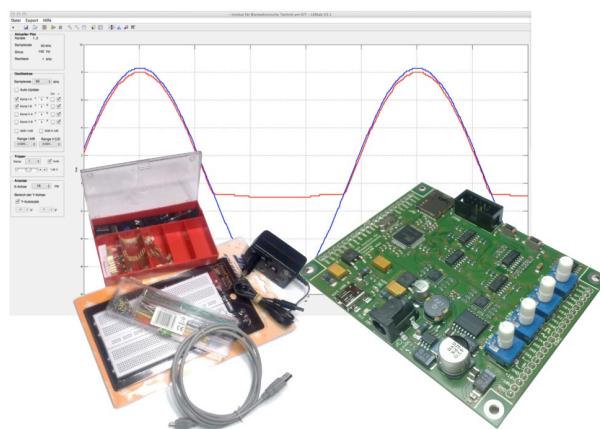


Kurs 1

Messwerterfassung und regenerative Energieerzeugung



Gruppe 156

Vorname	Nachname	Matrikel-Nr.	u-Account	E-Mail
Niklas	Fauth	1932872	utede	niklasfauth@gmx.de
Alexander	Häfner	1967540	uvefi	alexander.hfner@gmail.com
Moritz	Hoffmann	1931835	uders	moritz1@gmx.com

18. Dezember 2015

Abstract

Dies ist eine Dokumentation über den Workshop Elektrotechnik und Informationstechnik Kurs 1 Messwerterfassung und regenerative Energieerzeugung. Die Kursdurchführung mit Literaturrecherche, Aufgabenbearbeitung und Dokumentation erledigten Niklas Fauth, Alexander Häfner und Moritz Hoffmann. Die Dokumentation soll dabei an einem wissenschaftlichen Bericht angelehnt sein und beinhaltet die Thematik der Energiegewinnung und -speicherung in naher Zukunft, in welcher die fossilen Brennstoffe langsam zu Neige gehen. So berichtet diese Dokumentation über die aktuelle und zukünftige Einsatzmöglichkeiten von Photovoltaikzellen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
2 Literaturrecherche	4
2.1 Wie funktioniert die Gewinnung elektrischer Energie mit Hilfe von Photovoltaik?	4
2.2 Was versteht man unter dem Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle? . . .	4
2.3 Welche Möglichkeiten zur Speicherung von (regenerativ erzeugter) elektrischer Energie gibt es?	5
3 Maximum Power Point	6
3.1 Versuch	6
3.2 Ergebnis	8
3.3 Erklärung	8
3.4 MPP-Bestimmung im Wechselrichter	8
4 Langzeitmessung	10
4.1 Messaufbau	10
4.2 Ergebnis	12
5 Energiespeicherung	14
5.1 Berechnungen	14
5.1.1 Theorie zur Ladung und Entladung eines Kondensators mit Vorwiderstand	14
6 Vergleich Energiespeicher	15
6.1 Messaufbau	15
6.2 Ergebnis	17
6.3 Diskussion	19
7 Literaturverzeichnis	20

Arbeitsteilung

Name	Aufgabe
Alexander Häfner	2.0 Abstract und Einführung
Alexander Häfner	2.1 Literaturrecherche
Moritz Hoffmann	2.2 Bestimmung des Maximum-Power-Points
Niklas Fauth	2.3 Langzeitmessung
Moritz Hoffmann	2.4 Energiespeicherung
Niklas Fauth	2.5 Vergleich Photovoltaik mit und ohne Energiespeicher

1 Einleitung

Hintergrund für dieses wissenschaftliche Projekt ist unsere derzeitige Energieversorgung, die es zu revolutionieren gilt. Fossile Brennstoffe bilden derzeit unsere größte Energiequelle, doch sind sie endlich und werden früher oder später uns ausgehen. Erdöl zum Beispiel benötigen wir aber auch für Plastik. Deshalb müssen wir in vielen Bereichen unseres Zusammenlebens Alternativen finden und neue Strukturen aufbauen. Fossile Brennstoffe bilden auch derzeit eine starke Belastung für unsere Umwelt, der Klimawandel ist momentan ein globales Problem. Ein Ansatz für eine umweltfreundlichere Lösung als die fossilen Brennstoffe und die Atomenergie mit ihren schwer zu lagernden Abfall ist die Nutzung der Sonnenenergie. Deshalb widmen wir uns hier der Energieerzeugung durch eine Solarzelle. Wir schauen uns deren Eigenschaften und suchen nach einer optimalen Nutzung mit Zwischenspeicherung der Energie. Ziel soll dabei sein nach der Wissensansammlung mit einer Literaturrecherche eine Energieversorgungseinheit mit konstanter Leistungsabgabe zu bekommen.

2 Literaturrecherche

2.1 Wie funktioniert die Gewinnung elektrischer Energie mit Hilfe von Photovoltaik?

Photovoltaik, die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie, funktioniert mit in Reihe geschalteten Solarzellen in einem Solarmodul. In der Praxis werden Solarzellen aus mindestens einem Halbleiterelement gebaut. Die Siliziumzellen sind dabei die am meisten verbreiteten. Alternativen, an denen im Moment noch geforscht wird für einen höheren Wirkungsgrad, sind zum Beispiel die Farbstoffzellen (Grätzel-Zellen) als auch Organische Zellen. Die Solarzelle aus Silizium wird dann noch zusätzlich dotiert, es werden also Atome von anderen chemischen Elementen eingebaut, damit man einen positiven oder negativen Ladungsträgerüberschuss hat. So entsteht dann an zwei unterschiedlich dotierten Schichten ein p-n-Übergang mit einem elektrischen Feld. Die Photonen des Sonnenlichts lösen Ladungsträger von dem Siliziumkristall, welche durch das elektrische Feld an die äußeren Kontakte der Solarzelle befördert werden. Es entsteht eine kleine Spannung, die einen einstrahlungsbedingten Strom erzeugt.

2.2 Was versteht man unter dem Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle?

Der MPP einer Solarzelle ist der Arbeitspunkt, in dem diese die maximale Leistung abgibt. Die Leistung ist das Produkt aus Strom und Spannung, der Strom steigt mit der Bestrahlung, die Spannung fällt mit höherer Betriebsdauer, weshalb der MPP und der Innenwiderstand variiert. Man versucht immer die Solarzelle im MPP zu betreiben und muss so den Lastwiderstand mit

einer Schaltung immer wieder neu einstellen, damit dieser gleich dem Innenwiderstand ist und man im MPP somit arbeitet.

2.3 Welche Möglichkeiten zur Speicherung von (regenerativ erzeugter) elektrischer Energie gibt es?

Für die Speicherung von elektrischer Energie gibt es viele verschiedene Speichertechnologien mit entsprechend verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten. Die Speicherung kann in mechanischer Energie erfolgen (potentielle und kinetische), wo bei Energieüberschüssen Pumpspeicherwerk Wasser in ein höheres Lager pumpen oder Druckluftspeicher Luft komprimieren. Elektrische Energie gewinnt man wieder, wenn man die Luft wieder expandiert und das Wasser in ein niedrigeres Lager lässt und dabei Turbinen zwischenschaltet. Diese Speicherwerkzeuge bezeichnet man als Hochenergiespeicher, denn man kann Energie über längere Zeit speichern, aber nur geringe Leistungen in Verhältnis abgeben. Das Gegenteil dazu wären Hochleistungsspeicher, die über kurze Zeiten sehr hohe Leistungen abgeben, aber auch nur eine geringe Menge an Energie speichern können. Beispiele hierfür wären Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren und Supraleitende Spulen, die ihre Energie in Feldern speichern. Außerdem gibt es noch die Speicherung mit chemischer Bindungsenergie in elektrochemischen Prozessen. Akkumulatoren sind dabei Sekundärbatterien, die also wiederholt aufladbar sind. Man kann sie unterteilen, ob sie einen internen oder externen Speicher haben. Akkumulatoren mit internem Speicher gibt es sowohl als niedertemperatur Batterien für normale Temperaturbedingungen wie die Blei-Säure-Batterie und die Lithium-Ionen-Batterie, aber auch als hochtemperatur Batterien wie die Natrium-Schwefel-Batterie mit einer Betriebstemperatur von ca. 300 °C. Akkumulatoren mit externem Speicher wären Redox-Flow-Batterien, aber auch die Wasserstoffwirtschaft. So kann man einen Überschuss an Solarenergie auch dafür verwenden, dass Wasser mit einer Elektrolyse zu spalten. Den Wasserstoff kann man später neben der einfachen Verbrennung zu Wasser, um über Turbinen wieder Strom zu bekommen auch direkt als Wärmelieferant oder als Kraftstoff für zukünftige Wasserautos nutzen.

3 Maximum Power Point

3.1 Versuch

Die Bestimmung des MPP der Solarzelle wird im folgenden, wie in der Aufgabenstellung gefordert, mit drei verschiedenen Lichtquellen bestimmt.

Vorgende Quellen wurden verwendet:

- Halogen 77W
- Halogen 25W
- Glühbirne 50W

Die Messung der Leistung erfolgte über 10 Widerstandswerte, mit denen die Solarzelle belastet wurde.

Abbildung 1: Gemessene Messwerte

Aus den Gemessenen Spannungen wurde, mit Hilfe des Ohmschen Gesetz, die Leistung P [W] in Abhängigkeit von $R[\Omega]$ bestimmt.

Dazu wurde folgendes Matlab-Skript verwendet:

```

1 UQ1 = [1.03,2.45,3.01,4.50,5.02,5.01,5.30,5.41,5.50,5.54];
2 %Lichtquelle 1 [V]
3 UQ2 = [0.129,0.258,0.387,0.645,1.547,1.676,4,898,5.156,5.285,5.285];
4 %Lichtquelle 2 [V]
5 UQ3 = [1.85,3.23,4.13,5.6,5.672,5.672,5.828,5.801,5.801,5.801];
6 %Lichtquelle 3 [V]
7 R = [ 100, 220, 270, 470, 1000, 1200, 10000, 20000, 68000, 220000 ];
8 %Widerstandswerte [Ohm]
9
10 IQ1 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
11 %Strom Quelle 1 [A]
12 IQ2 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
13 %Strom Quelle 2 [A]
14 IQ3 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
15 %Strom Quelle 3 [A]
16
17 PQ1 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
18 %Leistung Quelle 1 [W]
19 PQ2 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
20 %Leistung Quelle 2 [W]
21 PQ3 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0];
22 %Leistung Quelle 3 [W]
23
24 %Strom Berechnen mit I=U/R
25 for i = 1 : 10
26     IQ1(i)=UQ1(i)*R(i);

```

```

27     IQ2( i )=UQ2( i )*R( i );
28     IQ3( i )=UQ3( i )*R( i );
29 end
30
31 %Leistung berechnen mit P=U*I
32 for i = 1 : 10
33     PQ1(i)=IQ1(i)*UQ1(i);
34     PQ2(i)=IQ2(i)*UQ2(i);
35     PQ3(i)=IQ3(i)*UQ3(i);
36 end
37
38 %Plotten von Strom, Spannung und Leistung
39 %Quelle 1
40 figure ( 1 );
41 subplot ( 1, 2, 1 );
42 plot ( IQ1, UQ1, LineWidth, 2 );
43 title ( I,U , Fontsize, 20 );
44 xlabel ( Strom [A],Fontsize, 15 );
45 ylabel ( Spannung [V], Fontsize, 15 );
46 subplot ( 1,2,2 );
47 plot ( PQ1, LineWidth, 2, Color, red );
48 title ( Leistung, Fontsize, 20 );
49 xlabel ( Messwert,Fontsize, 15 );
50 ylabel ( Leistung [W], Fontsize, 15 );
51
52 %Quelle 2
53 figure ( 2 );
54 subplot ( 1, 2, 1 );
55 plot ( IQ2, UQ2, LineWidth, 2 );
56 title ( I,U , Fontsize, 20 );
57 xlabel ( Strom [A],Fontsize, 15 );
58 ylabel ( Spannung [V], Fontsize, 15 );
59 subplot ( 1,2,2 );
60 plot ( PQ2, LineWidth, 2, Color, red );
61 title ( Leistung, Fontsize, 20 );
62 xlabel ( Messwert,Fontsize, 15 );
63 ylabel ( Leistung [W], Fontsize, 15 );
64
65 %Quelle 3
66 figure ( 3 );
67 subplot ( 1, 2, 1 );
68 plot ( IQ3, UQ3, LineWidth, 2 );
69 title ( I,U , Fontsize, 20 );
70 xlabel ( Strom [A],Fontsize, 15 );
71 ylabel ( Spannung [V], Fontsize, 15 );
72 subplot ( 1,2,2 );
73 plot ( PQ3, LineWidth, 2, Color, red );
74 title ( Leistung, Fontsize, 20 );
75 xlabel ( Messwert,Fontsize, 15 );
76 ylabel ( Leistung [W], Fontsize, 15 );

```

Diese Plots wurde erzeugt:

Im jeweils linken Schaubild der Messwerte ist die Spannung über dem Strom aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Kurve mit steigendem Strom immer weiter und steiler abfällt. Im jeweils rechten Schaubild ist die am Lastwiderstand abfallende Leistung aufgetragen. Es fällt auf das alle einen Hochpunkt bei verschiedenen Widerstandswerten haben.

3.2 Ergebnis

Folgende MPPs wurden gemessen:

Leuchtquelle 1: 470 Ohm

Leuchtquelle 2: 470

Leuchtquelle 3:

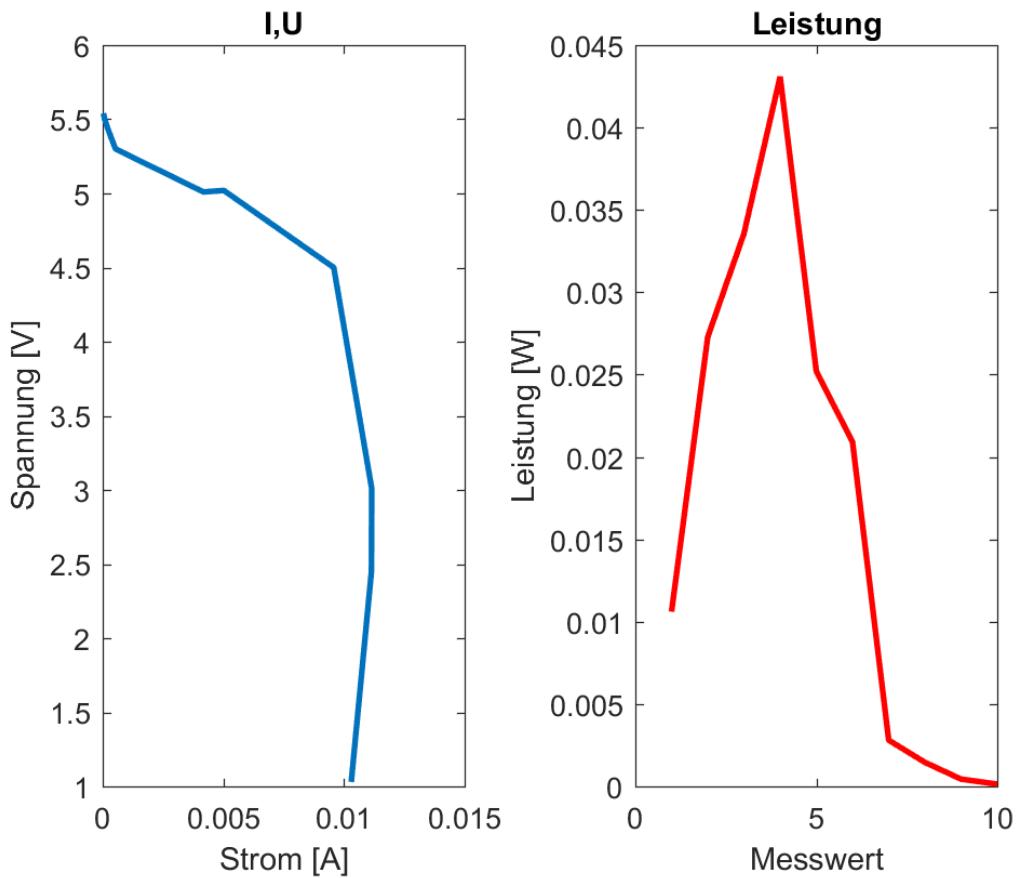
3.3 Erklärung

Auf der X-Achse der Leistungsgraphen ist der Index des Messwiderstandes aufgetragen. In den Hochpunkten der P-R-Graphen wird die meiste Leistung umgesetzt. Dieses Verhalten lässt sich mit dem Prinzip der Leistungsanpassung erklären. Die meiste Leistung wird übertragen, wenn der Innenwiderstand der Quelle gleich dem des Verbrauchers ist. Der Innenwiderstand der Solarzelle hängt von der Beleuchtungsquelle ab, deshalb liegen die Leistungs-Hochpunkte der Solarzelle bei den verschiedenen Lichtquellen an anderen Stellen.

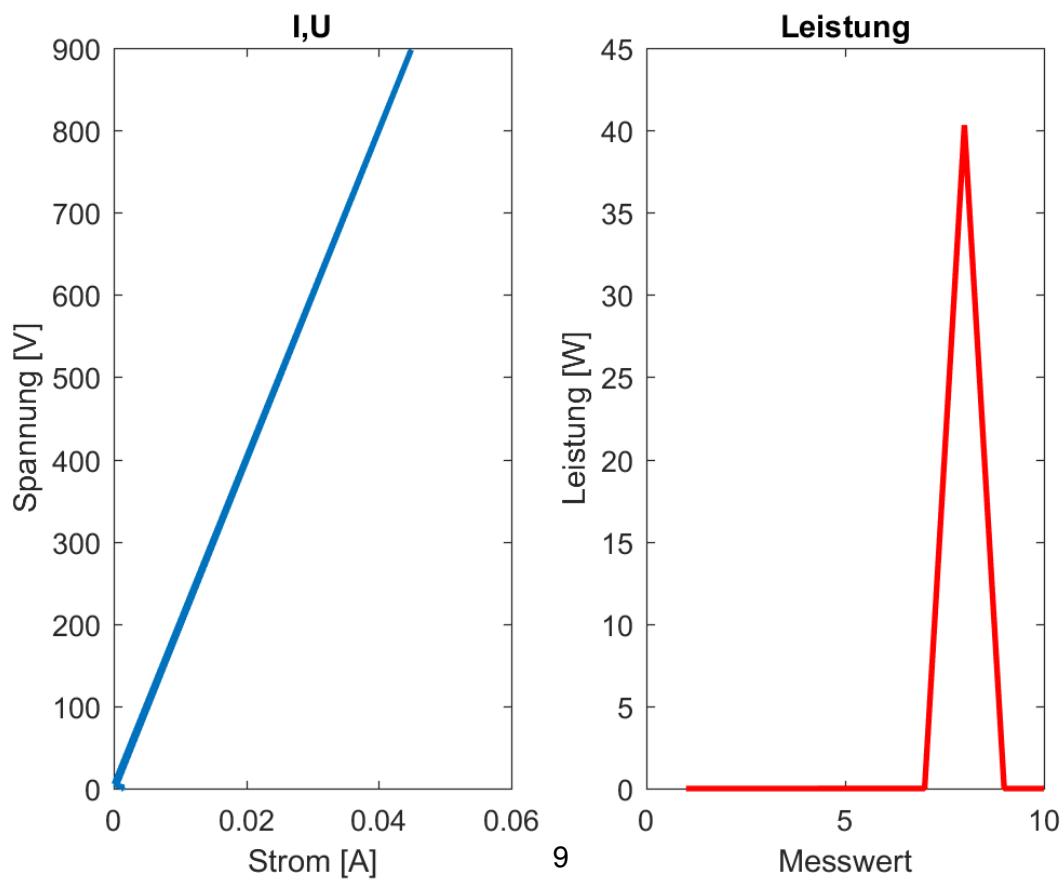
3.4 MPP-Bestimmung im Wechselrichter

Wechselrichter bzw. Inverter für Solaranlagen wandeln die von den Solarmodulen erzeugte Gleichspannung in eine 50Hz -Wechselspannung um, damit diese ins Stromnetz eingespeist werden kann. Um möglichst viel Energie aus der Solarzelle nutzen zu können, passen sie ihren Lastwiderstand dynamisch an die Licht- und Temperaturverhältnisse an, indem sie den aktuellen MPP der Solarzellen bestimmen.

Das meistgenutzte Verfahren zum MPP-Tracking ist das sogenannte Suchschwing-Verfahren. Theoretisch wäre ein möglichst häufiges MPP-Tracking wünschenswert, allerdings wird die Bestimmung des MPP ab einer gewissen Frequenz zu ungenau. Deshalb muss hier ein Kompromiss zwischen Messfrequenz und Genauigkeit getroffen werden.



(a) 77W Halogen



(b) 25W Halogen

4 Langzeitmessung

4.1 Messaufbau

Aus Neugierde wollten wir den Messaufbau nicht nur 2h, sondern mehrere Tage laufen lassen. Um dies zu ermöglichen und die Plattform stand-alone zuverlässig mehrere Tag laufen zu lassen sollte die Hardware neben dem LenLab-Board aus einem Raspberry Pi 2 bestehen. Um diesen nutzen zu können, musste jedoch zunächst LenLab für ARM kompiliert werden. Leider gab es dazu keine Dokumentation, sodass dies mehrere Tage in Anspruch nahm. Versorgt wird die Messstation via PoE (Power over Ethernet). Aus den 48V werden mittels Schaltwandler 12V und 5V erzeugt.



Abbildung 3: Wasserdichter Messaufbau.

Die Messstation wurde auf der Dachterrasse des HaDiKo Wohnheims platziert und über 30m LAN Kabel angebunden. Die Messung konnte via VNC gesteuert werden, außerdem stellte ein Apache Server bei Anfrage der IP einen aktuellen Screenshot des GUI bereit. Um den kleinen Arbeitsspeicher nicht unnötig zu füllen wurde ein Messintervall von 5s statt 1s gewählt. Nach drei Tagen mussten wir die Messung leider unerwartet beenden.

4.1 Messaufbau

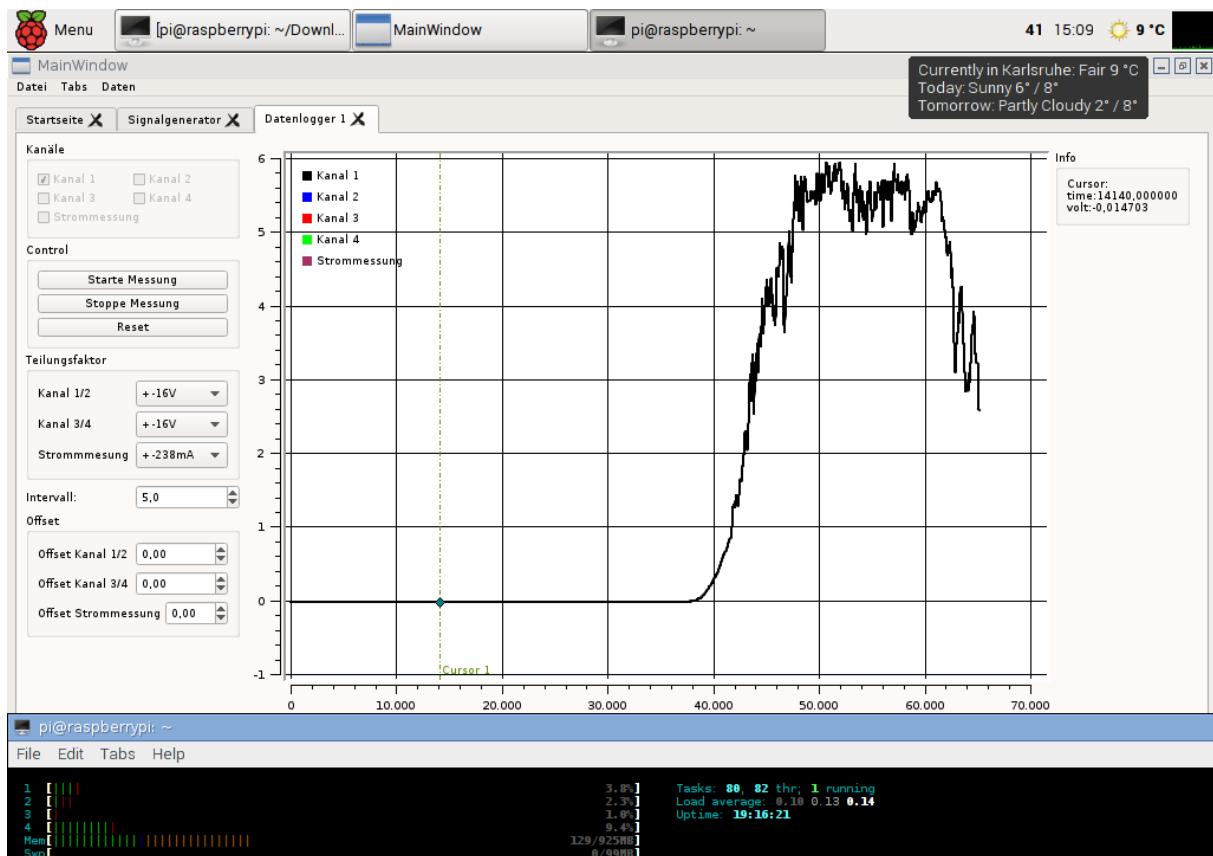


Abbildung 4: Weboberfläche der Messtation.

Die Messung wurde am 30.11. gegen 21Uhr gestartet. An den darauf folgenden Tagen gab es eher schlechtes Wetter, es war bewölkt und wenig sonnig.

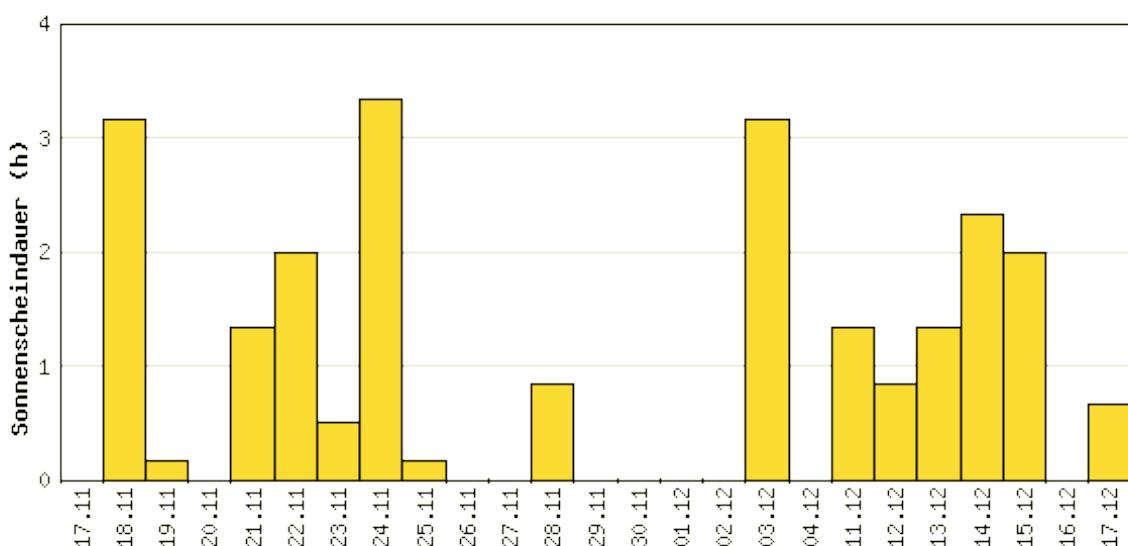


Abbildung 5: Sonnenstunden in Karlsruhe.

4.2 Ergebnis

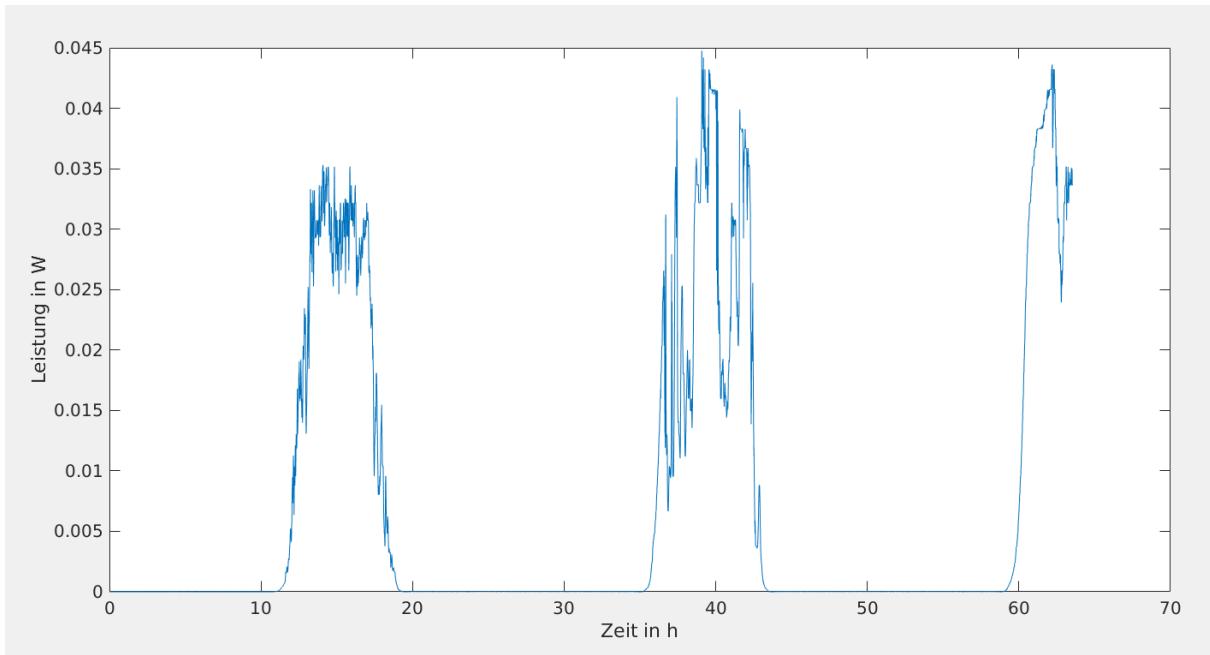


Abbildung 6: Leistungskurve über drei Tage.

Zu sehen ist die aufgezeichnete Leistungskurve. Diese ist nicht etwa gleichmäßig, sondern sehr sprunghaft: Durch äußere Einflüsse wie Wolken und Nebel schwankt die lokale Lichtstärke stark. Zwar wurde die Messung auf einem hohen Dach durchgeführt, sodass es nicht zu Schattenwürfen kam, doch auch diese können Einfluss auf die Energiegewinnung mittels Solaranlagen haben. Ein weiterer Faktor ist die Ausrichtung: In diesem Versuch wurde die Zelle flach montiert. Um die Effizienz zu steigern ist es möglich, die Solarzelle der Sonne nach auszurichten. Auch Dreck kann zum Problem werden. So können zum Beispiel Blätter die Zelle verdecken, oder Staub und Schmutz den Lichteinfall mindern.

4.2 Ergebnis

Nachfolgend der Quellcode des Skripts zur Berechnung. Die Messwerte wurden aus LenLab als Datei exportiert und in Matlab als Vektoren importiert.

```
1 interval = 5; % Measurement interval in s
2 lowerLimit = 15; % lower Limit in h
3 upperLimit = 17; % upper Limit in h
4 samples = length(timesec); % number of samples
5
6 % empty vector
7 P = linspace(0, samples, samples);
8
9 for i = 1 : samples
10    P(i) = (channel1V(i)^2)/1000; % calculate power
11 end
12
13 plot(timesec / 3600, P);
14 set(gca, 'FontSize', 15);
15 xlabel('Zeit in h');
16 ylabel('Leistung in W');
17 disp(sprintf('Maximalleistung: %.4gmW', max(P)*1000));
18 disp(sprintf('Gesamtenergie: %.4gmWh', trapz(P)/3600*1000*interval));
19 % creat subvector
20 Pint = P(lowerLimit * (60/interval) * 60 : upperLimit * (60/interval) * 60);
21 disp(sprintf('Im Intervall von %gh bis %gh: %.4gmWh', lowerLimit, upperLimit, ←
trapz(Pint)/3600*1000*interval));
```

Mit diesem Skript kann in einem beliebigen Intervall die erzeugte Energie bestimmt werden.
Konsolenausgabe:

```
Maximalleistung: 44.77mW
Gesamtenergie: 441.8mWh
Im Intervall von 15h bis 17h: 59.42mWh
```

Es wurden also an knapp drei Tagen ca. 1,6 kJ Energie im Widerstand umgesetzt. Von 12Uhr bis 14Uhr des 1.12.2015 wurden 216 J umgewandelt.

5 Energiespeicherung

5.1 Berechnungen

5.1.1 Theorie zur Ladung und Entladung eines Kondensators mit Vorwiderstand

Beim Laden und Entladen eines Kondensators entsteht immer ein Stromfluss, der mit der Verschiebung der Elektronen von einer Kondensatorhälfte zur anderen im Zusammenhang steht und somit von einem Maximalwert gegen Null mit der e-Funktion geht. Beim Laden des Kondensators nimmt dessen Spannung und Innenwiderstand zu, sodass beim Erreichen der Ladespannung U_{ges} man keinen Stromfluss mehr hat. Dabei steigt die Spannung erst sehr schnell, der Anstieg verlangsamt sich aber mit der Zeit, da das elektrische Feld dem Ladevorgang entgegen wirkt. Beim Entladen des Kondensator fließt der Strom in die andere Richtung und die Spannung am Kondensator baut sich auch hier erst schnell, dann immer langsamer ab. Die angelegte Spannung hat keinen Einfluss auf die Lade- und Entladezeit. Diese ist von dem Wert des Widerstands und des Kondensators abhängig und die Konstante aus dem Produkt R und C nennt man Tau. Nach einem Tau hat man den Kondensator bereits zu 63 Prozent geladen oder entladen, fünf Tau ist allgemein die gesamte Lade- und Entladezeit.

6 Vergleich Energiespeicher

6.1 Messaufbau

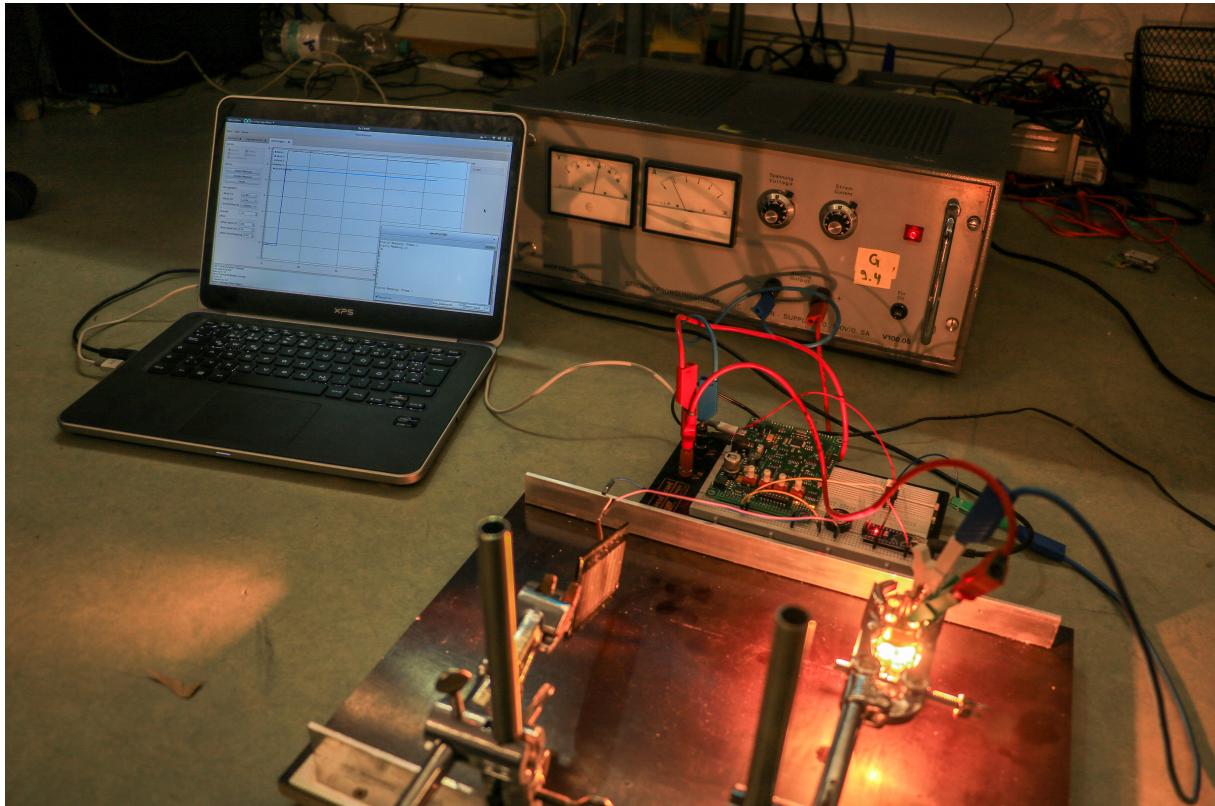


Abbildung 7: Messaufbau.

Für diesen Versuch wurde die Solarzelle in ca. 150mm Abstand von einer Glühlampe montiert. Bei dem Leuchtmittel handelt es sich um eine Projektorlampe mit Hohlspiegel, die auf die Zelle gerichtet ist. Die Solarzelle ist wie vorgeschrieben mit dem LenLab-Board verbunden, der Kondensator kann bei Bedarf zugesteckt werden. Die Lampe wird mit 60V Gleichspannung gespeist ($V_{nom} = 125V$) und kann mit einem N-FET IRF530 gesteuert werden. Mit einem Mikrokontroller ist es somit möglich das gegebene Helligkeitsprofil sekundengenau abzufahren und reproduzierbare Messergebnisse zu erzeugen. Mittels serieller Kommunikation wird außerdem die aktuelle Messphase ausgegeben. Um im Zweifelsfall die Schaltvorgänge nachvollziehen zu können, wird mit Kanal 2 des Messboards auch die Gatespannung geloggt. Verdunkelt wird der Aufbau neben ausgeschalteter Raumbeleuchtung mit einem Pappkarton.

6.1 Messaufbau

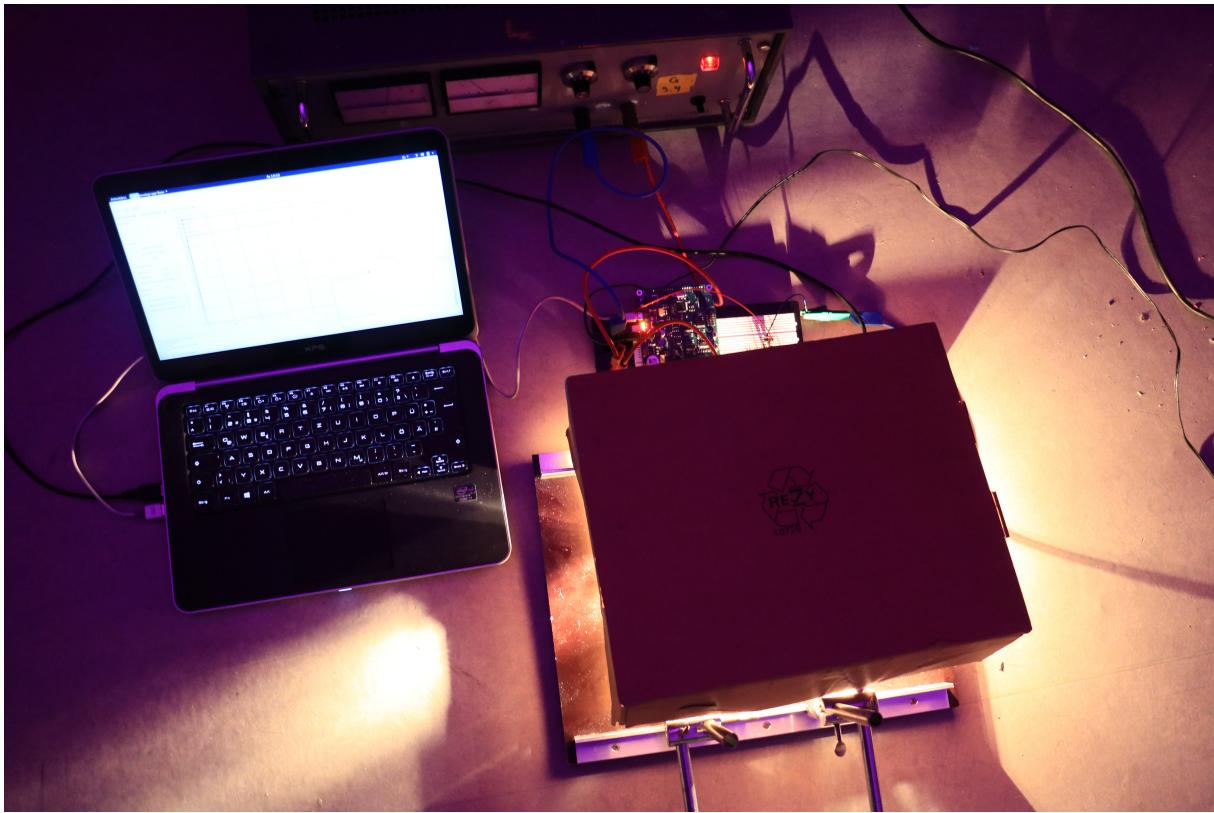


Abbildung 8: Verdunkelter Messaufbau.

Screenshot der Versuchsdurchführung (ohne Kondensator):

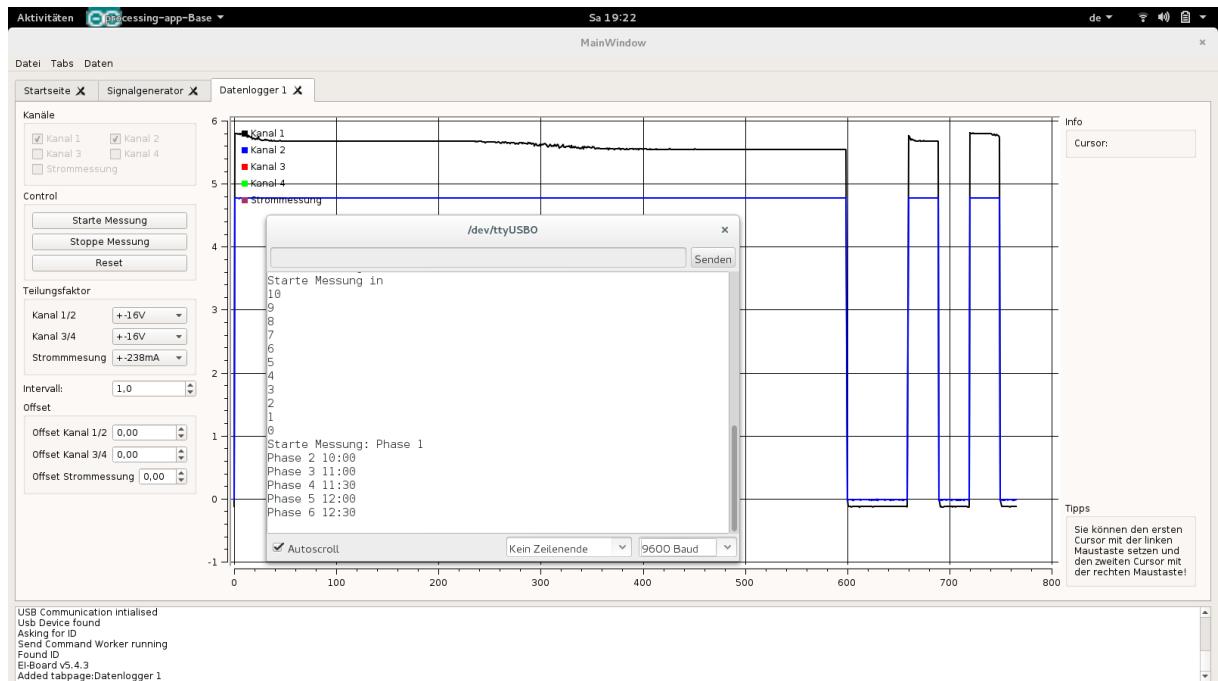


Abbildung 9: Kanal 1: Solarzelle; Kanal 2: Gatespannung MOSFET (HIGH = Lampe an).

6.2 Ergebnis

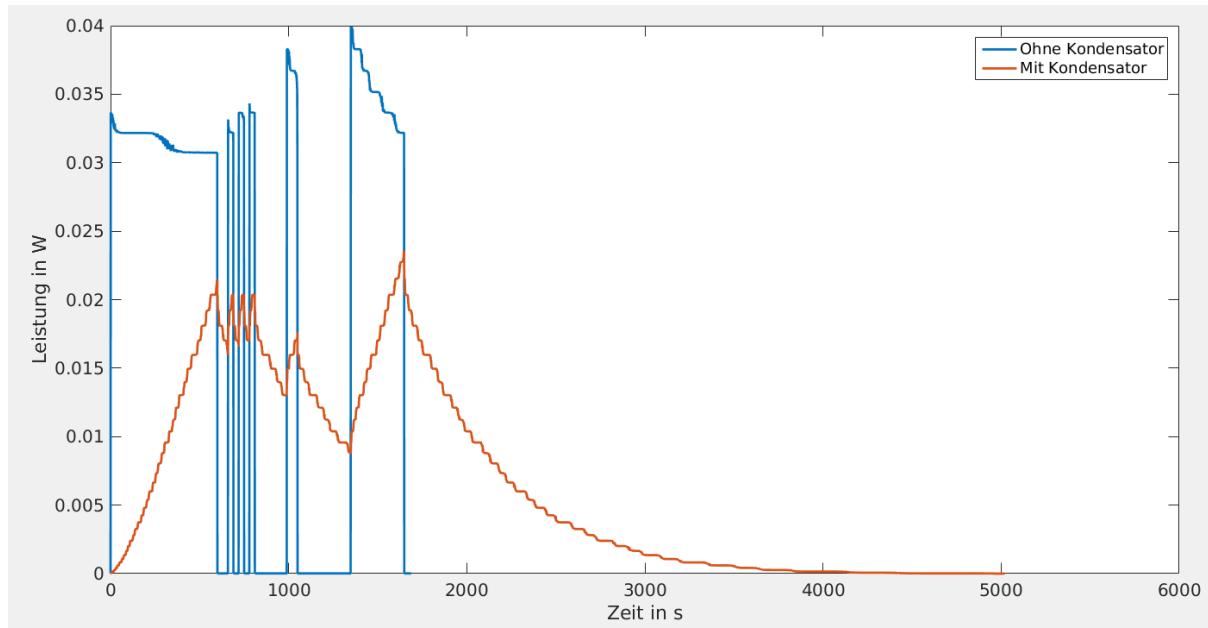


Abbildung 10: Leistungskurve mit und ohne Kondensator.

Hier zu sehen ist die Leistungskurve der beiden Messungen. Dabei fallen insbesondere zwei Dinge auf: Die Lade- und Entladekurven der Messung mit Kondensator sind sehr eckig, die Spannung verläuft sprunghaft. Die Ursache liegt wohl an der chemischen Besschaffenheit des Elektrolytkondensators. Internetrecherche brachte hierzu keine Ergebnisse. Die andere Aufälligkeit ist die Spannungs- und damit Leistungsamplitude bei der Messung ohne Kondensator. Diese ist bei eingeschaltetem Licht allgemein höher als die Kondensatorspannung, was sich dadurch erklären lässt, dass hier die Zelle nicht durch das Laden des Kondensators zusätzlich belastet wird. Demnach wäre aber auch zu erwarten, dass bei eingeschaltetem Licht die Amplitude konstant ist. Dies ist jedoch nicht der Fall. Im Verlauf der Messung nimmt diese tendenziell zu, während der Lichtbestrahlung nimmt sie jeweils lokal ab. Eine Ursache hierfür könnte in Temperaturschwankungen liegen. Eventuell wird die Solarzelle durch die Lampe so erhitzt, dass sich der Wirkungsgrad verändert. Eine weitere Erklärung wäre eine Veränderung der Lichtintensität aufgrund von Schwankungen der Lampe oder deren Spannungsversorgung.

6.2 Ergebnis

Nachfolgend der Quellcode des Skripts zur Berechnung. Die Messwerte wurden aus LenLab als Datei exportiert und in Matlab als Vektoren importiert.

```
1 interval = 1; % Measurement interval in s
2 samples = length(timesec1); % number of samples
3
4 % empty vector
5 Pcap = linspace(0, samples, samples);
6
7 for i = 1 : samples
8     Pcap(i) = (channel1V1(i)^2)/1000; % calculate power
9 end
10
11 disp(sprintf('Maximalleistung mit Kondensator: %.4gmW', max(Pcap)*1000));
12 disp(sprintf('Gesamtenergie mit Kondensator: %.4gmWh', trapz(Pcap)/3600*1000*interval));
13
14 samples = length(timesec); % number of samples
15
16 % empty vector
17 Pohne = linspace(0, samples, samples);
18
19 for i = 1 : samples
20     Pohne(i) = (channel1V(i)^2)/1000; % calculate power
21 end
22
23 plot(timesec, Pohne, timesec1, Pcap, 'LineWidth', 2 );
24 legend('Ohne Kondensator', 'Mit Kondensator')
25 set(gca, 'FontSize', 15);
26 xlabel('Zeit in s');
27 ylabel('Leistung in W');
28 disp(sprintf('Maximalleistung ohne Kondensator : %.4gmW', max(Pohne)*1000));
29 disp(sprintf('Gesamtenergie ohne Kondensator: %.4gmWh', trapz(Pohne)/3600*1000*interval));
```

Nun kann in einem beliebigen Intervall die erzeugte Energie bestimmt werden.

Konsolenausgabe:

```
Maximalleistung mit Kondensator: 23.57mW
Gesamtenergie mit Kondensator: 9.025mWh
Maximalleistung ohne Kondensator: 39.92mW
Gesamtenergie ohne Kondensator: 9.627mWh
```

6.3 Diskussion

Zwar unterscheidet sich wie schon erwähnt die Maximalleistung bei den zwei Messungen stark, die gewonnene Energie ist hingegen etwa gleich. Dies ist auch einleuchtend, da gemäß des Energieerhaltungssatzes in beiden Fällen die selbe Lichtenergie dem System zugeführt und entnommen wird. Der kleine Unterschied könnte sich durch die dynamische Effizienz der Solarzelle abhängig von der last ergeben: Bei konstanten 1kOhm last ist die Zelle näher an ihrem MPP als wenn sie zusätzlich mit einem Kondensator belastet wird.

Die Speicherung ist wohl das größte Problem der Energieerzeugung mittels Photovoltaik: Seltten wird die Energie wirklich dann benötigt, wenn die Sonne scheint. Es hängt von der Anwendung ab, ob die Energie teuer und verlustbehaftet gespeichert werden muss. Manche Anwendungen speichern die Energie bereits funktionsbedingt. So könnten gut Isolierte Kühlchränke tagsüber den Inhalt abkühlen und über die Nacht passiv kühl halten. Kritisch sind vor allem Anwendungen mit sehr unregelmäßigem und zeitkritischem Energiebedarf, beispielsweise das Laden eines Handys. Keiner will hier warten bis die Sonne scheint.

7 Literaturverzeichnis

Photovoltaik Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage Mit 288 Bildern und 33 Tabellen Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag
<http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/gewinnungumwandlung/solarenergie/photovoltaik/grundla>
<http://www.einspeiseverguetung.net/photovoltaik-technik.php> https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_P
<http://www.photovoltaik.org/wissen/maximum-power-point> <http://www.eurosolar.de/de/images/stor>
<http://www.boxer99.de/default.asp?Menue=307&Keyword=227&ArtikelPPV=20165>

Abbildung 5: Sonnenstunden in Karlsruhe

<http://www.karlsruhe.de/b3/wetter/31tage.de>

18.12.2015 4:58Uhr