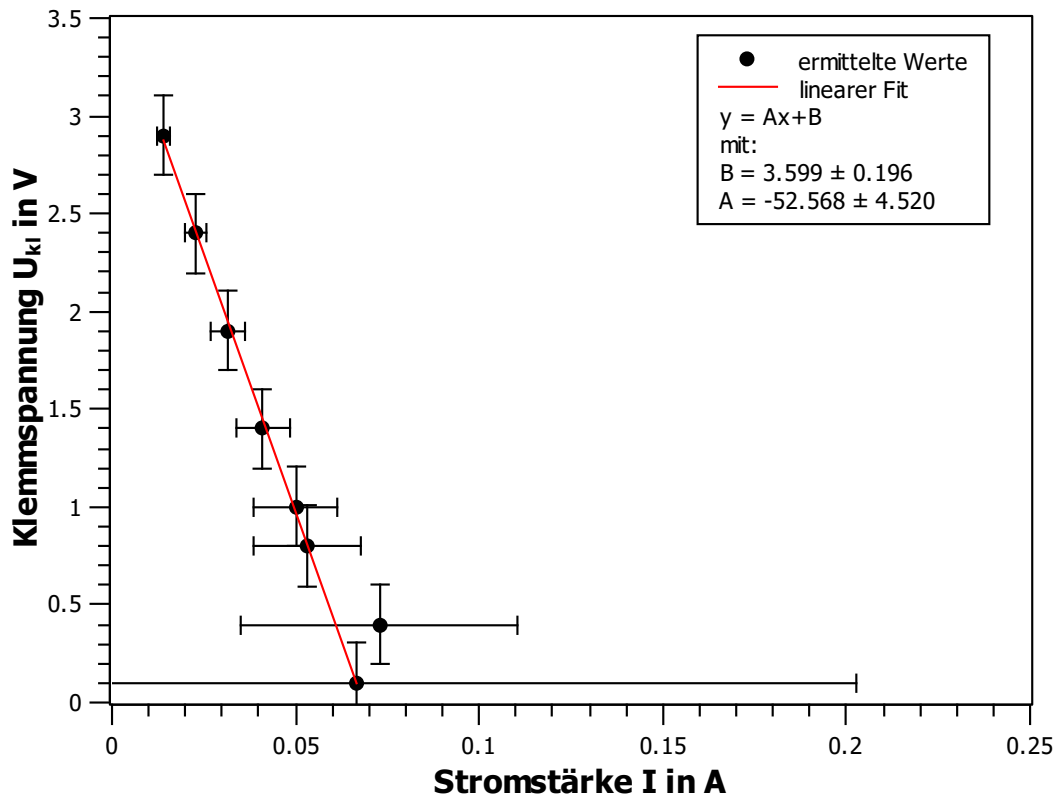
ablesen ließ, werden die zugehörigen Unsicherheiten über eine Dreiecksverteilung bestimmt. Für die Unsicherheit des Widerstands wird, da es sich hierbei um einen alten Stöpselwiderstand, eine prozentuale Abweichung des angegebenen Werts von 10% gewählt. Im Allgemeinen werden zur Berechnung der kombinierten Unsicherheiten die nach GUM vorgesehenen Formeln verwendet. Die Berechnung dieser für diesen Versuch erfolgt im Anhang (4).

## 2.2 Datenanalyse

Alle aufgenommenen Werte sind dem Laborbuch zu entnehmen. Darüber hinaus sind die Daten in den folgenden Diagrammen graphisch dargestellt.



**Abbildung 1:** Graphische Darstellung der Klemmspannung  $U_{kl}$  in Abhängigkeit des elektrischen Stroms  $I$  im Falle einer einzelnen Akkumulatorzelle. Der Betrag der Steigung des linearen Fits stellt den Innenwiderstand  $R_i$  dar.



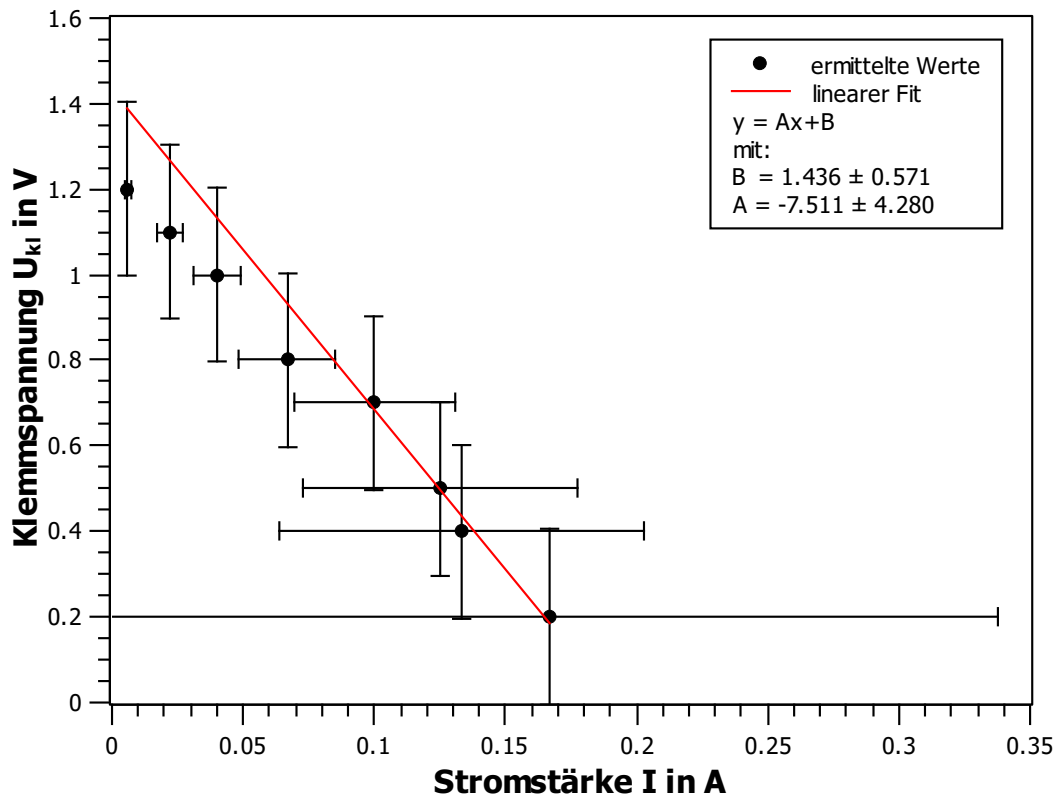
**Abbildung 2:** Graphische Darstellung der Klemmspannung  $U_{kl}$  in Abhängigkeit des elektrischen Stroms  $I$  im Falle von drei in Reihe geschalteten Akkumulatorzellen. Der Betrag der Steigung des linearen Fits stellt den Innenwiderstand  $R_i$  dar.

Zur Bestimmung der Leerlaufspannung wird ein „unendlich“ großer Widerstand gewählt, der Stromkreis ist also nicht geschlossen. Für diese ergeben sich  $(1,2 \pm 0,2)$  V für die einzelne Akkumulatorzelle,  $(3,7 \pm 0,2)$  V für drei in Reihe geschaltete Zellen und erneut  $(1,2 \pm 0,2)$  V für drei parallel geschaltete Akkumulatorzellen.

Da es sich bei der Akkumulatorzelle um keine ideale Spannungsquelle hält, was sich physikalisch auch nicht realisieren lässt, wird sie als Reihenschaltung von idealer Spannungsquelle  $U_0$  und Innenwiderstand  $R_i$  angenommen. Nach dem zweiten Kirchhoff'schen Gesetz folgt mit Belastung eines äußeren Widerstands:

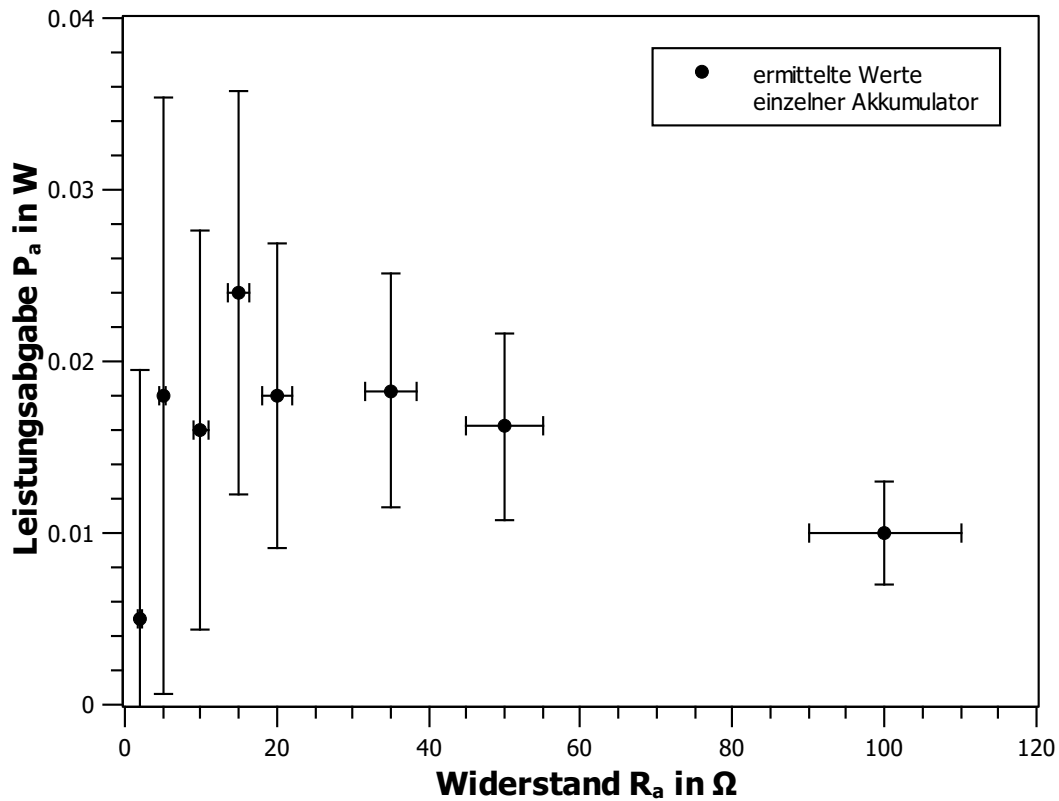
$$U_0 = R_i I + R_a I \quad (2.1)$$

$$\text{und durch umformen nach } R_i \text{ folgt: } R_i = \frac{U_0}{I} - R_a. \quad (2.2)$$



**Abbildung 3:** Graphische Darstellung der Klemmspannung  $U_{kl}$  in Abhängigkeit des elektrischen Stroms  $I$  im Falle von drei parallel geschalteten Akkumulatorzellen. Der Betrag der Steigung des linearen Fits stellt den Innenwiderstand  $R_i$  dar.

Der elektrische Strom  $I$  lässt sich hierbei durch die gemessene Klemmspannung  $U_{kl}$  und dem Widerstand  $R_a$  ermitteln ( $I = \frac{U_{kl}}{R_a}$ ). Zu Beachten ist hierbei, dass sich kein Wert für einen Außenwiderstand von  $0\ \Omega$  ermitteln lässt, da dafür durch null geteilt werden müsste. In diesem Falle kommt es zum Kurzschluss. Dabei ist der Strom maximal, aber endlich, kann jedoch zur Rechnung nicht verwendet werden. Ebenso führt die oben angegebene Formel für einen unendlich großen Außenwiderstand dazu, dass der Innenwiderstand gegen null geht, da sich  $U_{kl}$  der Leerlaufspannung  $U_0$  annähert und  $R_i = R_a - R_a = 0$  übrig bleibt. Umformen der oberen Gleichung nach der Klemmspannung  $U_{kl} = R_a I$  lässt darauf schließen, dass der Innenwiderstand  $R_i$  sich auch als Steigung der Gleichung  $U_{kl} = -R_i I + U_0$  identifizieren lässt. Dies ist in den Diagrammen 1 bis 3 für die drei



**Abbildung 4:** Graphische Darstellung der Leistungsabgabe  $P_a$  in Abhängigkeit des Außenwiderstands  $R_a$  im Falle einer einzelnen Akkumulatorzelle. Das Maximum liegt nahe des Innenwiderstands von  $(20,966 \pm 5,905) \Omega$ .

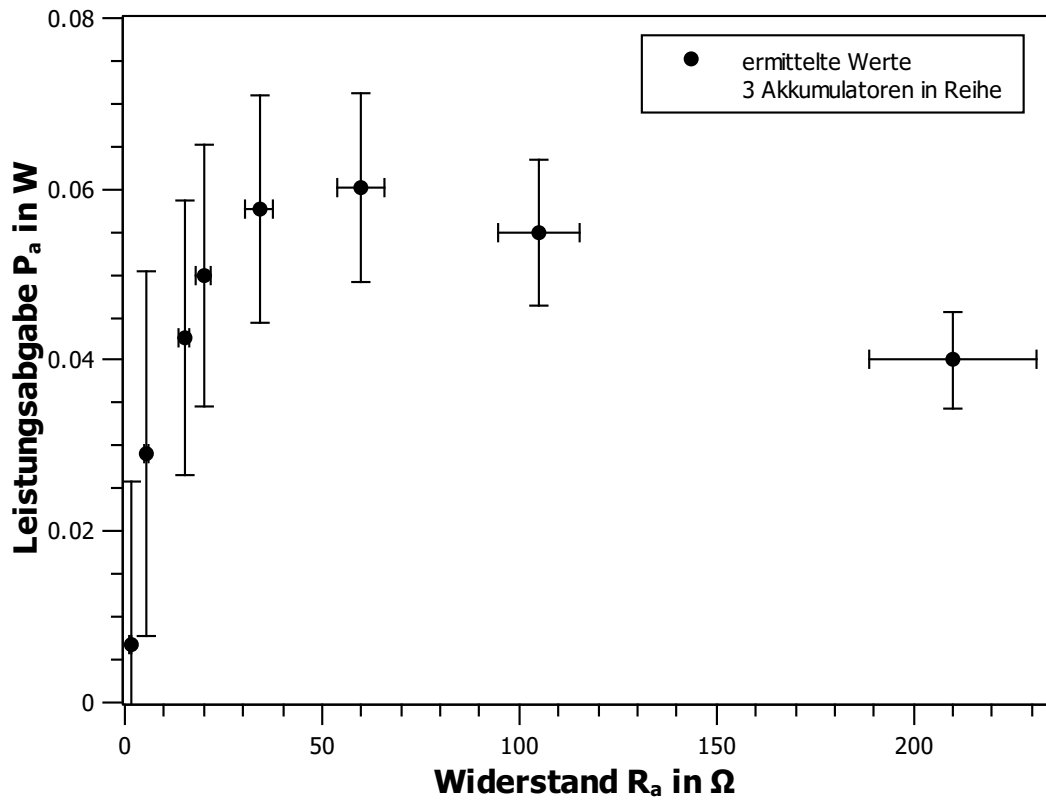
Fälle dargestellt<sup>1</sup>. Somit ergibt sich ein Innenwiderstand von  $(20,966 \pm 5,905) \Omega$  für eine einzelne Akkumulatorzelle,  $(52,568 \pm 4,520) \Omega$  für drei in Reihe geschaltete Zellen und  $(7,511 \pm 4,280) \Omega$  für drei parallel geschaltete Akkumulatorzellen. Daraus folgt, dass sich der Innenwiderstand in einer Größenordnung von einem zwei-stelligen  $\Omega$ -Bereich befindet.

Nun zu der Betrachtung der Leistungsabgabe. Diese setzt sich zunächst allgemein aus  $P = UI$  zusammen. Dabei sind hier  $U = U_{kl}$  und  $P = P_a$ . Umformen führt zu

$$P_a = U_0^2 \frac{R_a}{(R_a + R_i)^2} \quad (2.3)$$

<sup>1</sup>Alle Fits und deren Unsicherheiten wurden von dem Programm SciDavis berechnet, dazu wurden die Unsicherheiten (welche im Anhang zu finden sind) und die Methode der kleinsten Quadrate herangezogen. Die linearen Fits besitzen alle die Form  $y = Ax + B$ .

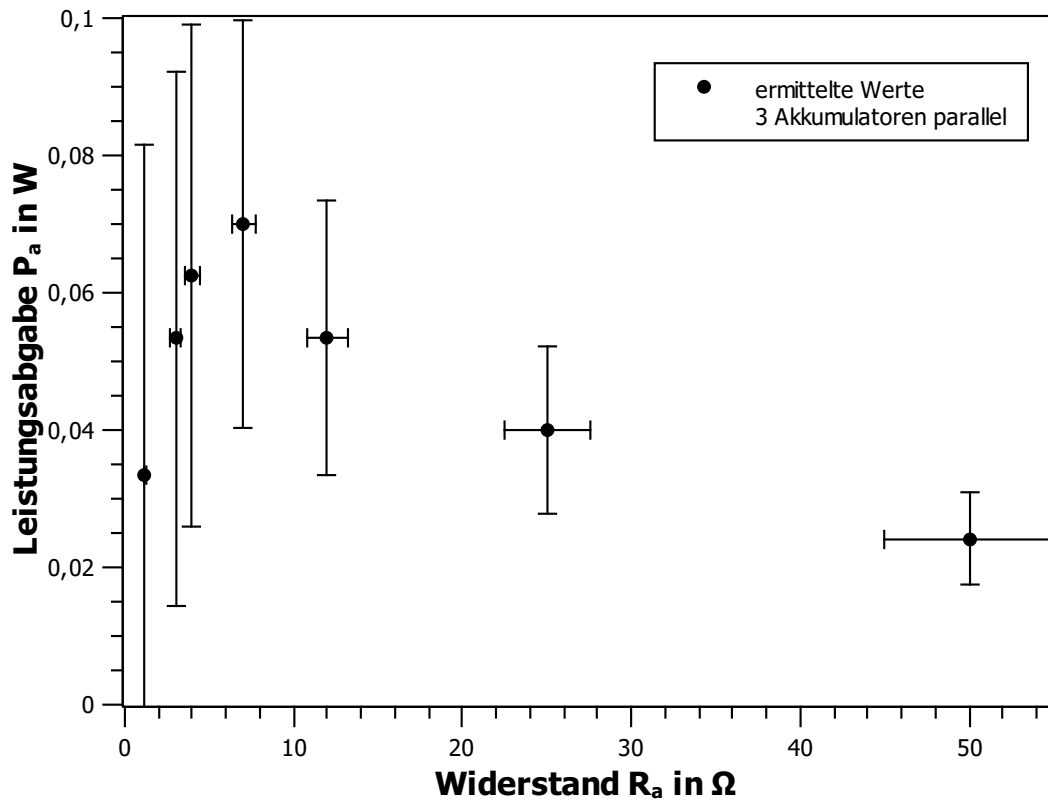




**Abbildung 5:** Graphische Darstellung der Leistungsabgabe  $P_a$  in Abhängigkeit des Außenwiderstands  $R_a$  im Falle von drei in Reihe geschalteten Akkumulatorzellen. Das Maximum liegt nahe des Innenwiderstands von  $(52,568 \pm 4,520) \Omega$ .

In Abhängigkeit des Innenwiderstands ist die Leistungsabgabe für  $R_a = R_i$  maximal (gilt nur für ohm'sche Widerstände). Die Leistungsanpassung geschieht durch die Annäherung der Widerstände, sodass die Leistung des Verbrauchers maximal ist, dies ist gerade bei  $P_{max} = \frac{U_0^2}{4R_i}$  der Fall.

Für die drei Fälle ist  $P_a$  in Abhängigkeit des Außenwiderstands  $R_a$  in den Diagrammen 4 bis 6 dargestellt. Da nur wenige Messpunkte vorliegen, ist der genaue Wert für  $R_a$  bei dem die Leistung maximal ist nicht genau zu erkennen. Jedoch fällt auf, dass die Punkte, welche am höchsten liegen alle nahe von einer Standardunsicherheit der oben aufgeführten Innenwiderstände, für den jeweiligen Fall, liegen.



**Abbildung 6:** Graphische Darstellung der Leistungsabgabe  $P_a$  in Abhängigkeit des Außenwiderstands  $R_a$  im Falle von drei parallel geschalteten Akkumulatorzellen. Das Maximum liegt nahe des Innenwiderstands von  $(7,511 \pm 4,280) \Omega$ .

## 2.3 Diskussion

Vergleicht man nun die Messergebnisse, so fällt auf, dass diese mit den zu erwartenden übereinstimmt. Der Y-Achsenabschnitt bei den  $I$ - $U$ -Diagrammen stellt nach den Gesetzen von Kirchhoff die Leerlaufspannung dar. Die gemessenen Werte liegen alle innerhalb einer Standardunsicherheit der durch den Fit ermittelten Werte. Um einen konstanten Strom zu erhalten, sollte der Innenwiderstand möglichst hoch gewählt werden, also eine Reihenschaltung von gleichen Spannungsquellen sollte dazu verwendet werden. Für eine konstante Spannung hingegen sollte ein möglichst geringer Innenwiderstand gewählt werden, was durch eine Parallelschaltung von gleichen Spannungsquellen erreicht werden kann. Auch das Verhältnis für die maximale Leistung ( $R_a = R_i$ ) kann aus den Diagrammen, trotz großer Ungenauigkeiten, entnommen werden. Eine genauere

Aufnahme der Werte wäre an dieser Stelle sinnvoll.

## 2.4 Schlussfolgerung

Das Ziel, eine Bestätigung der verwendeten Theorie, wurde erreicht. Dies gilt für die zweite Kirchhoff'sche Regel, sowie dem Zusammenhang der Leistung, der Spannung und der Stromstärke. Aufgrund der großen Unsicherheiten, scheint es sinnvoll den Versuch zu wiederholen, wobei deutlich mehr Werte aufgenommen werden sollten, sodass die graphische Auswertung für die Leistungsabgabe eindeutiger wird und kleinere Unsicherheiten angenommen werden können. Zu den großen Unsicherheiten trägt hauptsächlich die des Widerstands bei, da 10% von großen Widerständen hierbei nicht wenig sind. Da die meisten Werte auch mit deutlich kleineren Unsicherheiten im Erwartungsbereich liegen würden, kann die Größe dieser für das Fazit weniger stark berücksichtigt werden.

## 3 Verbraucher bei Gleich- und Wechselstrom

Dieser Teilversuch beschäftigt sich mit der Untersuchung des Verhaltens von verschiedenen Verbrauchern bei Gleich- und Wechselstrom. Dazu werden verschiedene Verbraucher an einen Stromkreis geschlossen, in dem je nach Einstellung ein Gleich- bzw. Wechselstrom fließt. Es werden die bei den verschiedenen Strömen erhaltenen Spannungen, Stromstärken und Leistungen verglichen und Beziehungen mit der Theorie, insbesondere der Impedanzen für die Spule und den Kondensator behandelt. Die Theorie zu bestätigen ist das Ziel dieses Versuches. Dies wird auch anhand der Ergebnisse gezeigt. Das Verhältnis der Widerstände bei Gleich- und Wechselstrom stimmt mit den Erwartungen überein und die ermittelte Kapazität des Kondensators entspricht bis auf eine kleine Unsicherheit exakt der angegebenen.  $(0,060 \pm 0,004)$  mF waren angegeben und  $(0,060 \pm 0,001)$  mF wurden ermittelt.

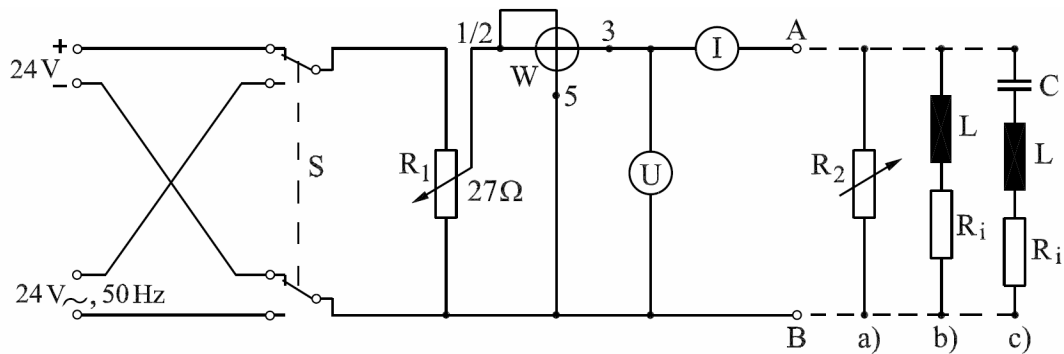
### 3.1 Methoden

#### 3.1.1 Aufbau

Der Aufbau des Versuches ist in Abb. 7 dargestellt<sup>2</sup>. Dieser besteht aus einem Schaltkreis, in dem sich die Spannungsquelle, ein regulierbarer Widerstand  $R_1$  mit bis zu  $27\,\Omega$ , sowie Messgeräte für den Leistungsverbrauch, die Spannung und den elektrischen Strom befinden. Die Spannungsquelle liefert nach ihrer Angabe 24 V. Gleich- und Wechselstrom sind hierbei beliebig einstellbar. Zunächst wird die Leistung ohne angeschlossenen Verbraucher, also die Verlustleistung, für Gleich- und Wechselstrom gemessen. Dann werden verschiedene Verbraucher angeschlossen und für diese die Leistung, die Spannung und der elektrische Strom gemessen. Auch dies erfolgt für Gleich- und Wechselstrom. Bei den verwendeten Verbrauchern handelt es sich um einen Widerstand  $R_2$ , dann um eine Spule  $L$  mit Innenwiderstand  $R_i$  und zuletzt um dieselbe Spule, jedoch mit zusätzlich angeschlossenem Kondensator. Für den letzten Fall wird nur bei Wechselstrom gemessen, da bei diesem Fall zusätzliche Effekte zum Tragen kommen.

---

<sup>2</sup>Die Schaltskizze wurde der Versuchsanleitung entnommen.



**Abbildung 7:** Diese Schaltskizze stellt den Aufbau des Versuchs dar. Eingezeichnet sind die verschiedenen Verbraucher a), b) und c), welche in dem Versuch betrachtet werden.

### 3.1.2 Unsicherheiten

Die bei der Aufnahme der Messwerte zu berücksichtigenden Unsicherheiten treten hier bei den Angaben der Spannungsquelle, der Widerstände, des Kondensators, sowie bei dem Ablesen von den Messgeräten auf. Da es sich bei letzteren immer um Analoganzeigen gehandelt hat, wird die Unsicherheit dieser durch eine Dreiecksverteilung abhängig von der Genauigkeit der Skala bestimmt. Ansonsten werden die angegebenen Unsicherheiten verwendet, welche alle bei 10% des dargestellten Werts liegen. Für die Spannungsquelle gab es keine Angabe, weswegen auch hier mit 10% der angegebenen 24 V gerechnet werden. Im Allgemeinen werden zur Berechnung der kombinierten Unsicherheiten die nach GUM vorgesehenen Formeln verwendet. Die Berechnung dieser für diesen Versuch erfolgt im Anhang (4).

### 3.1.3 Komplikationen

Trotz Korrektheit der Schaltung, welche von der Betreuerin geprüft wurde, konnten keine Werte gemessen werden. Der Austausch des Gerätes zur Messung der Leistung löste dieses Problem. Allerdings war es nicht möglich mit dem Multimeter, welches bereits bei den Akkumulatorzellen verwendet wurde, ohne angeschlossenen Verbraucher, eine Spannung und die zugehörige Verlustleistung zu messen. Das Messgerät für die Leistung schlug in den negativen Bereich aus, was aus physikalischer Sicht unlogisch war. Aus diesem Grund wurde statt des Multimeters ein einfaches Voltmeter angeschlossen.

Damit ließen sich Werte messen, jedoch auch eine Spannung von ca. 25,5 V, was mehr als der Eingangsspannung entsprechen würde. Da dieser Wert jedoch innerhalb der angenommenen 10% Unsicherheit für die Quelle liegt, wird er akzeptiert.

### 3.2 Datenanalyse

Alle aufgenommenen Werte sind dem Laborbuch zu entnehmen. Darüber hinaus sind die Daten in den folgenden Diagrammen graphisch dargestellt. Zunächst wurde die Verlustleistung bestimmt, dazu wurde der Schaltkreis ohne Verbraucher verwendet. Das Messgerät für die Leistung zeigte  $(1,1 \pm 0,2) \text{ W}$  bei  $(23,5 \pm 0,2) \text{ V}$  und Wechselstrom. Bei Gleichstrom waren dies  $(2,2 \pm 0,2) \text{ W}$  bei  $(25,5 \pm 0,2) \text{ V}$ . Für die drei Verbraucher wurden in den Abbildungen 8 bis 12 immer die  $U$ - $I$ -Kennlinien und die Verhältnisse zwischen der gemessenen Leistung und der aus  $P = UI$  berechneten graphisch dargestellt. Aus den  $U$ - $I$ -Kennlinien lassen sich die Widerstände der Verbraucher ermitteln. Diese entsprechen der Steigung der berechneten linearen Fits. Für die Spule handelt es sich hierbei bei Wechselstrom um den Scheinwiderstand  $|Z|$  und bei Gleichstrom um den ohm'schen Widerstand  $R_i$ . Da bei Wechselströmen die gemittelte Leistung über die effektiven Spannungen und Stromstärken gemäß der folgenden Formel definiert ist:

$$\bar{P} = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi \quad (3.1)$$

$$\varphi = \arccos \left( \frac{\bar{P}}{U_{eff} I_{eff}} \right), \quad (3.2)$$

lässt sich der Phasenwinkel  $\varphi$  aus dem Verhältnis der gemessenen Leistung und dem Produkt der gemessenen Spannung und Stromstärke bestimmen. Der Wirkwiderstand ist gleich dem Scheinwiderstand multipliziert mit dem Kosinus der Phase  $R_W = |Z| \cos(\varphi)$ . Mit der Frequenz der Spannungsquelle von 50 Hz ergibt sich eine Kreisfrequenz  $\omega$  von  $314,16 \text{ s}^{-1}$ . Die Induktivität  $L$  der Spule ergibt sich aus dem folgenden Zusammenhang:

$$L = \frac{|Z|}{\omega \sin(\varphi)}. \quad (3.3)$$

Und zuletzt die Kapazität des Kondensators:

$$C = \frac{1}{\omega} \frac{1}{(\omega L - |Z| \sin(\varphi))}. \quad (3.4)$$

Für die Phase des Kondensators wird die gleiche Formel wie oben verwendet, jedoch mit negativem Vorzeichen, da die Phasenverschiebung der Spule umgekehrt ist. In der folgenden Tabelle sind alle relevanten Ergebnisse der Messungen aufgezeichnet:

**Tabelle 1:** In dieser Tabelle sind die gemessenen und ermittelten Werte verzeichnet.

Größe	Wert
Verbraucherwiderstand bei Gleichstrom $R_{2,gl}$	$(17,141 \pm 0,263) \Omega$
Verbraucherwiderstand bei Wechselstrom $R_{2,w}$	$(18,282 \pm 0,273) \Omega$
Wirkwiderstand $R_w$ Spule	$(22,589 \pm 0,419) \Omega$
Ohm'scher Widerstand $R_i$ Spule	$(26,491 \pm 0,376) \Omega$
Phasenwinkel $\varphi$ Spule	$0,745 \pm 0,010$
Induktivität $L$ Spule	$(0,066 \pm 0,001) \text{ H}$
Kapazität $C$ Kondensator	$(0,060 \pm 0,001) \text{ mF}$
Scheinwiderstand $ Z $ Kondensator + Spule	$(39,947 \pm 0,410) \Omega$
Phasenwinkel $\varphi$ Kondensator + Spule	$-0,923 \pm 0,005$

### 3.3 Diskussion

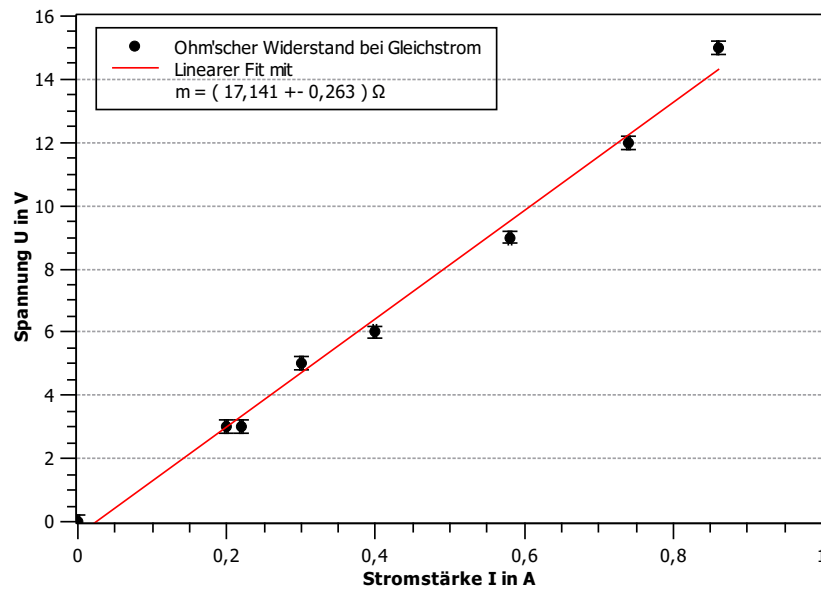
Die Betrachtung des Widerstands bei Gleich- und Wechselstrom zeigt, dass der Widerstand bei letzterem größer ist, dies liegt daran, dass bei Wechselstrom der Scheinwiderstand gemessen wird und zusätzlich noch der Imaginärteil zum Tragen kommt. Dasselbe gilt für die Spule. Vergleicht man bei dieser jedoch den Wirkwiderstand mit dem ohm'schen, so fällt auf, dass dieser kleiner ist. Der Wirkwiderstand ist dabei der Realanteil des Scheinwiderstandes und abhängig von der Phase ändert sich dieses Verhältnis. Da der Kondensator aus drei parallel geschalteten Kondensatoren mit jeweils  $(0,020 \pm 0,002) \text{ mF}$  bestand, addieren sich diese der Theorie nach für die Gesamtkapazität zusammen  $((0,060 \pm 0,004) \text{ mF})$ . Dieser Wert stimmt eindeutig mit dem ermittelten überein.

Demnach gibt es eine Übereinstimmung mit der Theorie. Es sind also keine nennenswerte Abweichungen gemessen worden.

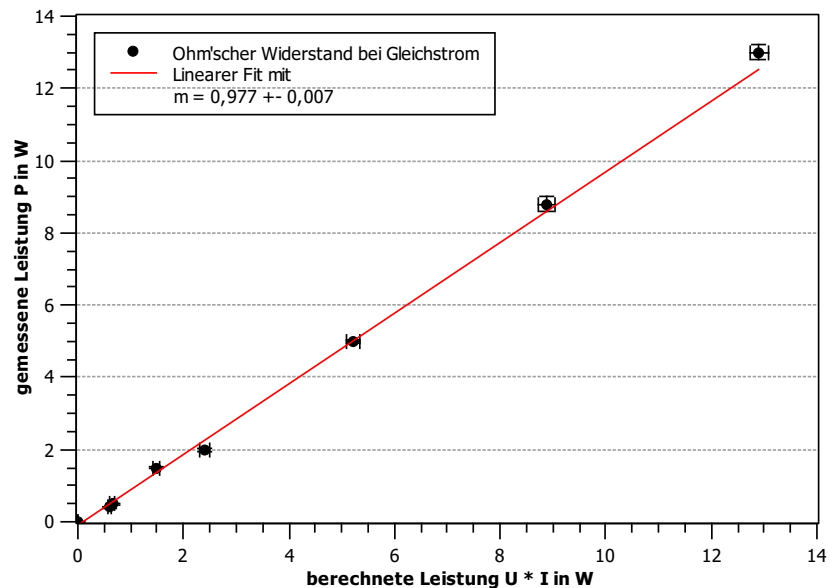
### **3.4 Schlussfolgerung**

Die Messergebnisse deuten auf eine Bestätigung der Theorie hin. Alle gemessenen Werte stimmen nämlich mit den Erwartungen überein. Das Ziel dieses Versuches wurde demnach erreicht und eine Wiederholung ist somit nicht notwendig. Die Betrachtung der Unsicherheiten schließt ebenfalls starke Abweichungen aus, da diese sehr genau sind.



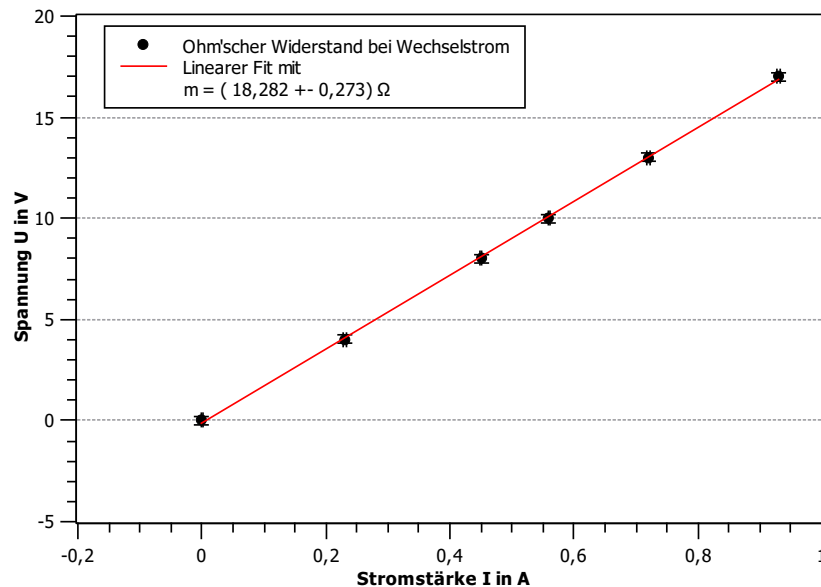


(a) Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie bei Gleichstrom und Widerstand als Verbraucher.

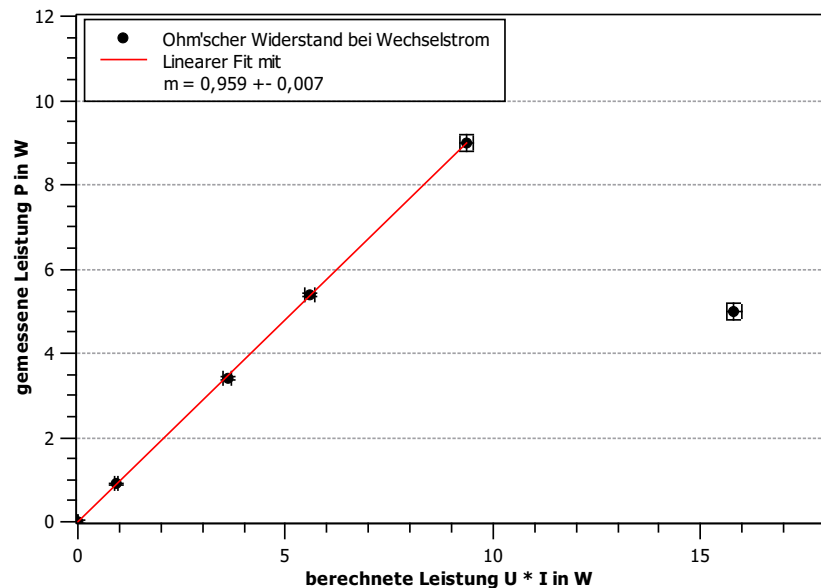


(b) Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei Gleichstrom und Widerstand als Verbraucher.

**Abbildung 8:** Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie des Widerstands, sowie Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei dem Widerstand als Verbraucher bei Gleichstrom.

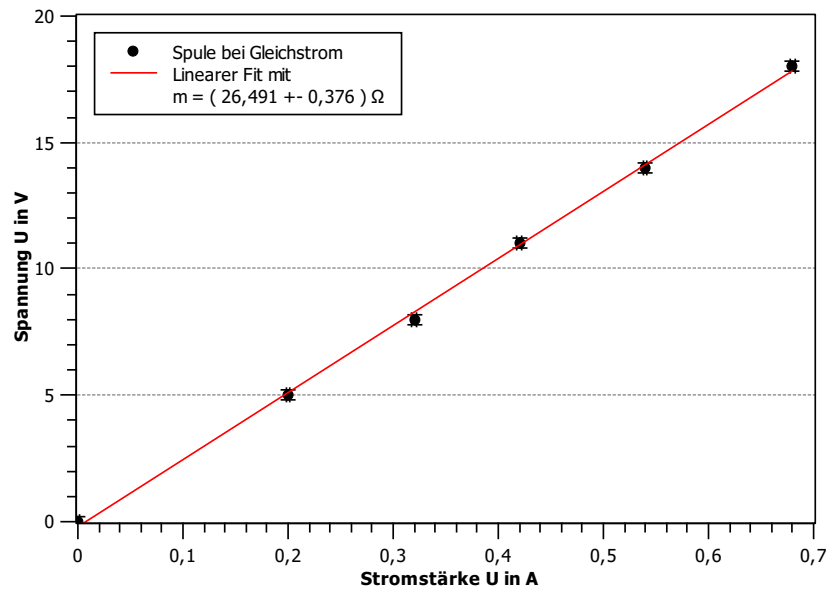


(a) Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie bei Wechselstrom und Widerstand als Verbraucher.

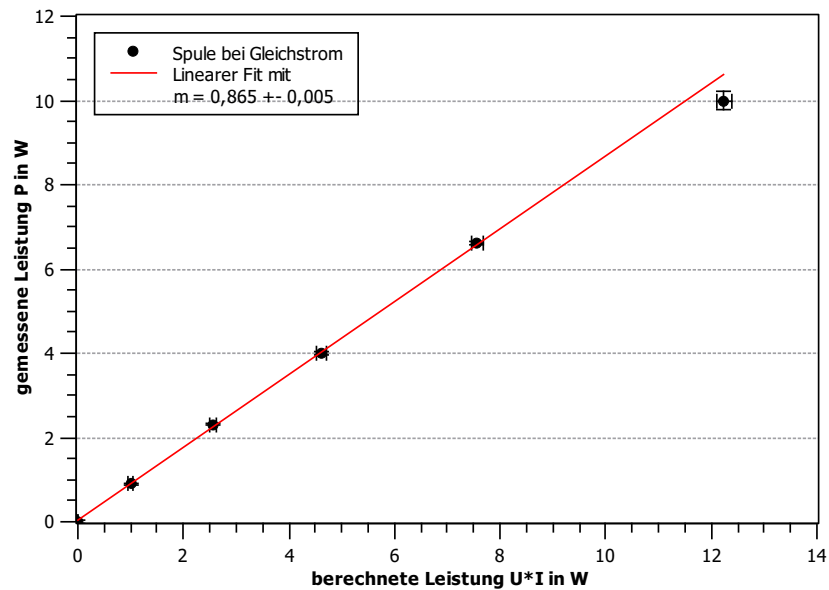


(b) Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei Wechselstrom und Widerstand als Verbraucher. Da der eine Messpunkt offensichtlich falsch aufgenommen wurde, wurde dieser nicht mit ausgewertet.

**Abbildung 9:** Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie des Widerstands, sowie Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei dem Widerstand als Verbraucher bei Wechselstrom.

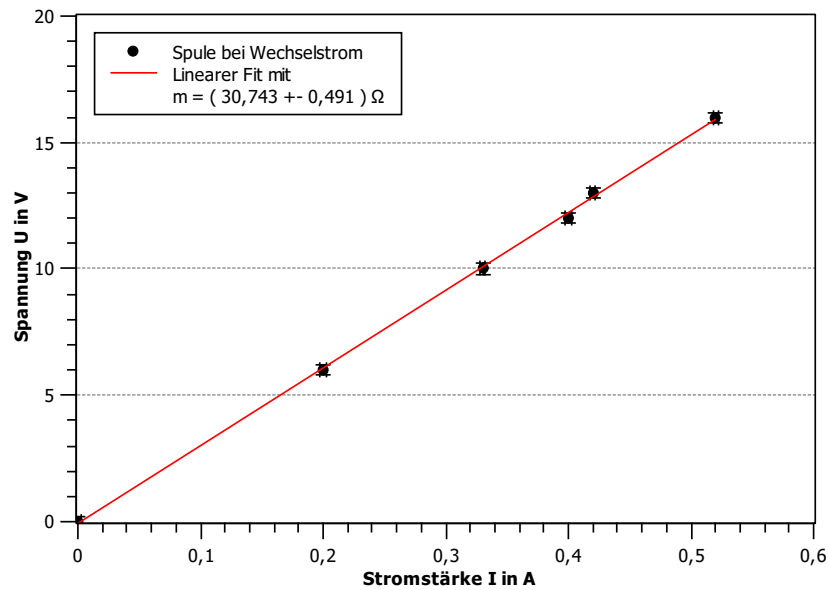


(a) Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie bei Gleichstrom und Spule als Verbraucher.

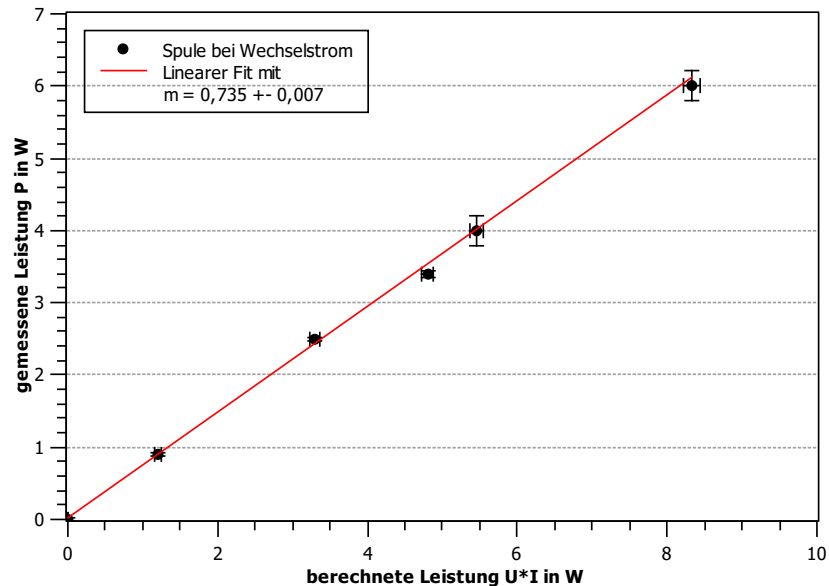


(b) Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei Gleichstrom und Spule als Verbraucher.

**Abbildung 10:** Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie des Widerstands, sowie Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei der Spule als Verbraucher bei Gleichstrom.

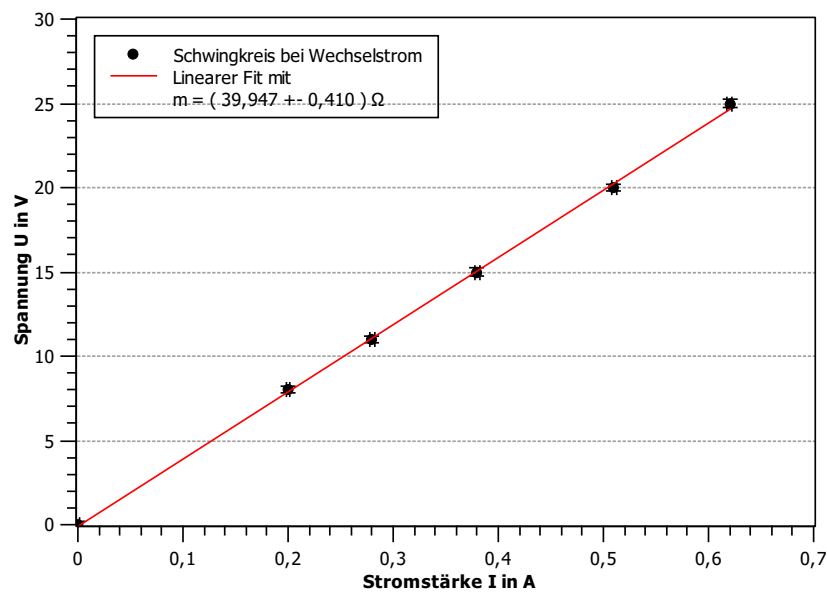


(a) Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie bei Wechselstrom und Spule als Verbraucher.

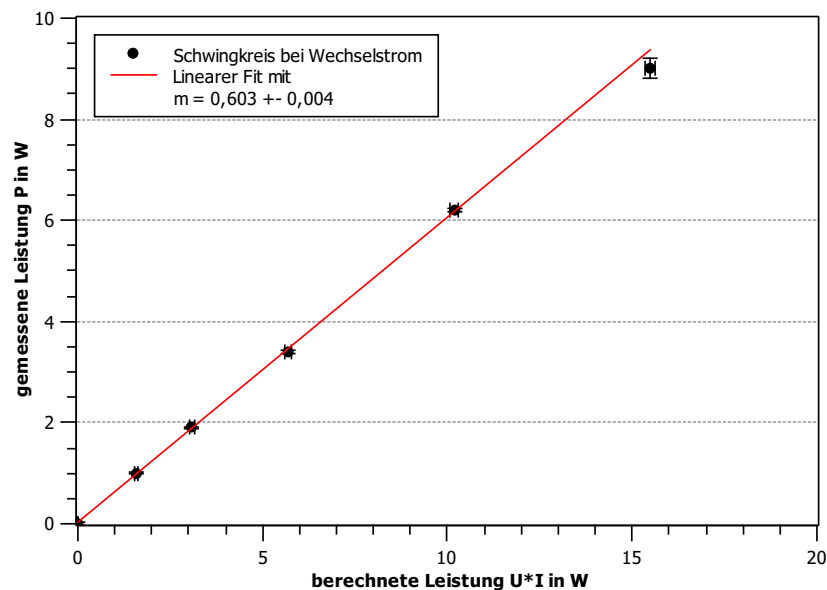


(b) Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei Wechselstrom und Spule als Verbraucher.

**Abbildung 11:** Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie des Widerstands, sowie Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei der Spule als Verbraucher bei Wechselstrom.



(a) Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie bei Wechselstrom und Kondensator und Spule als Verbraucher.



(b) Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei Wechselstrom und Kondensator und Spule als Verbraucher.

**Abbildung 12:** Graphische Darstellungen der  $U$ - $I$ -Kennlinie des Widerstands, sowie Verhältnis der ermittelten und gemessenen Leistung bei dem Kondensator und der Spule als Verbraucher bei Wechselstrom.

## 4 Anhang

### 4.1 Unsicherheitsrechnung

$$x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad u(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u(x_i)^2}$$

**Abbildung 13:** Formel für kombinierte Unsicherheiten des selben Typs nach GUM.

$$f = f(x_1, \dots, x_N); \quad u(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

**Abbildung 14:** Formel für sich fortpflanzende Unsicherheiten nach GUM.

$$I = \frac{U}{R}; \quad u(I) = \sqrt{\left( \frac{u(U)}{R} \right)^2 + \left( -\frac{U}{R^2} \cdot u(R) \right)^2}$$

**Abbildung 15:** Unsicherheit für den Strom eines ohm'schen Widerstandes.  $U$  und  $R$  sind direkt gemessen und deren Unsicherheiten sind gegeben mit  $u(R) = 0,1R$  und  $u(U)$  (je nach Messbereich)  $= \frac{0,1V}{2\sqrt{6}}, \frac{0,2V}{2\sqrt{6}}, \frac{1V}{2\sqrt{6}}$ .

$$P = U \cdot I; \quad u(P) = \sqrt{(Uu(I))^2 + (Iu(U))^2}$$

**Abbildung 16:** Unsicherheit für die abgegebene Leistung über einen ohm'schen Widerstand.  $U$  und  $I$  sind direkt gemessen und deren Unsicherheiten sind gegeben mit  $u(I) = \frac{0,01 \text{ A}}{2\sqrt{6}}$  und  $u(U)$  wie oben in Abb. ??.

$$\phi = \arccos(m); \quad u(\phi) = \left| -\frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}}$$

**Abbildung 17:** Unsicherheit für den Phasenwinkel  $\phi$  in Abhängigkeit zu der Steigung  $m$  des dazugehörigen Leistungsgraphen. Die Unsicherheit für  $m$  wurde aus dem linearen Fit entnommen. Da  $m \leq 1$ , entfällt der Betrag.

$$L = \frac{|Z|}{\omega} \sin \phi; \quad u(L) = \frac{1}{\omega} \sqrt{(u(|Z|) \sin \phi)^2 + (|Z| \cos \phi u(\phi))^2}$$

**Abbildung 18:** Unsicherheit für die Induktivität der Spule.  $\omega$  ist die Kreisfrequenz der Spannungsquelle und sei als ideal angenommen.  $u(|Z|)$  ist der Steigung des jeweiligen  $U$ - $I$ -Graphen zu entnehmen.

$$C = \frac{1}{\omega} \frac{1}{(\omega L - |Z| \sin \phi)}$$

$$u(C) = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left( \frac{-\omega}{(\omega L - |Z| \sin \phi)^2} \right)^2 + \left( \frac{\sin \phi}{(\omega L - |Z| \sin \phi)^2} \right)^2 + \left( \frac{|Z| \cos \phi}{(\omega L - |Z| \sin \phi)^2} \right)^2}$$

**Abbildung 19:** Unsicherheit für die Kapazität des Kondensators.