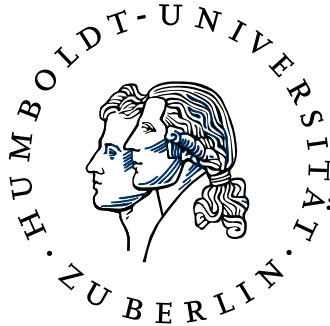


---

INSTITUT FÜR PHYSIK  
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

---



## Physikalisches Grundpraktikum II

Versuchsprotokoll

E5 – Gleichrichterschaltungen

Betreuer: Patrick Lessmann

NEW 14, Raum 3'13, Versuchsplatz 2

Benjamin Maier, 529225  
Versuchspartner: Tobias Perna, 528983

8.12.2009

Die Speisung von Stromnetzen erfolgt aufgrund geringerer Übertragungsverluste mit Wechselstrom, doch viele handelsübliche Geräte wie z.B. Computer benötigen Gleichstrom. Für die Umwandlung von Wechsel- in Gleichstrom sind Gleichrichterschaltungen vonnöten. In diesem Experiment werden Einweg- und Zweiweggleichrichterschaltungen auf ihre Effektivität bezüglich dieser Transformation untersucht. Zum Vergleich der Methoden erfolgen Kennlinienaufnahmen sowie eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Spannung am Oszilloskop. Die Zweiweggleichrichterschaltung wird sich hier als effektiver erweisen, da sich durch sie im Mittel eine höhere Spannung sowie ein „glatterer“ zeitlicher Spannungsverlauf des resultierenden Stroms einstellt.

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Versuchsbeschreibung und Physikalische Grundlagen</b> | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Messungen</b>   | <b>1</b> |
| 2.1      | Messunsicherheiten . . . . .                             | 1        |
| 2.2      | Aufnahme der Kennlinien . . . . .                        | 1        |
| 2.3      | Zeitlicher Spannungsverlauf . . . . .                    | 2        |
| 2.4      | Interpretation der Graphen . . . . .                     | 3        |
| 2.5      | Berechnung der Maximalspannung $U_m$ . . . . .           | 5        |
| <b>3</b> | <b>Diskussion</b>  | <b>7</b> |
| 3.1      | Fehlerdiskussion . . . . .                               | 7        |
| 3.2      | Effektivität der Gleichrichtermethoden . . . . .         | 7        |
| <b>4</b> | <b>Literatur</b>   | <b>7</b> |
| <b>A</b> | <b>Datenprotokollierung während des Versuches</b>        | <b>7</b> |

# 1 Versuchsbeschreibung und Physikalische Grundlagen

Eine ausführliche Beschreibung des Experimentes inklusive Abbildungen verwendeter Schaltungen findet sich in [1], S. 21-25.

## 2 Messungen

### 2.1 Messunsicherheiten

Zuerst wurde mit einem Voltmeter der Mittelwert des resultierenden Spannungsverlaufs  $\bar{U}$  bzw. mit einem Amperemeter der am Widerstand anfallende Strom  $I$  gemessen. Die systematische Abweichung der Spannung ergibt sich nach Angaben auf dem Voltmeter zu

$$e_{s,U} = 2.5\% \cdot \text{Messbereich},$$

wobei stets im Messbereich 10 V gemessen wurde, sodass  $e_{s,U} = 0.25 \text{ V}$  gilt. Die zufällige Abweichung beträgt dann mit einem halben Skalenteil  $e_{z,U} = 0.05 \text{ V}$ . Die Abweichungen addieren sich pythagoreisch zur Messunsicherheit

$$u_U = 0.3 \text{ V}.$$

Die Messunsicherheit des Stromes ergibt sich nach Herstellerangaben zu

$$u_I = 1\% \cdot \text{Messwert} + 1 \text{ Digit}.$$

Der kleinste gemessene Strom im Experiment betrug  $I = 0.3 \text{ mA}$ , der größte  $I = 133 \text{ mA}$ , sodass sich die Messunsicherheit zwischen 0.1 mA und 1.4 mA bewegte.

### 2.2 Aufnahme der Kennlinien

Gemessen wurde nun für vier Konstellationen der Schaltung. In Abbildung 1 sind die Kennlinien dieser Schaltungen dargestellt.

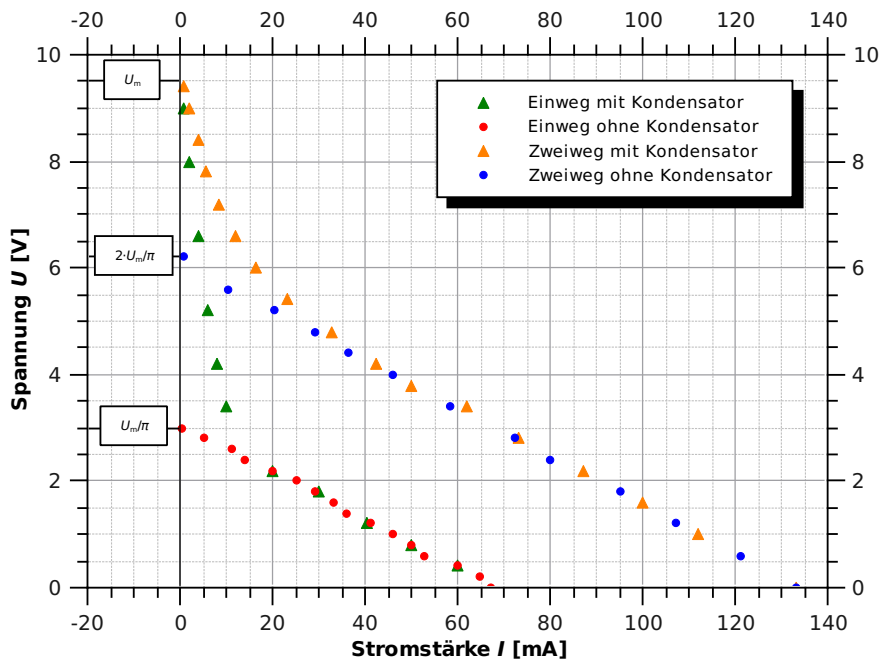


Abbildung 1: Kennlinien der Schaltungen

Im Folgenden wird auf die Nennung der Schaltung verzichtet und zum Bezugnehmen nur die Farbe der Graphen verwendet:

- Rot** Einweggleichrichterschaltung ohne parallel geschalteten Kondensator,
- Blau** Zweiweggleichrichterschaltung ohne parallel geschalteten Kondensator,
- Grün** Einweggleichrichterschaltung mit parallel geschaltetem Kondensator,
- Orange** Zweiweggleichrichterschaltung mit parallel geschaltetem Kondensator.

### 2.3 Zeitlicher Spannungsverlauf

Das Oszilloskop wurde analog zum Spannungsmessgerät in die Schaltung eingefügt. Damit ergaben sich für jeweils eine Periode folgende Graphen, wobei die Farben der Kurven die gleiche Bedeutung wie in Abbildung 1 haben.

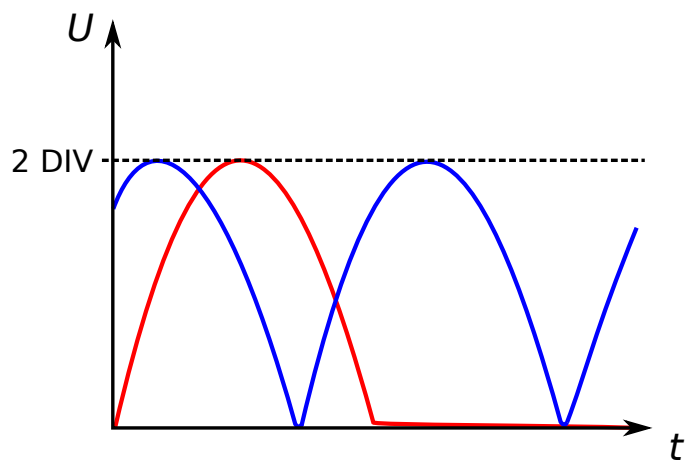


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Spannung ohne parallel geschalteten Kondensator

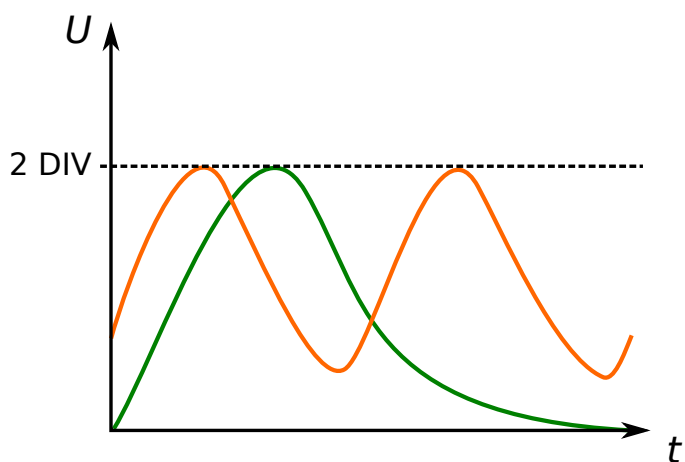


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Spannung mit parallel geschaltetem Kondensator

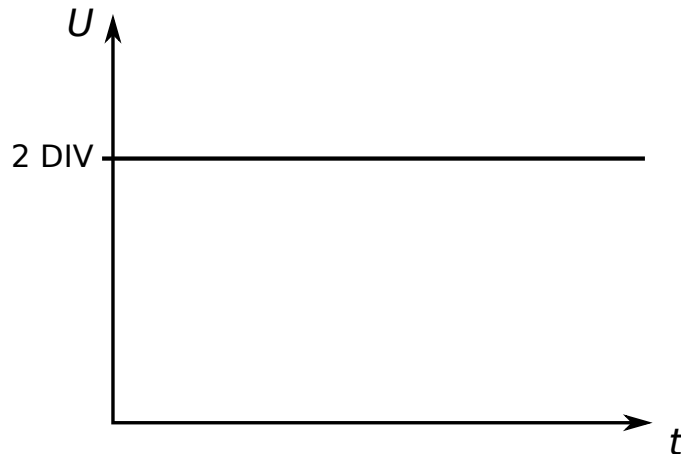


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der Spannung ohne Belastung, mit Kondensator

Abbildung 4 stellte sich für beide Gleichrichterschaltungen ein. Die Scheitelspannung  $U_m$  ist stets konstant und liegt bei 2 DIV, wobei 1 DIV nach dem eingestellten Messbereich am Oszilloskop genau 5 V entspricht, die Scheitelspannung sich also als Richtwert zu  $U_m = 10 \text{ V}$  ergibt.

## 2.4 Interpretation der Graphen

Wie man in Abbildung 1 sieht, stellen sich für eine Schaltung ohne Kondensator zwei parallele Geraden mit Ordinatenabschnitt ein. Dieser Ordinatenabschnitt ist der Maximalwert der gemittelten Spannung, die natürlich bei ausbleibendem Strom auftritt. Nimmt man sinusförmigen Strom als Ausgangswechselstrom an, so lassen sich die Graphen in Abbildung 3 als Betrag (Zweiweg) bzw. nur den positiven Teil der zeitlichen Wechselspannung (Einweg) interpretieren. Mittelt man die blaue Kurve zeitlich über eine Periode, ergibt sich für Sinusformen wie diese

$$\bar{U} = \frac{U_m}{\pi}. \quad (1)$$

Da bei der roten Kurve ein Schwingungsbauch mehr zur Mittelwertbildung beiträgt, verdoppelt sich hier der Mittelwert. Es gilt dann

$$\bar{U} = \frac{2U_m}{\pi}. \quad (2)$$

Aufgrund dessen ist der Ordinatenabschnitt der roten Kurve doppelt so hoch wie der der blauen. Es sei jedoch bemerkt, dass die Messwerte in Nähe der Ordinate noch *nicht* dem Ordinatenabschnitt entsprechen, da  $I$  noch nicht verschwindet. Die entsprechenden Werte werden später ohne Widerstand gemessen und ausgewertet, auch für die Schaltung mit Kondensator.

Ohne Kondensator gehorchen die Kennlinien dem Ohm'schen Gesetz

$$U = R \cdot I, \quad (3)$$

stellen also Geraden mit dem Anstieg des Widerstandes  $R_P$  dar. Allerdings haben die Geraden einen negativen Anstieg, mit steigendem Strom sinkt die Spannung, Widerstände können jedoch nicht negativ sein. Dieser Umstand kommt aus der Regulierung des Stromes durch ein Potenziometer  $R_P$ . Der Widerstand ist willkürlich wählbar und damit von einem freien Parameter  $t$  abhängig, der als fortschreitende Zeit des Telexperimentes interpretiert werden kann und deswegen monoton steigt. Da  $R_P$

in Reihe mit dem Innenwiderstand der Diode  $R_D$  geschaltet ist, und (3) gilt, folgt die Beziehung

$$I(t) \propto \frac{1}{R_P(t) + R_D}.$$

Kabel- und sonstige Widerstände haben keine zeitliche Änderung und werden vernachlässigt. Nun wird der Potenziometerwiderstand verringert, d.h.

$$\frac{dR_P}{dt} = \dot{R}_P < 0. \quad (4)$$

Damit folgt

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \frac{dI}{dR_P} \frac{dR_P}{dt} = -\frac{1}{(R_P + R_D)^2} \cdot \dot{R}_P \\ &> 0. \end{aligned}$$

Das heißt mit sinkendem  $R_P$  steigt der Strom an. Nun wird der Mittelwert  $\bar{U}$  der Spannung über dem Potenziometerwiderstand gemessen, sodass nach (3) und mit (4)

$$\begin{aligned} \bar{U}(t) &= R_P(t) \cdot I(R_P(t)) \\ \bar{U}(t) &\propto \frac{R_P(t)}{R_P(t) + R_D(t)} \end{aligned}$$

gilt. Für die Ableitung der Spannung nach dem freien Parameter  $t$  folgt schließlich

$$\begin{aligned} \dot{\bar{U}} &\propto \frac{R_P \dot{R}_P + R_D \dot{R}_P - R_P \dot{R}_P}{(R_P + R_D)^2} = \frac{R_D \dot{R}_P}{(R_P + R_D)^2} \\ &< 0. \end{aligned}$$

Mit sinkendem  $R_P$  steigt also der Strom und sinkt der Spannungsabfall am Potenziometer. Damit ist die fallende Form der Geraden erklärt.

Betrachten wir nun die Graphen der Schaltung mit Kondensator. Für das Verhalten der Kennlinien sind jeweils drei Fälle zu unterscheiden:

1. Verschwinden des Laststroms,  $I \rightarrow 0$ ,
2. stark gestiegener Laststrom,  $I \gg 1$ ,
3. steigender Laststrom  $0 < I < \infty$ .

Verschwinden des Laststroms bedeutet, dass sich die Schaltung im Leerlauf, also ohne Belastung, befindet. Dies entspricht Abbildung 4. Ohne Strom lädt sich der Kondensator komplett auf, sodass an ihm die Spannung  $U_m$  liegt. Dies ist unabhängig von der Art der Gleichrichterschaltung, sodass sich im zeitlichen Verlauf auf dem Oszilloskop eine Gerade auf Niveau des Maximums darstellt. Ein Mittel darüber entspricht genau  $U_m$

Ist der Laststrom stark angestiegen, so werden die Ladungen im Kondensator bei jedem Aufladen gleich wieder abtransportiert. Die Spannung am Kondensator verhält sich dann wieder so, als wäre kein Kondensator geschaltet, nähert sich also der roten bzw. blauen Kurve an.

Kombinieren wir diese Fälle und betrachten die grüne Kurve nach Perioden aufgeteilt. Zwischen 0 und  $\pi/2$  steigt der Strom bzw. die Ausgangsspannung an. Der Kondensator lädt sich entsprechend dem exponentiellen Gesetz für Gleichstrom auf, allerdings nicht für konstante anliegende Spannung,

sondern steigende. Deswegen folgt eine in Ordinatenrichtung gestreckte Zunahme des Gleichstromfalles. Ab  $\pi/2$  folgt eine Abnahme der Ausgangsspannung, weswegen auch die Spannung am Kondensator wiederum fällt. Es wird Ladung abtransportiert, allerdings langsamer, als wenn keine Spannung anliegen würde (Standardbetrachtung). Dadurch ist bei  $\pi$  noch nicht die gesamte Ladung verschwunden. Erst ab  $\pi$ , wo wirklich keine Spannung mehr anliegt, entlädt sich der Kondensator komplett bis zum Beginn der nächsten Periode.

Betrachtet man die Zweiweggleichrichterschaltung, so ist der Verlauf bis  $\pi$  ähnlich. Da hier aber der zweite Schwingungsbauch des Stromes ebenfalls in den zeitlichen Verlauf eingeht, ist hier schon das Minimum der Kurve. Ab dort wiederholt sich der Vorgang wie zwischen 0 und  $\pi$ . Die Scheitelspannung  $U_m$  ist stets konstant. Aus dem Verlauf dieser Kurven in Abbildung 2 sieht man, dass ein zeitlicher Mittelwert über die orangene Kurve auf jeden Fall größer ist als einer über die grüne Kurve, da ein Schwingungsbauch mehr verwertet wird und das Minimum höher sitzt. Deswegen liegt die orangene Kurve in Abbildung 1 über der grünen, da dort die gemessenen Mittelwerte aufgetragen sind.

Durch Regulierung des Widerstandes zeigt sich, dass sich orange und grüne Kurven stauchen bzw. strecken und auch das vermutete exponentielle Verhalten sich verändert. Bei hoher Belastung schmiegt sich die grüne Kurve an die rote, die orange an die blaue an, wie auch bei den Kennlinien. Bei geringen Strömen wird die Kurve glatter und geht schließlich gegen die Gerade aus Abbildung 4.

## 2.5 Berechnung der Maximalspannung $U_m$

Zur Ermittlung der Scheitelspannung werden sieben Messwerte verwendet, alle Messungen wurden im Leerlauf durchgeführt. Zuerst maß man den Effektivwert  $U_{\text{eff}}$  der vor den Dioden eingespeisten Wechselspannung, der sich aus der zeitlichen Mittelung einer quadrierten Periode ergibt. Hier errechnet sich die Scheitelspannung also zu

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}. \quad (5)$$

Danach erfolgen noch zwei weitere Messungen mit dem auf Wechselspannung geeichten Instrument und zwar für Einweg- und Zweiweggleichrichterschaltung ohne Kondensator, da hier die Form der Kurve näher an der Sinusform liegt. Für Zweiwegschaltung und zwei Schwingungsbäuchen pro Periode errechnet sich  $U_m$  wie in (5). Da bei der Einwegschaltung jedoch ein Schwingungsbauch weniger verwertet wird, halbiert sich der gemessene Effektivwert, sodass für die Scheitelspannung ein Wert von

$$U_m = 2\sqrt{2}U_{\text{eff}} \quad (6)$$

errechnet wird. Die verbleibenden Werte wurden mit dem auf Gleichspannung geeichten Instrument gemessen. Ist der Kondensator angeschlossen und der Laststrom verschwindend, so ist der zeitliche Verlauf der Spannung wie in Abbildung 4. Für den gemessenen Mittelwert gilt dann

$$U_m = \bar{U}. \quad (7)$$

Ist jedoch kein Kondensator angeschlossen, gelten für Ein- bzw. Zweiwegschaltungen die Gleichungen (2) bzw. (1). Die Fehlerfortpflanzung beschränkt sich auf die Multiplikation der Messunsicherheit mit dem jeweiligen Vorfaktor. In Tabelle 2.5 sind nun die Messwerte nebst Auswertung dargestellt.

| Schaltung                 | Messwert                                   | Beziehung | Maximalspannung $U_m$ [V] |
|---------------------------|--|-----------|---------------------------|
| Wechselspannung vor Diode | $U_{\text{eff}} = (7.4 \pm 0.3) \text{ V}$ | (5)       | $10.5 \pm 0.5$            |
| Einweg ohne Kondensator   | $U_{\text{eff}} = (3.4 \pm 0.3) \text{ V}$ | (6)       | $9.6 \pm 0.9$             |
| Zweiweg ohne Kondensator  | $U_{\text{eff}} = (6.8 \pm 0.3) \text{ V}$ | (5)       | $9.6 \pm 0.5$             |
| Einweg ohne Kondensator   | $\bar{U} = (3.1 \pm 0.3) \text{ V}$        | (2)       | $10 \pm 1$                |
| Zweiweg ohne Kondensator  | $\bar{U} = (6.2 \pm 0.3) \text{ V}$        | (1)       | $9.7 \pm 0.5$             |
| Einweg mit Kondensator    | $\bar{U} = (10.0 \pm 0.3) \text{ V}$       | (7)       | $10.0 \pm 0.3$            |
| Zweiweg mit Kondensator   | $\bar{U} = (10.0 \pm 0.3) \text{ V}$       | (7)       | $10.0 \pm 0.3$            |

Tabelle 1: Ermittlung der Scheitelspannung  $U_m$

Zuerst fällt auf, dass die ermittelten Scheitelspannungswerte konsistent sind. Allerdings fällt auf, dass er erste Wert im Gegensatz zu den anderen sehr hoch ist. Dies liegt vermutlich daran, dass der Spannungswert hier vor den Dioden gemessen wurde, sodass der Innenwiderstand selbiger noch keinen Einfluss auf die Messung hatte. Aufgrund der Vorfaktoren in den Formeln haben die Messwerte mit Kondensator natürlich die geringsten Unsicherheiten.

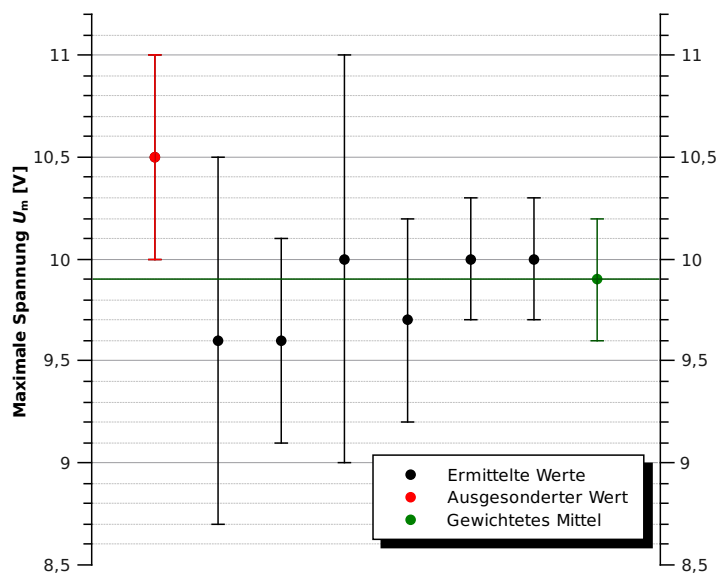


Abbildung 5: Messwerte und gewichtetes Mittel

In Abbildung 5 erkennt man, dass die ermittelten Scheitelspannungswerte konsistent sind und deswegen ein gewichtetes Mittel gebildet werden kann. Allerdings ist der aus der Wechselspannung ermittelte Wert aus genanntem Grund eigentlich nicht von Interesse, da die Scheitelspannung nach dem Gleichrichter (auch für spätere Verwendung) von Bedeutung ist. Deshalb wird das gewichtete Mittel ohne ihn gebildet. Als Endwert der Maximalspannung ergibt sich somit

$$\underline{\underline{U_m = (9.9 \pm 0.3) \text{ V.}}}$$



## 3 Diskussion

### 3.1 Fehlerdiskussion

Die Resultate liegen im erwarteten Bereich. Ein Vergleich der resultierenden Scheitelspannung mit dem Richtwert aus den Oszilloskopbildern zeigt auch hier Konsistenz, wobei man als Unsicherheit des Oszilloskopwertes als Größtfehlerabschätzung  $u_U = 0.2 \text{ DIV} \cdot 5 \text{ V} = 1 \text{ V}$  wählen kann. Die Messwerte der Spannung bekämen eine größere Sicherheit bei Verwendung eines digitalen Messgerätes mit geringerer relativer Unsicherheit.

Während des Messens fiel weiterhin eine Schwankung der Stromwerte im Zehntelmilliamperbereich auf. Dieser kam vermutlich aus dem Potenziometer, mit welchem das genaue Einstellen des Stromes erschwert wurde. Eine Auswechslung durch ein präziseres Potenziometer brächte hier wahrscheinlich genauere Ergebnisse. Weitere Widerstände wie Innenwiderstände von Messgerät und Oszilloskop wurden vernachlässigt, doch im Allgemeinen sollten diese wirklich vernachlässigbar sein. Auch eine gleichzeitige digitale Messung von Strom und Spannung bspw. am Computer würde Wertepaare präziser festlegen.

### 3.2 Effektivität der Gleichrichtermethoden

Wie man in der Auswertung sah, ist die mittlere bzw. effektive Spannung bei der Zweiweggleichrichterschaltung stets größer als bei Verwendung von nur einer Diode. Eine weitere Erhöhung dieser Spannung sowie Glättung des Stromes folgt durch das Hinzuschalten eines Kondensators und Verwendung von nur geringen Strömen.

Bei gleicher Eingangswchelspannung nähert man sich also bei einer Zweiweggleichrichterschaltung mit Kondensator mehr dem Ziel des Gleichstroms als bei einer Einwegschaltung an. Der Nachteil der Zweiwegschaltung ist, dass mehr Bauteile verwendet werden müssen. Eine Kalkulation zwischen benötigter Spannung und Kostenfaktor der Bauteile sollte bei einer industriellen Verwendung Aufschluss über die Wahl der Methode geben. Allerdings muss betont werden, dass eine Untersuchung anderer Schaltungen, wie z.B. bei der Greutzmethode, wahrscheinlich noch effizientere Ergebnisse liefern würde.

## 4 Literatur

- [1] Skript: „Physikalisches Grundpraktikum - Elektrodynamik und Optik“ von Dr. Uwe Müller, Berlin 2005
- [2] Skript: „Physikalisches Grundpraktikum - Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik“ von Dr. Uwe Müller, Berlin 2007

## A Datenprotokollierung während des Versuches