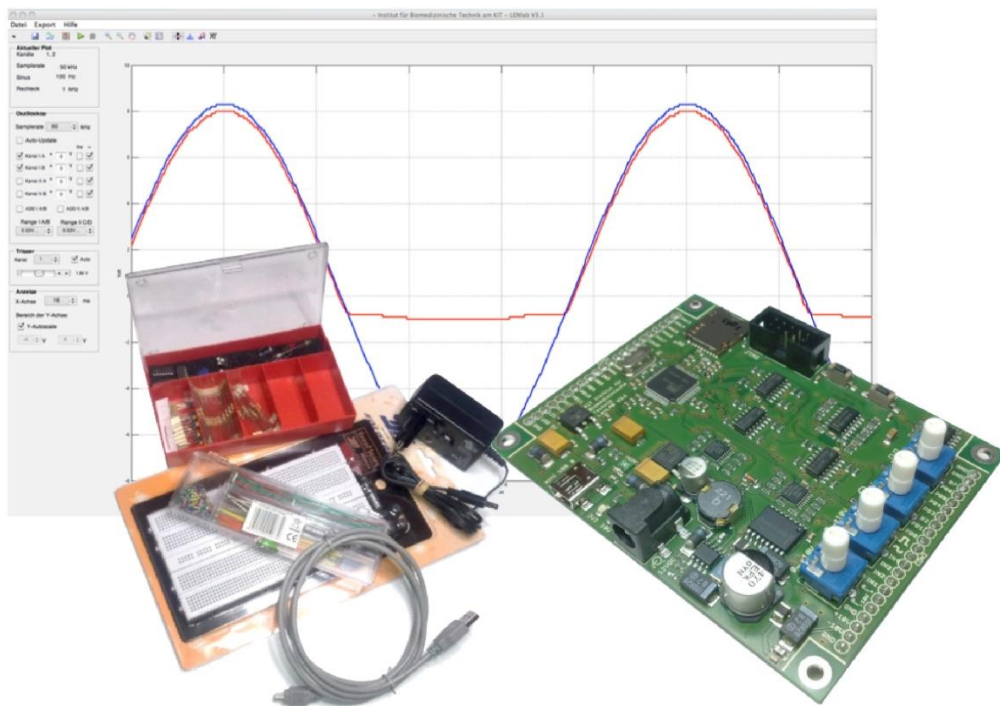


Kurs 1

Messwerterfassung und regenerative Energieerzeugung



Gruppe 15

Vorname	Name	Matrikelnummer	u-Account	E-Mail
Anselm	Scherr	2281170	unnkn	unnkn@student.kit.edu
Benedikt	Selle	2290660	uvrom	uvrom@student.kit.edu
Marius Jens	Kleinfeld	2281487	ufkuy	ufkuy@student.kit.edu

13.12.2019

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
1.1.Abstract.....	3
1.2.Literaturrecherche.....	4
2. Messreihen.....	6
2.1.Vermessung der Solarzelle POW112D2.....	6
2.1.1. Materialien und Methoden.....	6
2.1.2. Ergebnisse.....	7
2.1.3. Diskussion.....	13
2.2.Langzeitmessung.....	15
2.2.1. Materialien und Methoden.....	15
2.2.2. Ergebnisse.....	16
2.2.3. Diskussion.....	18
2.3.Energiespeicherung & Verhalten von Solarzellen.....	20
2.3.1. Materialien und Methoden.....	20
2.3.2. Ergebnisse	21
2.3.3. Diskussion.....	24
2.4.Vergleich Photovoltaik mit und ohne Energiespeicher.....	25
2.4.1. Materialien und Methoden.....	25
2.4.2. Ergebnisse	27
2.4.3. Diskussion.....	29
3. Zusammenfassung.....	30
4. Abbildungsverzeichnis.....	31
5. Literaturverzeichnis.....	32

1. Einleitung

1.1. Abstract

Zwei, drei oder vier Grad Celsius? Gemeint ist damit nicht die durchschnittliche Außentemperatur für den Dezember, sondern diese Werte stellen den derzeitigen Streitpunkt von Experten jeglicher Gebiete, der Weltpolitik und der Weltbevölkerung dar: Um wie viel Grad Celsius die Erderwärmung am Ende des 21. Jahrhunderts letztendlich ansteigen wird. Ganz im Gegenteil dazu vereinen sich die Meinungen weitgehendst, dass die überdurchschnittliche Erderwärmung für dieses Jahrhundert aus dem übermäßig stetigen Anstieg des CO₂ Ausstoßes der Weltbevölkerung resultiert.

Grund hierfür ist zum einen die immer größer werdende Nachfrage nach Energie und zum anderen die Art unserer Fortbewegung, vor allem ist hierbei der Ausstoß von CO₂ durch Antriebe mit fossilen Brennstoffen gemeint. Ebenfalls gewinnen wir unsere Energie aus fossilen Brennstoffen. Die dabei entstehenden Abfallprodukte sind unter anderem auch CO₂ sowie Methan etc., welche in unsere Atmosphäre geleitet werden und damit grundlegend durch den sogenannten Treibhauseffekt zu der Erwärmung und dem Klimawandel auf der Erde führen.

Die Lösung besteht darin mit erneuerbarer und regenerativer Energieerzeugung keine weiteren Emissionen (vor allem CO₂) auszustoßen und damit dem Ziel, die Erderwärmung auf einer konstanten Temperatur zu halten, ein Stück näher zu kommen. Möglichkeiten der emissionsfreien Energieerzeugung stellen unter anderem Atomkraftwerke, Wasserkraftwerke, Windräder und die Photovoltaik dar.

Nachteilig ist bei allen erneuerbaren Energien, außer der Photovoltaik, dass die Energiegewinnung nicht ohne „Zwischenprozesse oder verschleißanfällige mechanische Konverter“ [1, S. 31] ablaufen kann. Die Photovoltaik stellt hierbei die einzige erneuerbare Energiegewinnung ohne Zwischenprozesse dar, indem die Sonnenstrahlen direkt in elektrische Energie umgewandelt werden können. [1, S.31] Der Name kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „Lichtenergiequelle“.

1.2. Literaturrecherche

Eine solche Photovoltaikanlage besteht aus mehreren in Reihe geschalteten Solarzellen. Der Hauptbestandteil einer Solarzelle sind zwei kristalline Siliziumschichten. Die n-Dotierte Schicht ist hierbei die mit Phosphoratomen (fünfwertig) verunreinigte Schicht und hat somit ein Elektron zu viel, welche als Ladungsträger fundieren. Die andere Schicht wird hierbei mit Boratomen (dreiwertig) verunreinigt, wodurch diese p-dotiert wird, da sogenannte „Löcher“ bzw. „Defektelektronen“ entstehen. [2, S.71]

Da sich bekanntlich entgegengesetzte Ladungen anziehen und dadurch im Grenzbereich des „n⁺-Emitter“ und der „p-Basis“ [1, S.92], die überschüssigen Elektronen der n-Seite der Grenze von den Löchern der p-Seite der Grenze angezogen werden, entsteht ein elektrisches Feld- die Raumladungszone. [2, S.71] Das Diffundieren der Elektronen kommt nun zum Erliegen, da die Anziehungskräfte nicht mehr ausreichen, um das elektrische Feld zu durchqueren. Dies ist der pn-Übergang. [2, S.71]

Durch den Lichteinfall auf eine Solarzelle werden Photonen absorbiert und es bilden sich „durch den inneren Photoeffekt“ [2, S.71] sogenannte Ladungspaare („Elektronen-Loch-Paare“ [1, S.71]). Diese werden in der Raumladungszone getrennt. Die Solarzelle muss nun an beiden äußeren Seiten der Schichten angeschlossen werden. Bei den Handelsüblichen wird die Rückseite vollständig mit einer Metallplatte abgedeckt und auf der Vorderseite, die zur Sonne zeigt, werden einzelne Metallstreifen gelegt.

Der Strom, der an der Solarzelle abgenommen wird, heißt Photostrom I_{ph} und die Spannung heißt Photospannung U_{ph} .

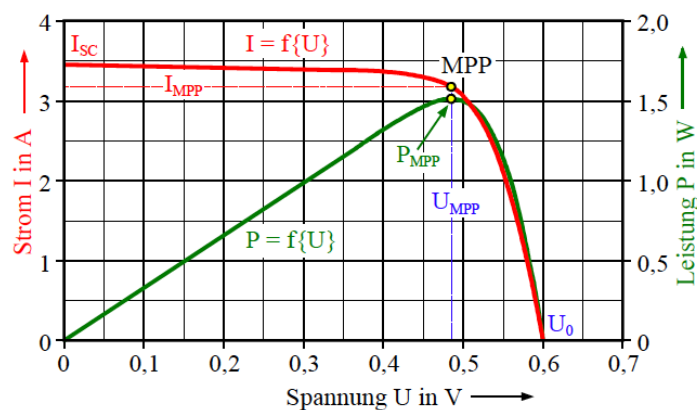


Abbildung 1: Typische I-U-Kennlinie (Quelle: <http://www.renewable-energy-concepts.com/german/sonnenenergie/solaranlage-solartechnik/solargenerator/u-i-kennlinie-solarmodul.html>, Aufgerufen am 3.12.19, 20:33Uhr)

Die oben gezeigte Solarzellenkennlinie ist typisch, da bei der Energieerzeugung zuerst ein Kurzschlussstrom I_k und dann eine Leerlaufspannung U_L auftritt, weil die Kurve ab einer bestimmten Spannung einbricht. Beide Werte hängen natürlich von den Eigenschaften der Solarzelle ab. Dieser Kurzschlussstrom I_k wird auch als „Short Circuit Current“ kurz I_{sc} . [1, S. 101] Dagegen kann die Leerlaufspannung U_L (oft auch U_{oc} für „Open Circuit Voltage“ [1,

S.101]) gemessen werden, wenn der Strom 0A beträgt. Außerdem gibt es noch den „Maximum-Power-Point“ (kurz MPP), an dem die Solarzelle, die meiste Leistung liefert **[1, S. 102]**. Die Leistung, die eine Solarzelle abgibt, hängt von vielen Faktoren ab, wie z.B. der Temperatur und Lichtintensität. Dadurch kann sich auch der MPP verschieben, sodass bei größeren Schaltungen MPP-Tracker verwendet werden [...]. Diese variieren mithilfe eines Algorithmus und eines DC/DC-Wandlers die Spannung, um den MPP zu bestimmen. (vgl. Mertens, S. 101, 199) Nach dem Gleichstromgesetz $P = U \cdot I$, kann man eine Spannung U_{MPP} und einen Strom I_{MPP} berechnen, an denen dieser Punkt erreicht wird. Anschaulich ist diese Leistung die Fläche nach der Multiplikation beider Werte.

Zur Speicherung des Solarstroms muss die Spannung durch einen DC/DC-Wandler **[1, S.233]** auf die notwendige Spannungsstärke gebracht werden. Damit die Akkus möglichst effizient und langlebig genutzt werden können, wird ein Laderegler **[1, S.233]** zwischen den DC/DC-Wandler und den Akku geschaltet. Außerdem verhindert dieser das Über- und Tiefentladen sowie das ungewollte Entladen des Akkus. Hierbei unterscheidet man zwischen dem „Lithium-Ionen-Akku“ **[1, S.242]**, der langlebig ist, sowie eine hohe Energiedichte hat und dem Blei-Säure-Akku **[1, S.232]**, der sich durch seine „erprobte Technologie“ und „kostengünstige Herstellung“ etabliert hat. **[1, S.250]**

2. Messreihen

2.1 Vermessung der Solarzelle POW112D2P

2.1.1 Materialien und Methoden

Bauteiltyp	Bezeichnung / Beschreibung	Wert
Zener-Diode	ZF 5,1; 5,1 V 0,5 W	$V = 5,1 \text{ V}$; $P = 0,5 \text{ W}$
Widerstände (Messreihe)	Kohleschichtwiderstände	Verschiedene Widerstandswerte; von 10 Ohm bis 4,6k Ohm, Fertigungstoleranz 5%
Stützkondensator	Keramikkondensator Code 104	$C = 100,0 \text{ nF}$
Widerstände (Spannungsteiler)	Kohleschichtwiderstände	2mal $R = 100\text{k Ohm}$, Fertigungstoleranz 5%
Steckbrett	Breadboard	
Drahtbrücke	Drahtbrücken-Set 140-teilig	
Solarzelle	SEED Studio POW 112D2P	$U = 5,5\text{V}$; $I = 4\text{mA}$
Lichtquellen	Leuchtstoffröhre, LED-Tischlampe, Halogen-Baustrahler	Leistung nicht bekannt; handelsübliche Modelle

Tabelle 1: Materialien für die Messung für Aufgabe 2.1.

Versuchsaufbau

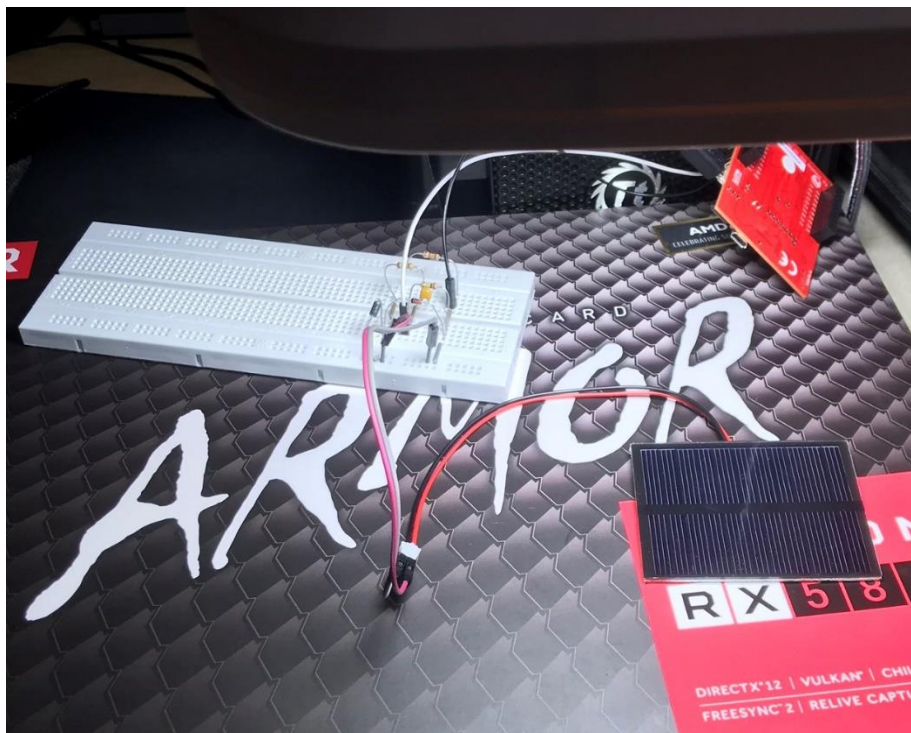
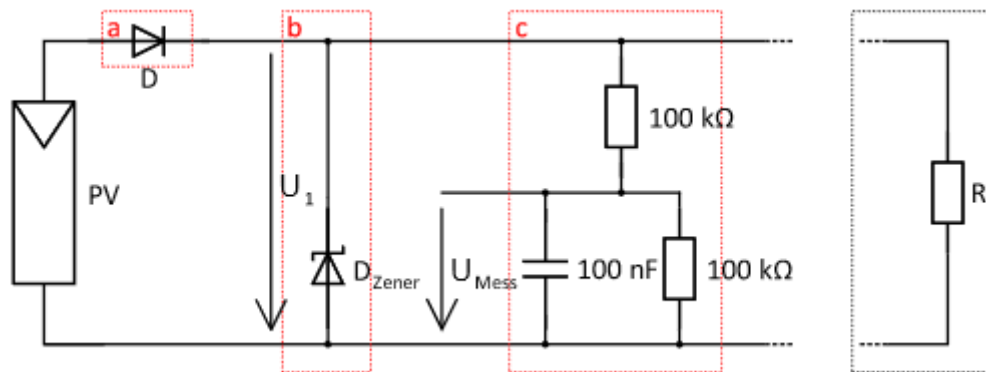


Abbildung 2: Bild zum Versuchsaufbau für Aufgabe 2.1.

Schaltplan



Schaltplan 1: Schaltplan für Aufgabe 2.1.

Die Solarzelle wurde mit drei Lichtquellen und elf Widerständen vermessen. Als Lichtquelle wurde erst eine Tischlampe mit Leuchtstoffröhren verwendet, eine handelsübliche LED-Tischlampe und danach ein Baustrahler mit Halogen-Leuchtbirnen. Aufgrund der verschiedenen Halterungen der Lichtquellen konnte kein einheitlicher Abstand zur Solarzelle festgelegt werden. Hierbei wurde auf eine gute Ausleuchtung und eine vernachlässigbare Abweichung der Abstände zwischen den Lichtquellen und der Solarzelle geachtet.

Ziel der Messungen ist es, abhängig von den Lichtquellen, jeweils die dazugehörige IU- und PU-Kennlinie zu messen und den Maximum-Power-Point (MPP) zu ermitteln.

2.1.2 Ergebnisse

Beobachtungen

Während der Messungen hat sich das Umgebungslicht teilweise verändert, jedoch sollte dessen Einfluss generell vernachlässigbar sein. Es wurde immer ca. 2 min lang gemessen, um Messfehler durch äußere schwankende Einflüsse zu verringern. Zudem schwankte die gemessene Spannung teilweise, sodass die Auswertung um einen Mittelwert diese Fehler minimiert. Mit dem Matlab-Skript [Aufgabe b)] wurde aus jedem Messwert der Mittelwert berechnet.

Aufgaben

Es folgen die Messergebnisse zusammen mit den ausgewerteten Spannungen, Strömen und Leistungen aus dem Matlab-Skript von Aufgabe b).

a)

Alle Messungen wurden bei Raumtemperatur durchgeführt.

Leuchtstoffröhre: 40W

Abstand zur Solarzelle: ca. 17cm

Winkel zur Solarzellenoberfläche: ca. 90°

Widerstand in Ohm	gemessene Spannung in Volt (Mittelwert)	Spannung der Photovoltaik Zelle in Volt	Strom in mA	Leistung in mW
10	0,0092	0,02	1,840092	0,033858
15	0,014400	0,03	1,920144	0,055300
100	0,068300	0,14	1,366683	0,186689
150	0,102900	0,21	1,373029	0,282569
220	0,150600	0,30	1,370597	0,412824
330	0,213100	0,43	1,293646	0,551352
460	0,311800	0,62	1,358770	0,847329
680	0,457500	0,92	1,350163	1,235399
1000	0,633000	1,27	1,272330	1,610770
1500	0,948100	1,90	1,273614	2,415027
4600	2,030900	4,06	0,903309	3,669060

Tabelle 2: Tabellarische Darstellung der Messung der Spannung und der Berechnung des Stroms und der Leistung in Abhängigkeit zu den Widerständen für die Leuchtstoffröhre

LED-Lampe: 12W

Abstand zur Solarzelle: ca. 15cm

Winkel zur Solarzellenoberfläche: ca. 90°

Widerstand in Ohm	gemessene Spannung in Volt (Mittelwert)	Spannung der Photovoltaik Zelle in Volt	Strom in mA	Leistung in mW
10	0,009700	0,02	1,940097	0,037638
15	0,013200	0,03	1,760132	0,046467
100	0,090800	0,18	1,816908	0,329950
150	0,133600	0,27	1,782669	0,476329
220	0,143100	0,29	1,302340	0,372730
330	0,291200	0,58	1,767760	1,029544
460	0,421300	0,84	1,835952	1,546973
680	0,401300	0,80	1,184307	0,950525
1000	2,257100	4,51	4,536771	20,479892
1500	0,879600	1,76	1,181596	2,078664
4600	2,023500	4,05	0,900018	3,642371

Tabelle 3: Tabellarische Darstellung der Messung der Spannung und der Berechnung des Stroms und der Leistung in Abhängigkeit zu den Widerständen für die LED-Lampe

Baustrahler (Halogen-Lampe): 300W

Abstand zur Solarzelle: ca. 23cm

Winkel zur Solarzellenoberfläche: ca. 90°

Widerstand in Ohm	gemessene Spannung in Volt (Mittelwert)	Spannung der Photovoltaik Zelle in Volt	Strom in mA	Leistung in mW
10	0,046000	0,09	9,200460	0,846442
15	0,067000	0,13	8,934003	1,197156
100	0,452600	0,91	9,056526	8,197967
150	0,678200	1,36	9,049449	12,274672
220	0,989000	1,98	9,000799	17,803581
330	1,460700	2,92	8,867334	25,905030
460	1,926800	3,85	8,396659	32,357366
680	2,227700	4,46	6,574336	29,291296
1000	2,423000	4,85	4,870230	23,601135
1500	2,505600	5,01	3,365856	16,866978
4600	2,577100	5,15	1,146249	5,907998

Tabelle 4: Tabellarische Darstellung der Messung der Spannung und der Berechnung des Stroms und der Leistung in Abhängigkeit zu den Widerständen für den Baustrahler (Halogen-Lampe)

b) **Matlab-Skript** zur Bestimmung von Mittelwert der gemessenen Spannung, der Spannung an der Solarzelle, dem Strom an der Solarzelle und der Leistung, die die Solarzelle liefert.

```
1 - mittelwerte = [mean(messung1.Kanal_1) mean(messung2.Kanal_1)
2 -               mean(messung3.Kanal_1) mean(messung4.Kanal_1) mean(messung5.Kanal_1)
3 -               mean(messung6.Kanal_1) mean(messung7.Kanal_1) mean(messung8.Kanal_1)
4 -               mean(messung9.Kanal_1) mean(messung10.Kanal_1) mean(messung11.Kanal_1)
5 -               mean(messung12.Kanal_1) mean(messung13.Kanal_1) mean(messung14.Kanal_1)
6 -               mean(messung15.Kanal_1) mean(messung16.Kanal_1) mean(messung17.Kanal_1)
7 -               mean(messung18.Kanal_1) mean(messung19.Kanal_1) mean(messung20.Kanal_1)
8 -               mean(messung21.Kanal_1) mean(messung22.Kanal_1) mean(messung23.Kanal_1)
9 -               mean(messung24.Kanal_1) mean(messung25.Kanal_1) mean(messung26.Kanal_1)
10 -              mean(messung27.Kanal_1) mean(messung28.Kanal_1) mean(messung29.Kanal_1)
11 -              mean(messung30.Kanal_1) mean(messung31.Kanal_1) mean(messung32.Kanal_1)
12 -              mean(messung33.Kanal_1)];
13
14 - widerstaende = [10 15 100 150 220 330 460 680 1000 1500 4600
15 -                10 15 100 150 220 330 460 680 1000 1500 4600
16 -                10 15 100 150 220 330 460 680 1000 1500 4600];
17
18 - spannung = mittelwerte * 2;
19
20 - strom = zeros(1, 33);
21 - for i = 1 : 33
22 -     strom(i) = 1/((200000*widerstaende(i))/(200000+widerstaende(i)))*spannung(i);
23 - end
24
25
26 - leistung = strom .* spannung;
27
28 - mittelwerte_Leuchtstoffroehre = mittelwerte(1:11);
29 - mittelwerte_LED Lampe = mittelwerte(12:22);
30 - mittelwerte_Baustrahler = mittelwerte(23:33);
31
32 - spannung_Leuchtstoffroehre = spannung(1:11);
33 - spannung_LED Lampe = spannung(12:22);
34 - spannung_Baustrahler = spannung(23:33);
35
```

```

36 - strom_Leuchtstoffroehre = strom(1:11);
37 - strom_LEDLampe = strom(12:22);
38 - strom_Baustrahler = strom(23:33);
39
40 - leistung_Leuchtstoffroehre = leistung(1:11);
41 - leistung_LEDLampe = leistung(12:22);
42 - leistung_Baustrahler = leistung(23:33);
43
44 - Maximum_Power_Point_Leuchtstoffroehre = max(leistung_Leuchtstoffroehre);
45 - Maximum_Power_Point_LEDLampe = max(leistung_LEDLampe);
46 - Maximum_Power_Point_Baustrahler = max(leistung_Baustrahler);
47
48 - fprintf('Maximum Power Point der Leuchtstoffröhre: %.4f mW bei 4600 Ohm.\n',
49 -         Maximum_Power_Point_Leuchtstoffroehre);
50 - fprintf('Maximum Power Point der LED-Lampe: %.4f mW bei 1000 Ohm.\n',
51 -         Maximum_Power_Point_LEDLampe);
52 - fprintf('Maximum Power Point des Baustrahlers: %.4f mW bei 460 Ohm.\n',
53 -         Maximum_Power_Point_Baustrahler);
54
55 - figure(1);
56 - plot(spannung_Baustrahler, strom_Baustrahler);
57 - yyaxis right;
58 - hold on;
59 - plot(spannung_Baustrahler, leistung_Baustrahler);
60 - line([3.85 3.85], [0 0.03236]);
61 - line([0 3.85], [0.03236 0.03236]);
62 - xlabel('Spannung in V');
63 - ylabel('Strom in A / Leistung in W');
64 - legend('IU-Kennlinie', 'PU-Kennlinie')
65 - title('IU-Kennlinie und PU-Kennlinie')

```

Code

```

mittelwerte = [mean(messung1.Kanal_1) mean(messung2.Kanal_1)
mean(messung3.Kanal_1) mean(messung4.Kanal_1) mean(messung5.Kanal_1)
mean(messung6.Kanal_1) mean(messung7.Kanal_1) mean(messung8.Kanal_1)
mean(messung9.Kanal_1) mean(messung10.Kanal_1) mean(messung11.Kanal_1)
mean(messung12.Kanal_1) mean(messung13.Kanal_1) mean(messung14.Kanal_1)
mean(messung15.Kanal_1) mean(messung16.Kanal_1) mean(messung17.Kanal_1)
mean(messung18.Kanal_1) mean(messung19.Kanal_1) mean(messung20.Kanal_1)
mean(messung21.Kanal_1) mean(messung22.Kanal_1) mean(messung23.Kanal_1)
mean(messung24.Kanal_1) mean(messung25.Kanal_1) mean(messung26.Kanal_1)
mean(messung27.Kanal_1) mean(messung28.Kanal_1) mean(messung29.Kanal_1)
mean(messung30.Kanal_1) mean(messung31.Kanal_1) mean(messung32.Kanal_1)
mean(messung33.Kanal_1)];

widerstaende = [10 15 100 150 220 330 460 680 1000 1500 4600 10 15 100 150
220 330 460 680 1000 1500 4600 10 15 100 150 220 330 460 680 1000 1500
4600];

spannung = mittelwerte * 2;

strom = zeros(1, 33);
for i = 1 : 33

```

```

    strom(i) =
1/((200000*widerstaende(i))/(200000+widerstaende(i)))*spannung(i);
end

leistung = strom .* spannung;

mittelwerte_Leuchtstoffroehre = mittelwerte(1:11);
mittelwerte_LED Lampe = mittelwerte(12:22);
mittelwerte_Baustrahler = mittelwerte(23:33);

spannung_Leuchtstoffroehre = spannung(1:11);
spannung_LED Lampe = spannung(12:22);
spannung_Baustrahler = spannung(23:33);

strom_Leuchtstoffroehre = strom(1:11);
strom_LED Lampe = strom(12:22);
strom_Baustrahler = strom(23:33);

leistung_Leuchtstoffroehre = leistung(1:11);
leistung_LED Lampe = leistung(12:22);
leistung_Baustrahler = leistung(23:33);

Maximum_Power_Point_Leuchtstoffroehre = max(leistung_Leuchtstoffroehre);
Maximum_Power_Point_LED Lampe = max(leistung_LED Lampe);
Maximum_Power_Point_Baustrahler = max(leistung_Baustrahler);

fprintf('Maximum Power Point der Leuchtstoffröhre: %.4f mW bei 4600
Ohm.\n', Maximum_Power_Point_Leuchtstoffroehre);
fprintf('Maximum Power Point der LED-Lampe: %.4f mW bei 1000 Ohm.\n',
Maximum_Power_Point_LED Lampe);
fprintf('Maximum Power Point des Baustrahlers: %.4f mW bei 460 Ohm.\n',
Maximum_Power_Point_Baustrahler);

figure(1);
plot(spannung_Baustrahler, strom_Baustrahler);
yyaxis right;
hold on;
plot(spannung_Baustrahler, leistung_Baustrahler);
line([3.85 3.85], [0 0.03236]);
line([0 3.85], [0.03236 0.03236]);
xlabel('Spannung in V');
ylabel('Strom in A / Leistung in W');
legend('IU-Kennlinie', 'PU-Kennlinie')
title('IU-Kennlinie und PU-Kennlinie')

```

Plot der IU- und PU-Kennlinie in Matlab

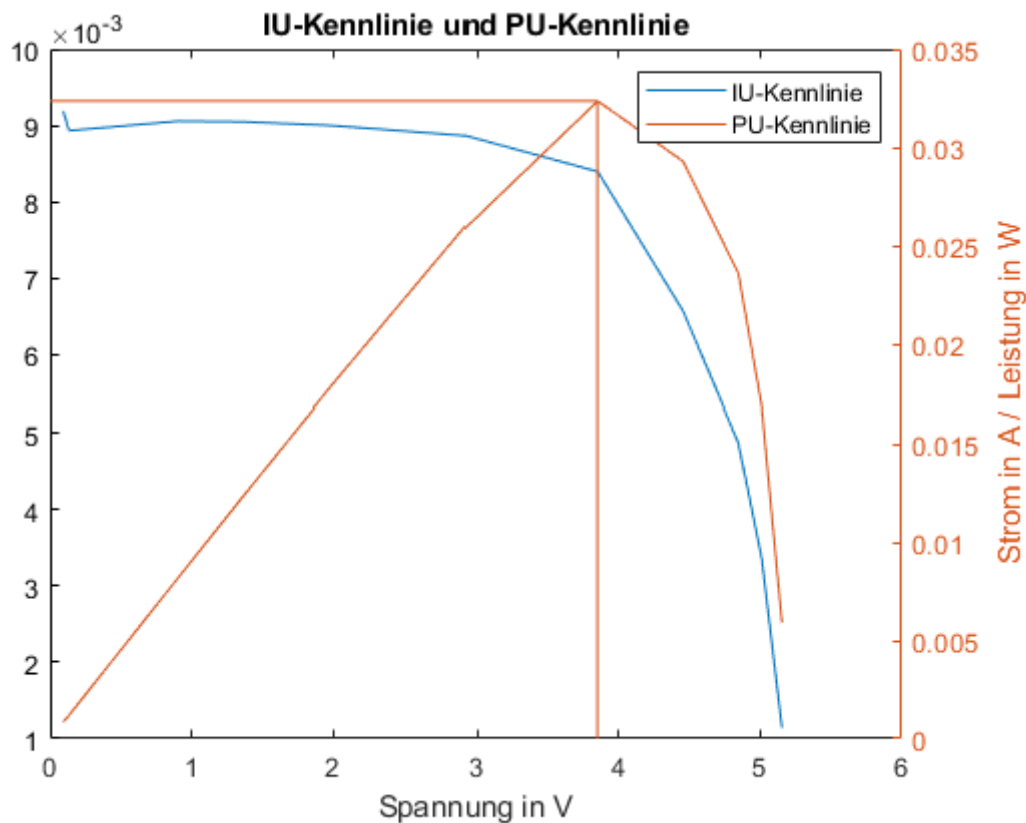


Abbildung 3: Graph der IU- und PU-Kennlinie für die Aufgabe 2.1.

c)

Der Solarwechselrichter wandelt den Gleichstrom der Solarzelle in einen möglichst sinusförmigen Wechselstrom, damit dieser synchron zur Netzfrequenz eingespeist werden kann. Gleichzeitig steuern die Wechselrichter auch den MPP, da durch die Verschattung sich dieser kontinuierlich verschiebt. Ein „schlauer“ MPP-Tracker durchläuft die PU-Kennlinie nicht nur bis zu einem lokalen Maximum, da auch mehrere MPP auftreten können. Der MPP sollte möglichst oft bestimmt werden, da potenziell die Leistung stark abnehmen kann. [vgl. 1, S. 102, 203, 316]

2.2.3 Diskussion

Wenn der Plot mit dem MPP und die Ergebnisse der anderen Lichtquellen betrachtet werden, ist erkennbar, dass der MPP stark von der Art und der Intensität der Lichtquellen abhängt. Die Kurve hat links und rechts vom MPP eine betragsmäßig große Steigung. Wenn man die Grafik mit der typischen IU-Kennlinie vergleicht, kann man erkennen, dass der MPP und die IU-Kennlinie relativ weit auseinander sind. Diese Fläche, die sich zwischen dem Rechteck am MPP und der Leerlaufspannung multipliziert mit dem Kurzschlussstrom bildet, nennt man Füllfaktor. Desto

kleiner dieser Faktor ist, desto „hochwertiger“ ist die Solarzelle. Je nach Typ, Lichtintensität, Temperatur und Abstand zur Lichtquelle verschiebt sich der MPP. Dadurch lässt sich auch erklären, dass bei großen Solaranlagen der MPP so häufig wie möglich bestimmt werden sollte, damit die Solarzellen die maximale Leistung liefern können.

Die PU-Kennlinie des Baustrahlers ist bis zum MPP annähernd linear, fällt jedoch schnell wieder ab. Bei der LED-Lampe scheint bei 680 Ohm ein Messfehler vorgefallen zu sein. Außerdem scheint der Wert für 1000 Ohm etwas zu hoch, dies lässt sich aber bei nur einer Messreihe nicht beweisen. Man müsste Messungen mit Widerständen um 1000 Ohm streuen, um eine eindeutige Aussage zu treffen. Bei der Leuchtstoffröhre konnte kein Maximum der Kurve im Bereich von 10 – 4600 Ohm bestimmt werden, allerdings lässt sich feststellen, dass bis 4600 Ohm die Kurve annähernd linear monoton steigend verläuft.

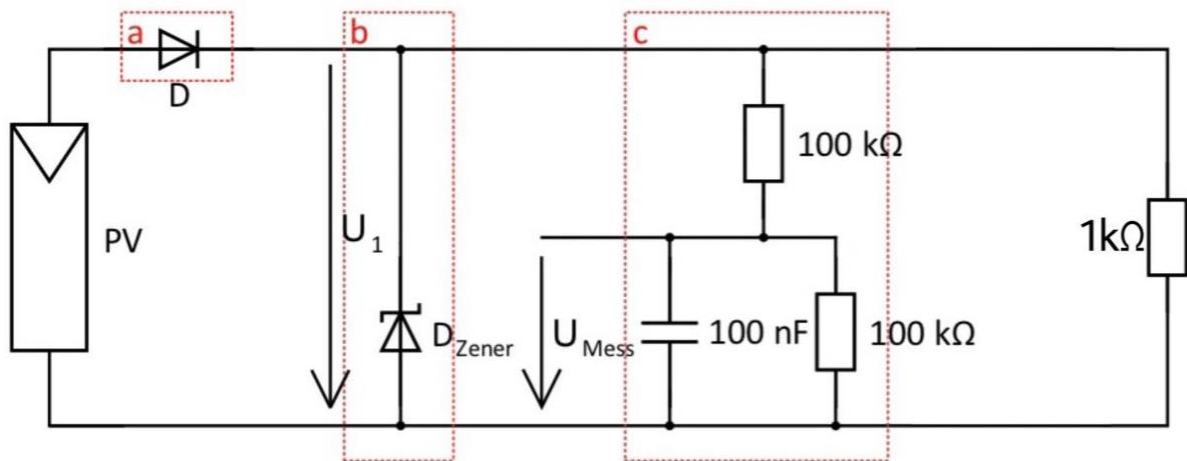
2.2. Langzeitmessung

2.2.1. Materialien und Methoden

Bauteiltyp	Bezeichnung / Beschreibung	Wert
Solarzelle	SEED Studio POW112D2P	$U_{oc} = 5,5V$, $I_{sc} = 4mA$ bei 5 klx
Zener-Diode	ZF 5,1; 5,1V 0,5W	$V = 5,1V$; $P = 0,5W$
Stützkondensator	Keramikkondensator Code 104	$C = 100,0nF$
Widerstand	Kohleschichtewiderstand	$1k\Omega$ - $100k\Omega$; 0,25W; 5%
Steckbrett	Breadboard	
Drahtbrücke	Drahtbrücken-Set 140-teilig	

Tabelle 5: Materialien für die Aufgabe 2.2.

Zugehöriger Schaltplan zur Langzeitmessung:



Schaltplan 2: Schaltplan zu Aufgabe 2.2.

Der Versuchsaufbau ist identisch mit dem aus Aufgabe 2.1. Vermessung der Solarzelle POW112D2. Bei dieser Messung wurde die Spannung über einem Widerstand von $1k\Omega$ über zwei Stunden im Freien gemessen und damit die Energie, die erzeugt wurde, berechnet.

Wetterlage am Mittwoch den 04.12.2019:

Die in dieser Aufgabe dargestellte Messung, wurde am 04.12.2019 von 12:23 bis 14:23 auf der Rasenfläche vor dem AUDIMAX des KIT durchgeführt. Die Temperatur betrug an diesem Tag ca. 7 Grad Celsius. In dem gemessenen Zeitraum war der Himmel wolkenlos und die Solarzelle war dadurch die vollen zwei Stunden der Sonne ausgesetzt. Gegen Ende der Messung nahm die Sonnenintensität ein wenig ab, die diese langsam hinter dem alten Stadion auf dem KIT Gelände verschwand. Die Solarzelle wurde allerdings immer noch direkt von der Sonne bestrahlt.

2.2.2. Ergebnisse

Matlab-Skript:

```
1 - R = 1000;
2 - R_ges = (R*200000)/(R+200000);
3
4   %Berücksichtigung des Messens mit Spannungsteiler
5 - U_ges = Langzeitmessung.Kanal_1*2;
6
7   %Plotten des Spannungsverlaufs in einem U(t)-Diagramm
8 - figure()
9 - plot(Langzeitmessung.Zeit,U_ges)
10 - xlabel('Zeit in s')
11 - ylabel('Spannung in V')
12 - title('Spannungsverlauf')
13
14   %Berechnung der Leistung P für jeden Zeitpunkt anhand des Punktopoperators
15 - P = U_ges.^2/R_ges;
16
17   %Berechnung, mit Hilfe des Integrals, der in dem Zeitraum P(t) insgesamt
18   %erzeugten Energie E_ges
19 - E_ges = trapz(P);
20
21   %Plotten des Leistungsverlaufes in einem P(t)-Diagramm
22 - figure()
23 - plot(Langzeitmessung.Zeit,P)
24 - xlabel('Zeit in s')
25 - ylabel('Leistung in W')
26 - title('Leistungsverlauf')
```


Der Spannungsverlauf im $U(t)$ -Diagramm

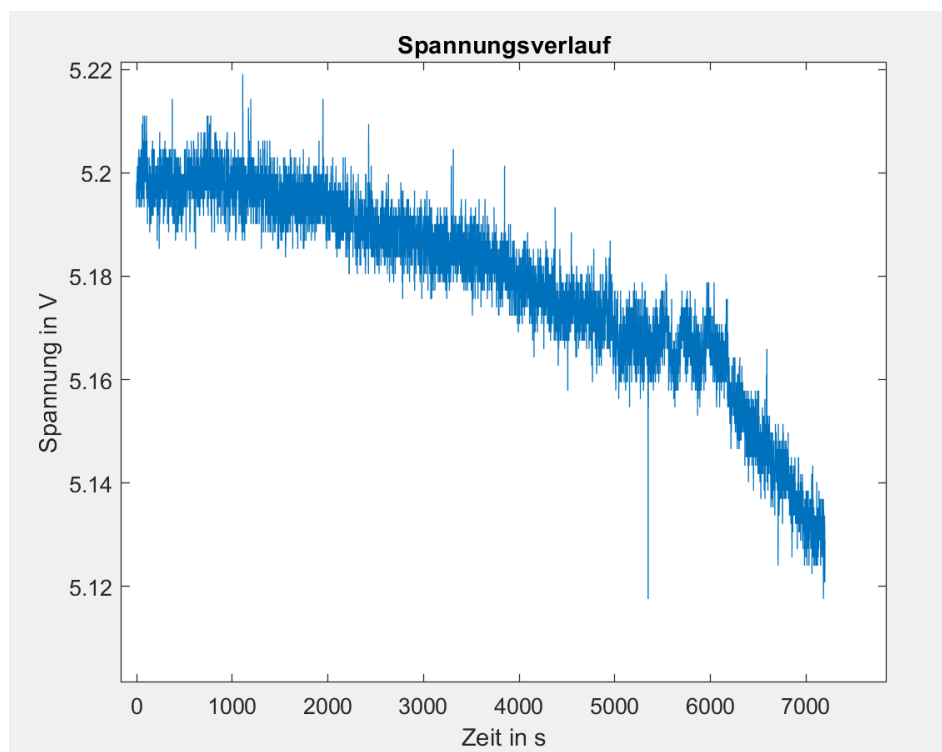


Abbildung 4: $U(t)$ -Diagramm der Langzeitmessung

Der Leistungsverlauf im $P(t)$ -Diagramm

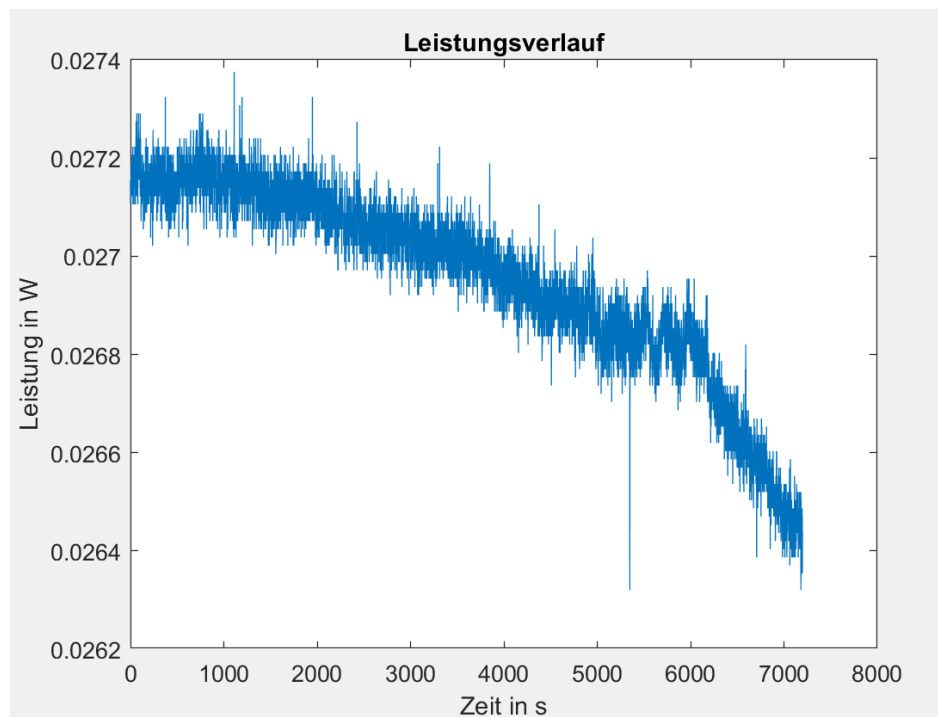


Abbildung 5: $P(t)$ -Diagramm der Langzeitmessung

Über das Integral der Leistungskurve erhält man durch MATLAB den Wert für die Energie $E_{\text{Ges}}=194,0417$

Damit beträgt die erzeugte Energie über zwei Stunden durch die Solarzelle ca. 194 Joule.

Beobachtung:

Die Messdaten zeigen, dass die Solarzelle über fast den ganzen Zeitraum die Maximalspannung und damit die Maximalleistung geliefert hat. Die Werte bewegen sich bei der Spannung in einem Intervall von 5,12 Volt und 5,22 Volt und bei der Leistung in einem Intervall von 0,0263 Watt und 0,0274 Watt. Erst ab Sekunde 6000 ist die Spannungs- und Leistungskurve etwas deutlicher gefallen. Die beiden Graphen beinhalten einen kurzfristigen Abfall der Spannung und der Leistung bei Sekunde 5349.

2.2.3. Diskussion

In der oben aufgeführten Messung gibt es ungefähr ab Sekunde 6000 einen etwas deutlicher dennoch nicht beträchtlichen Abfall der Spannung bzw. Leistung, welcher aufgrund des zunehmend geringeren Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zustande gekommen ist. Der kurzfristige Spannungs- und Leistungsabfall bei Sekunde 5349 und der direkt darauffolgende Anstieg ist als Messfehler zu betrachten, wobei die Ursache nicht erkennbar war.

Schätzung der erzeugten Energie im Hochsommer:

Unter Vorbehalt, dass die bei der Messung maximal zumessende Spannung 5,1 Volt beträgt und dieser Wert in der durchgeführten Messung erreicht wurde, ist zu schlussfolgern, dass der Maximalwert der erzeugten Energie durch die benutzte Solarzelle erreicht wurde. Zu erwähnen ist allerdings, dass die Sonne durchgehend die Solarzelle bestrahlt hat und nie durch Wolken bedeckt wurde und dies eher unüblich für die Wintermonate ist. Außerdem wurde der Ort der Messung von uns so gewählt, dass die Sonne trotz Erddrehung und dem im Winter niedrigen Sonnenstand einen möglichst geringen Einfluss auf die Messung haben. Denn aufgrund des verfrühten Sonnenuntergangs können etwaige Objekte wie hohe Gebäude oder Bäume die Sonneneinstrahlung punktuell beeinflussen und somit würde die erzeugte Energie niedriger ausfallen.

Damit stellt sich auch die Frage **wodurch die Energiegewinnung mit Solarzellen beeinträchtigt werden kann und auf was bei der Aufstellung von Solarmodulen zu achten ist.** Hierbei spielt vor allem das Wetter, die Ausrichtung und der Standort eine Rolle. Bei Solarmodulen, die auf Dächern platziert werden, sollten keine Objekte unmittelbar Schatten auf diese werfen und so dass die Oberfläche nicht verunreinigt wird. Im Winter hingegen ist es bei Schneefall nicht zu verhindern, dass die Oberfläche bedeckt wird und somit bei erneuter Sonneneinstrahlung erst der Schnee schmelzen muss. Nicht zu verhindernde Beeinträchtigungen stellen Wolken dar. Daher erzeugen Solarmodule, die an äquatornahen Gebieten stehen mehr Energie als solche die in gemäßigten Klimazonen stehen. Auf Dächern

sollten diese auf der am längsten zur Sonne gerichteten Seite installiert werden, sowie auf der, die zum höchsten Sonnenstand, bestrahlt wird.

2.3 Energiespeicherung & Verhalten von Solarzellen

2.3.1 Materialien und Methoden:

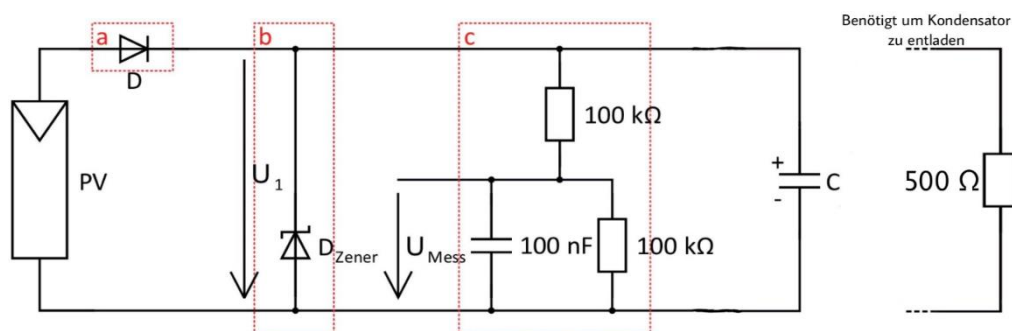
Bauteiltyp	Bezeichnung / Beschreibung	Wert
Zener-Diode	ZF 5,1; 5,1 V 0,5 W	$V = 5,1 \text{ V}$; $P = 0,5 \text{ W}$
Speicherkondensator	Panasonic 5,5 V 220 mF	$V = 5,5 \text{ V}$; $C = 220,0 \text{ mF}$
Stützkondensator	Keramikkondensator Code 104	$C = 100,0 \text{ nF}$
Widerstand	Kohleschichtwiderstände	$1 \text{ k}\Omega \parallel 1 \text{ k}\Omega$; 5% $1 \text{ k}\Omega$ - $100 \text{ k}\Omega$; $0,25 \text{ W}$
Steckbrett	Breadboard	
Drahtbrücke	Drahtbrücken-Set 140-teilig	
Solarzelle	SEED Studio POW 112D2P	$U = 5,5 \text{ V}$; $I = 4 \text{ mA}$
Speicherkondensator		$C = 0,22 \text{ F}$

Tabelle 6: Materialien für Aufgabe 2.3.

Versuchsaufbau:

Es wurde eine 50 Watt starke Nachttischlampe benutzt. Der Abstand wurde auf 23 cm festgelegt und der Winkel betrug 90° zur Solarzelle.

Die gemessene Leerlaufspannung beträgt 2,51V. Der Kondensator wurde vorerst entladen, um eine genauere Messung durchführen zu können. Danach wurde der Kondensator in einem abgedunkelten Raum ohne Lastwiderstand geladen. Nachdem er geladen war, wurde die Lampe ausgeschaltet und der Lastwiderstand wurde nach Schaltplan angebracht.



Schaltplan 3: Schaltplan zu Aufgabe 2.3.

2.3.2. Ergebnisse

MATLAB-Skript

```
1      %%Kondensator entladen
2      U = zeros(996,1);
3      i = 1;
4
5      while i < 997
6          U(i) = KEntladen.Kanal_1(i)*2;
7          i = i+1;
8      end
9
10     It = 0.22*diff(U);
11
12     for j=1 :995
13         P1(j)=It(j)*U(j);
14         j=j+1;
15     end
16     KondensatorEntladen=trapz(P1)
17
18     %%Kondensator Laden
19     U2 = zeros(567,1);
20     k = 1;
21
22     while k < 568
23         U2(k) = KLaden.Kanal_1(k)*2;
24         k = k+1;
25     end
26
27     It2 = 0.22*diff(U2);
28
29     for j=1 :566
30         P2(j)=It2(j)*U2(j);
31         j=j+1;
32     end
33     KondensatorLaden=trapz(P2)
34
35     %%Wirkungsgrad
36     Wirkungsgrad= -KondensatorEntladen/KondensatorLaden
37     %%Plot der Graphen.
38     figure();
39     plot(U)
40     title('Entladen des Kondensators');
41     ylabel('U [V]');
42     xlabel('t [s]');
43     hold on
44     figure();
45     plot(U2)
46     title('Laden des Kondensators');
47     ylabel('U [V]');
48     xlabel('t [s]');
49     hold on
```

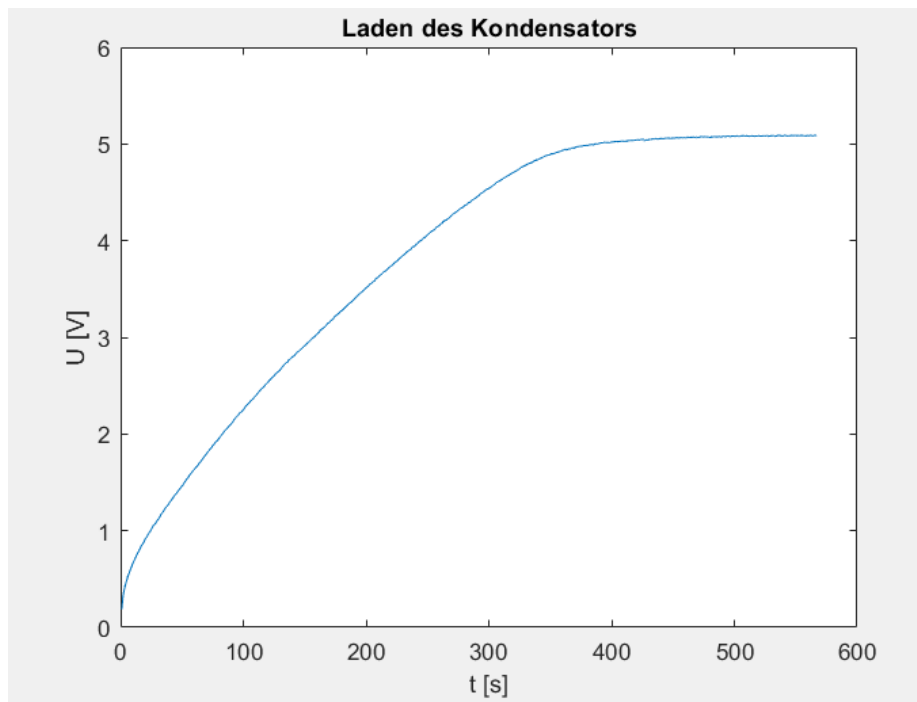


Abbildung 6: Graphische Darstellung der Ladekurve des Kondensators

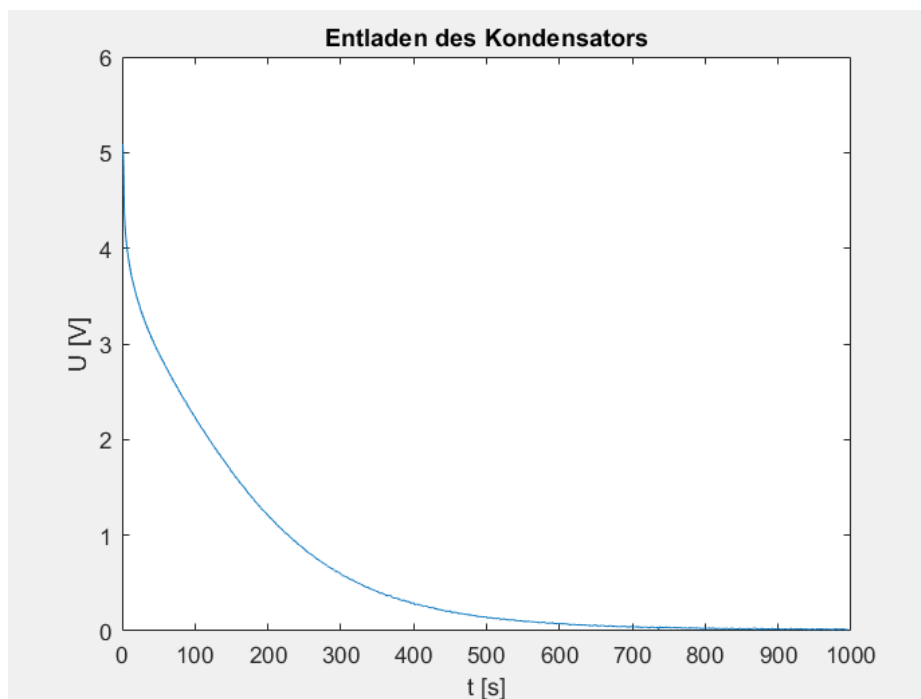


Abbildung 7: Graphische Darstellung der Entladekurve des Kondensators

Mit der Zeitkonstanten $\tau = RC$ [in Sekunden] kann man die Entladezeit des Kondensators berechnen.

$$110 = 500\Omega \cdot 0.22F$$

5 τ entsprechen einer Entladung von 99% - 100%.

$$5 \cdot 110 = 550s$$

Somit braucht der Kondensator 550 Sekunden, um sich über den Lastwiderstand zu 99% - 100% zu entladen.

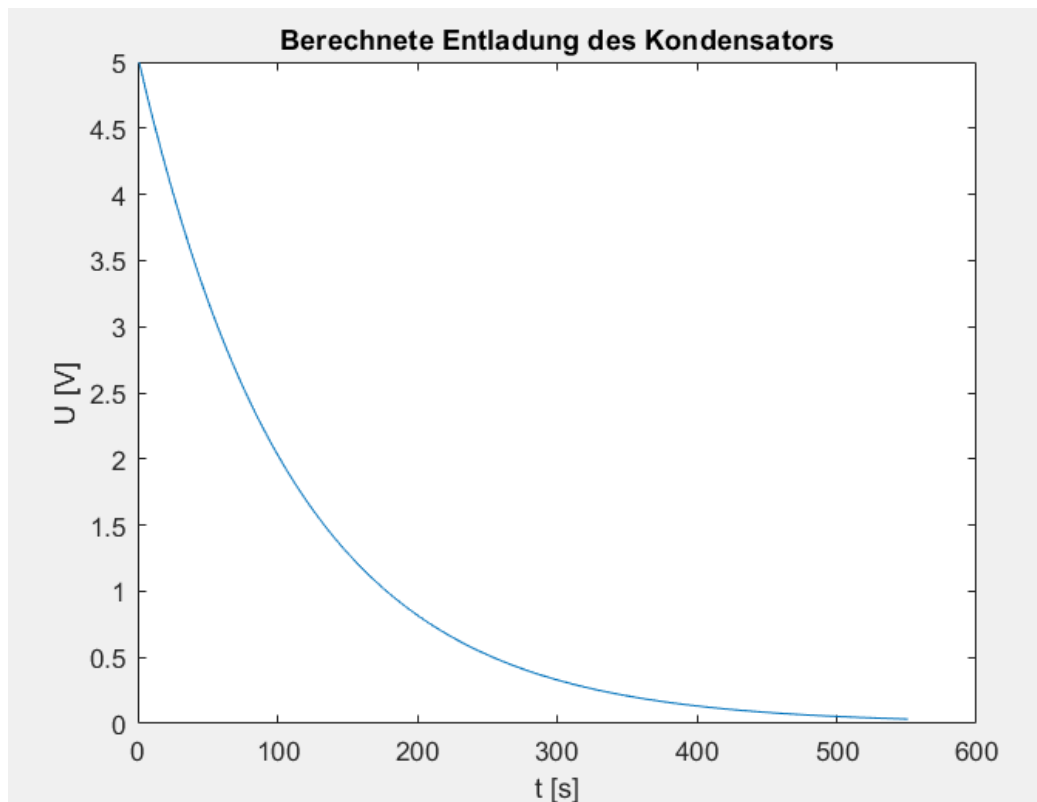


Abbildung 8: Theoretische Entladung des Kondensators

Die Abbildung zeigt den Entladevorgang des Kondensators über einen Lastwiderstand von 500Ω . Der Kondensator wurde vorher bis zur Maximalspannung von 5V aufgeladen.

Matlab-Skript:

```
1      %Variablen
2 -    C = 0.22;
3 -    R = 500;
4 -    tau = R * C;
5 -    t = (0:1:550);
6      %% Rechnung
7 -    Uc = 5 * (2.71828.^(-t/tau));
8      %Plot des Graphen.
9 -    plot(Uc)
10 -    title('Berechnete Entladung des Kondensators');
11 -    ylabel('U [V]');
12 -    xlabel('t [s]');
```

2.3.3. Diskussion

Durch die konstante Beleuchtung der Solarzelle, wird der Kondensator vorerst exponentiell aufgeladen. Wird der Kondensator allerdings immer weiter geladen bildet sich ein immer größer werdender Innenwiderstand. Dies führt dazu, dass der Kondensator immer langsamer geladen wird.

Die dabei entstehende I-U Linie zeigt auf, dass die Spannung keinen konstanten Verlauf hat. Allerdings verläuft der Strom bis zum MPP konstant.

Wenn die Solarzelle mit keiner Lichtstrahlung ausgesetzt wird, fällt die Spannung über einen Lastwiderstand von 500 Ω ab. Die Spannung am Kondensator ist eine neue Quelle wobei der Kondensatorstrom entgegengesetzt zu der Quellspannung über den Verbraucher abfließt. Wenn die Spannung über den Lastwiderstand abnimmt [Abb. 7, 8], nimmt auch der Strom ab. Die Spannung ist am Startpunkt auf 5,1 V. Dadurch nimmt die Kennlinie schnell ab. Der Innenwiderstand des Kondensators geht gegen unendlich, somit geht die Spannung gegen Null, erreicht diese aber theoretisch nie.

Um den Wirkungsgrad ermitteln zu können, betrachtet man die Entlade- und Ladekurve.

$$\eta = \frac{|Arbeit\ beim\ Entladen|}{|Arbeit\ beim\ Laden|}$$
$$0,9762 = \frac{2,7620}{2,8293}$$

Somit ergibt sich ein Wirkungsgrad von 97,62%. Dieser entspricht nicht genau den 99% - 100%, das durch die Ungenauigkeit der verwendeten Widerstände und der Messung begründet werden kann.

Aufgrund des hohen Wirkungsgrades von 97,62% wurde die Messung ein zweites Mal wiederholt. Dabei war zu erkennen, dass bei beiden Messungen der Wirkungsgrad nahezu identisch ist.

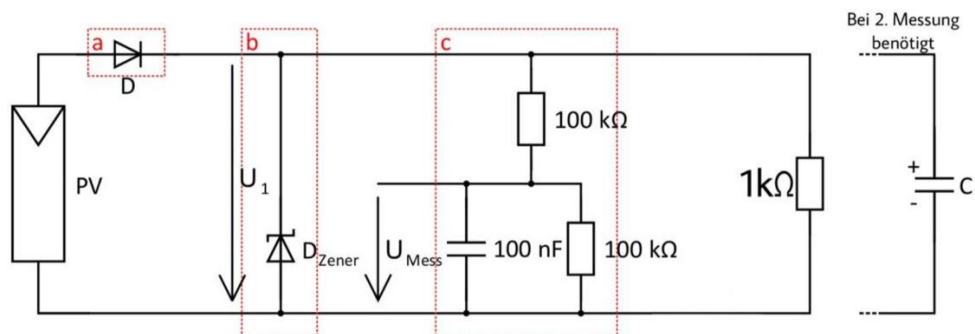
2.4. Vergleich Photovoltaik mit und ohne Energiespeicher

2.4.1. Materialien und Methoden

Bauteiltyp	Bezeichnung / Beschreibung	Wert
Solarzelle	SEED Studio POW112D2P	$U_{oc} = 5,5V$, $I_{sc} = 4mA$ bei 5 klx
Zener-Diode	ZF 5,1; 5,1V 0,5W	$V = 5,1V$; $P = 0,5W$
Stützkondensator	Keramikkondensator Code 104	$C = 100,0nF$
Speicherkondensator	Panasonic 5,5V 220mF	$V = 5,5V$; $C = 220,0mF$
Widerstand	Kohleschichtewiderstand	$1k\Omega$ - $100k\Omega$; 0,25W; 5%
Steckbrett	Breadboard	
Drahtbrücke	Drahtbrücken-Set 140-teilig	

Tabelle 7: Materialien für Aufgabe 2.4.

Schaltplan für Vergleich von Photovoltaik mit und ohne Energiespeicher



Schaltplan 4: Schaltplan zu Aufgabe 2.4.

Darstellung der Zeitintervalle von Bestrahlung und Beschattung

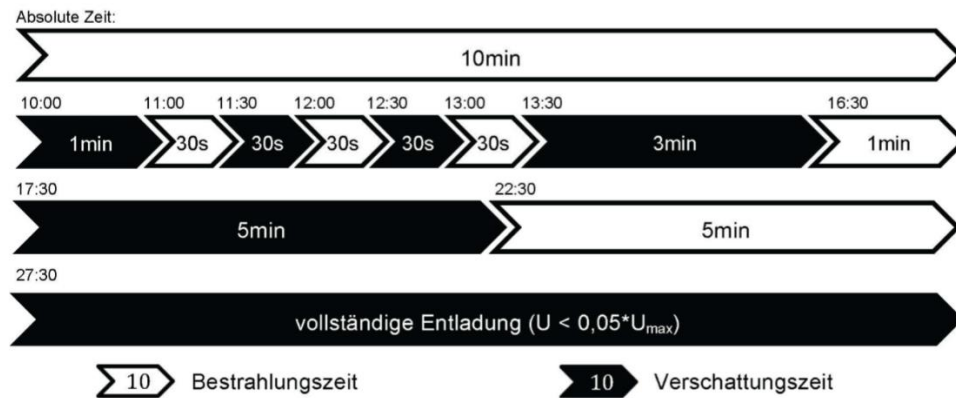


Abbildung 9: Zeitlicher Intervallfahrplan von Bestrahlung und Beschattung für Aufgabe 2.4.

Durchführung

Die Messung wurde mit einer 50W Stehtischlampe und mit dem Abstand von 23 Zentimetern zwischen Lichtquelle und Solarzelle durchgeführt. Diese Messung wird hierbei in zwei verschiedene Messungen aufgeteilt. In der ersten Messung wird lediglich ein 1kΩ Widerstand parallel geschaltet eingesetzt. Bei der zweiten Messung wird zusätzlich noch ein Kondensator mit den oben gegebenen Werten parallel zu dem 1kΩ Widerstand geschaltet. Dieser soll als Energiespeicher wirken. Beide Messreihen werden mit dem gegebenen Fahrplan in Abbildung 9 durchgeführt.

2.4.2. Ergebnisse

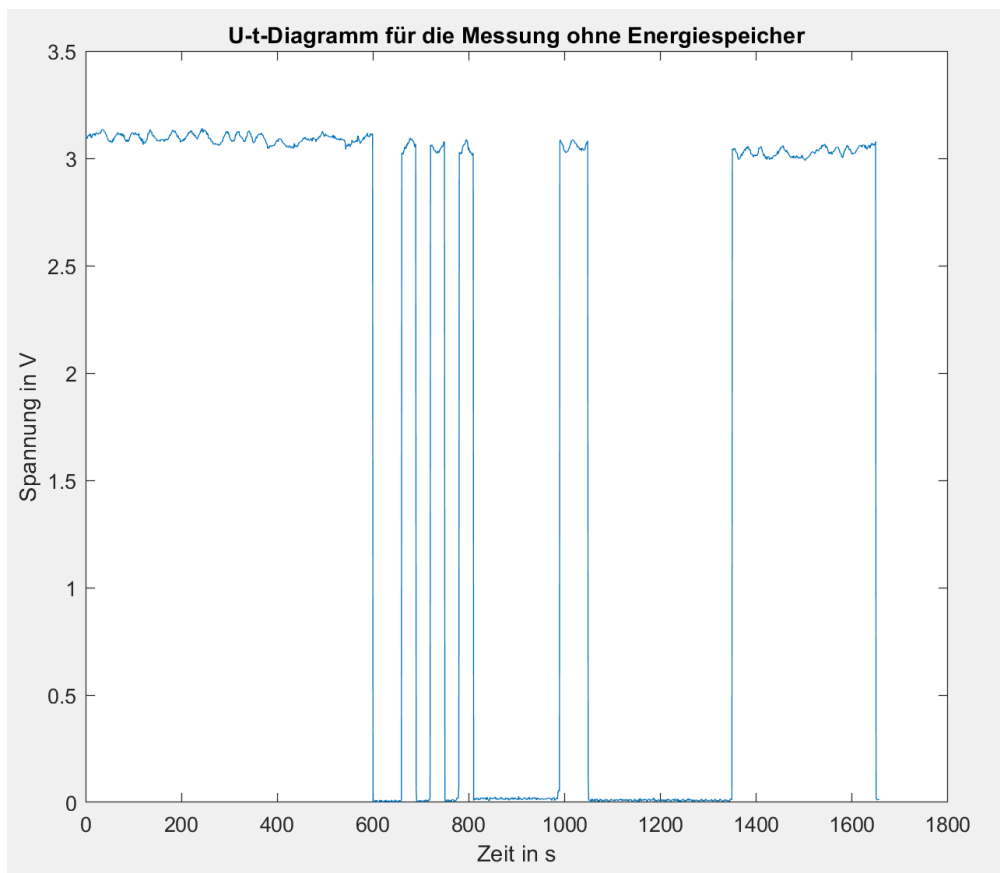


Abbildung 10: U(t)-Diagramm für 2.4.2. ohne Energiespeicher

Beobachtung:

Zu sehen ist, dass bei Bestrahlung ohne parallel angeschlossenen Kondensator die Spannung bei ungefähr 3,1 Volt fast linear bis zur nächsten Beschattung verläuft. Die Spannung beinhaltet bei Bestrahlung Schwankungen um ein paar hundertstel. Bei Beschattung fällt die Spannung schlagartig auf null ab.

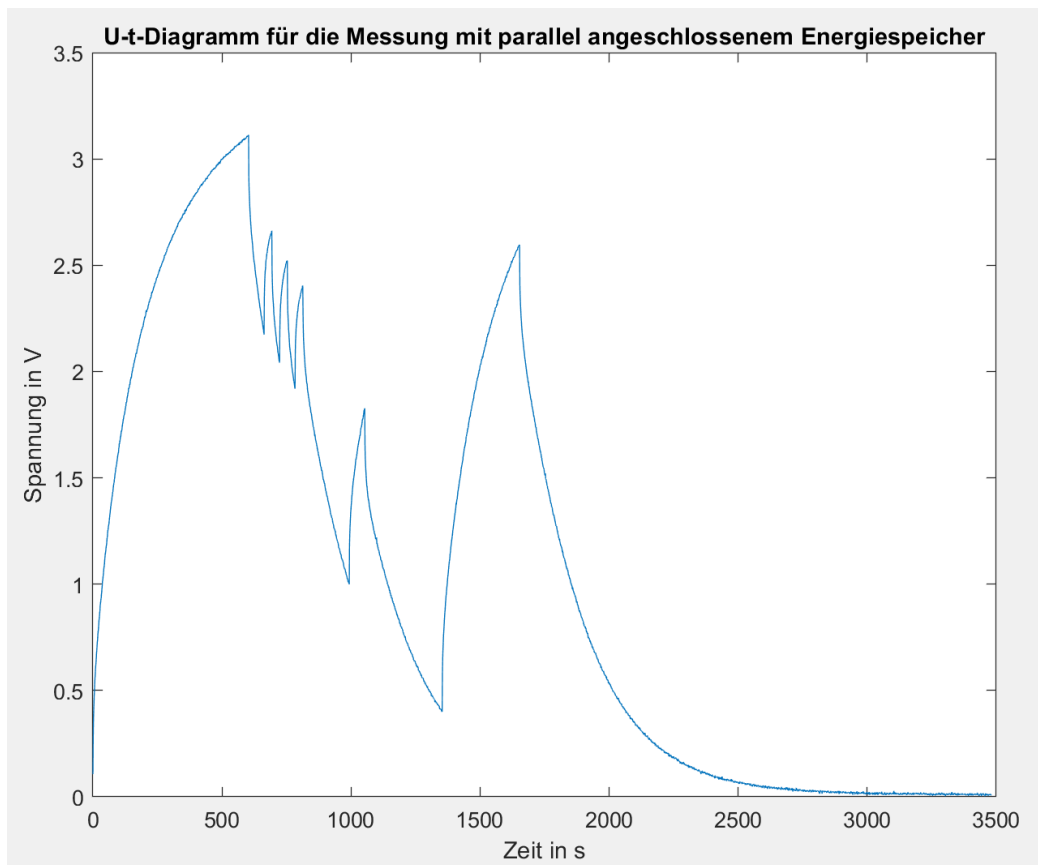


Abbildung 11: U(t)-Diagramm für 2.4.2 mit parallel angeschlossenen Energiespeicher

Beobachtung:

In den zehn Minuten der Bestrahlung ist das exponentielle Aufladen des Speicherkondensators zu beobachten. Bei der danach einminütigen Beschattung ist das Entladen des Kondensators zu sehen. Die Spannung fällt hierbei nicht direkt auf null, wie bei Messung 1. Gut zu sehen ist, bei dem Wechsel zwischen Bestrahlung und Beschattung in dem Zeitintervall von 30 Sekunden, dass der Kondensator jeweils mehr Ladung verliert als in den 30 Sekunden wieder durch das Aufladen dazukommen und dadurch die Spannung zwar beim Aufladen immer wieder ansteigt, allerdings insgesamt sinkt. Die Aufladekurve sowie die Entladekurve steigen bzw. fallen anfangs immer sehr stark und nähern sich gegen Ende einen Grenzwert an. Diese Annäherung an einen Grenzwert ist vor allem beim vollständigen Entladen des Kondensators nach 27 Minuten und 30 Sekunden zu beobachten. Der Spannung nähert sich hierbei immer mehr der null an. Beim 10-minütigen Aufladen reicht die Zeit nicht aus, um diesen Grenzwert zu erreichen.

2.4.2. Diskussion

Aus den Beobachtungen der beiden Messreihen kann man schließen, dass die Messung mit Speicherkondensator energieeffizienter ablief. Während bei der Messung ohne Speicherkondensator die Spannung direkt auf null Volt fiel, konnte, bei der mit einem, der Spannungsverlust in dem Beschattungszeitraum durch den Entladevorgang des Kondensators deutlich verringert werden und somit ein Teil der Energie für einen bestimmten, aber nur kurzen Zeitraum gespeichert werden. Nach jedem Zeitabschnitt ging zwar erzeugte Energie verloren, aber deutlich verzögerter als ohne Kondensator. Nachteilig jedoch ist, dass die Spannung beim Übergang von Beschattung zu Bestrahlung mit Speicherkondensator, durch den Ladevorgang nicht so stark anstieg als bei der ohne.

Daraus lässt sich schließen, dass der Speicherkondensator für den Fall, dass ein kurzer Zeitraum, indem trotzdem Energie benötigt wird, ohne Lichteinwirkung auf die Solarzelle überbrückt werden kann. Allerdings benötigt dieser bei erneuter Bestrahlung einen längeren Zeitraum, bis dem Verbraucher wieder die maximal mögliche Spannung zur Verfügung steht.

Anhand der beiden Messung werden vor allem zwei Verbesserungsmöglichkeiten deutlich: Zum einen muss das Ziel sein, den Ladevorgang eines Kondensators zu verschnellern und dabei den Entladevorgang auf ein Minimum zu begrenzen.

Vorausgesetzt, dass ein Speicherkondensator, der die oben genannten Nachteile bewältigt, verwendet wird, ist diese Art von Energiespeicherung eine sehr gute Möglichkeit um etwaige Stromausfälle, vor allem für Kühlgeräte im Haushalt oder beispielsweise im Krankenhaus für lebenserhaltende Geräte zu überbrücken. Auch der Einbau von einem solchen Speicherkondensator in Signalsystemen (z.B. Ampeln), in Sicherheitssystemen, etc. kann, bei einem punktuellen „Blackout“ oder auch bei einem städtischen chaotische Zustände verhindern und damit Folgeschäden begrenzen. Ein letzter sehr wichtiger Punkt der Energiespeicherung ergibt sich aus der regenerativen Gewinnung von elektrischer Energie, da vor allem bei der Photovoltaik die grundlegende Versorgungssicherheit, wenn Energie benötigt wird, klimabedingt nicht gewährleistet werden kann und auch nicht beeinflusst werden kann. An Tagen, an denen mehr Energie erzeugt wird als benötigt muss die überschüssige gespeichert werden. Die gespeicherte Energie kommt dann zum Einsatz, wenn wetter- oder technischbedingt zu wenig Energie erzeugt als benötigt wird.

3. Zusammenfassung

Die Größe der Spannung, die von der Solarzelle erzeugt werden kann, hängt einerseits von der Leistungsfähigkeit der Lichtquelle und andererseits von dem Abstand zwischen Solarzelle und Lichtquelle ab. Vorausgesetzt wird hierbei, dass der Lichtkegel die Fläche der Solarzelle vollständig abdeckt. Wenn die Lichtquelle eine hohe Leistungsfähigkeit besitzt, kann man die von der Solarzelle maximal erzeugte Spannung von 5V abnehmen. Ein weiterer Faktor, der die Energieerzeugung beeinflusst, ist der Winkel der Lichtstrahlen auf die Oberfläche der Solarzelle.

Bei der Langzeitmessung ist zu erkennen, dass die Sonne (hier: als Lichtquelle) ihren Stand verändert und dadurch den Winkel, zu der Solarzelle, im Laufe der Zeit verringert. Der ideale Einfallswinkel zur Solarzelle beträgt 90° . Damit also der MPP dauerhaft im Maximum gehalten werden kann, müsste die Solarzelle immer im Winkel von 90° zu ihr stehen.

Problematisch jedoch erweist sich die Energieerzeugung bei bewölktem Wetter und bei Nacht. Die Solarzelle wird bei Bewölkung nicht ausreichend mit Photonenstrahlen versorgt, um die benötigte Energie zu erzeugen. Eine Lösung hierfür sind Energiespeicher. Diese sind sowieso notwendig, um die nächtliche Energieversorgung zu sichern. Somit kann umweltfreundlich und effizient das Haus oder auch andere Haushalte mit Strom versorgt werden. Ohne einen Energiespeicher muss man die erzeugte Energie gleich nutzen. Dies ist nicht immer möglich, demnach ist eine Solarzelle ohne Speichermedium nicht effizient.

In technischen Geräten und Netzwerken sind Kondensatoren oder andere Speichermedien, wie Lithium-Ionen-Akkus gute Möglichkeiten, um Stromausfällen oder anderen Störungen entgegen zu wirken. Dies kann lebensrettend in Krankenhäusern oder bei Signalsystemen, da dabei Menschen gefährdet werden können.

Obwohl Solarzellen umweltfreundlich wirken, sind sie mit der Herstellung und der effizienten Nutzung, wie mit einem Akku nicht wirklich umweltfreundlich. Grund hierfür ist die Herstellung von Akkus. Wie z.B. ein Lithium-Ionen-Akku benötigt zur Herstellung Unmengen an Salz und Wasser. Ein wirtschaftlich effizientes, energiearmes, flächendeckendes Recycling der Solarzellen gibt es bisher auch noch nicht.

Zusammenfassend ist die Solarzelle eine gute Art, um umweltfreundlich und mit gutem Gewissen Energie zu erzeugen und nutzen. Dennoch ist die Gewinnung von Energie mit Solarzellen ein, vom Wetter abhängiges Verfahren und dem muss vorgebeugt werden. Energiespeicher müssen installiert werden. Hierbei stellen Speicherkondensatoren, wenn die Nachteile wie in 2.4.3. aufgeführt, eine gute Möglichkeit dar. Denn eine konstante, flächendeckende Energieversorgung ist unserer Gesellschaft (auch durch die Digitalisierung) zu einem für sie unverzichtbaren Standard geworden.

4. Abbildungsverzeichnis

[1]: <http://www.renewable-energy-concepts.com/german/sonnenenergie/solaranlage-solartechnik/solargenerator/u-i-kennlinie-solarmodul.html>

Aufgerufen am 3.12.19, 20:33Uhr

5. Literaturverzeichnis

[1]: Mertens, Konrad: „Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis“; 4. aktualisierte Auflage; Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 2018

[2]: <https://www.uni-kassel.de/eecs/fileadmin/datas/fb16/Fachgebiete/FSG/Download/Lehre/ETP1/Photovoltaik.pdf> Aufgerufen am 03.12.2019 um 15:34 Uhr