

Erhöhung des Wirkungsgrades der Farbstoffsolarzelle durch die Veränderung der Dicke der Graphitschicht und das Benutzen von Graphitfolie als Katalysator

Eine Arbeit von Helena Mareike Wolf
Geboren am 12.11.2000

Schule:
Jenaplanschule-Jena
Tatzendpromenade 9
07745 Jena

Projektbetreuer:
Christina Walther
Volkmar Obst

Jugend Forscht 2019

SCHÜLER
FORSCHUNGS
ZENTRUM
JENA

Kurzfassung

In meinem Projekt möchte ich untersuchen, ob es möglich ist, den Wirkungsgrad einer Pflanzenfarbstoffsolarzelle durch die Optimierung der Graphitschicht zu erhöhen. Dazu wurden Versuche durchgeführt, in denen der Einfluss verschiedener Kathodenbeschichtungen auf die Leistungsfähigkeit der Pflanzenfarbstoffsolarzelle untersucht wurde.

Dazu stellte ich mir zwei Forschungsfragen:

1. Verändert sich der Wirkungsgrad in Abhängigkeit zu der Dicke der Graphitschicht?
Um dies zu überprüfen, wurde die Masse der beschichteten Platte vor und nach der Beschichtung und die Leerlaufspannung der fertigen Zelle gemessen.
2. Eignet sich Graphitfolie als Kathode?
Graphitfolie und andere Kohlenstoffformen wurden dazu als Kathodenbeschichtungen verwendet.

Zuvor wurde in ersten Versuchen die Reproduzierbarkeit der Messdaten bei manuell beschichteten Titandioxid Platten geprüft.

Inhaltsverzeichnis

1.Einleitung.....	1
2.Grundlagen.....	3
2.1.Aufbau einer Grätzelzelle.....	3
2.2.Funktionsweise.....	3
3.Methode.....	4
3.1.Herstellung einer Grätzelzelle.....	4
3.1.1.Materialien.....	4
3.1.2.Durchführung.....	4
4.Ergebnisse.....	5
4.1.Versuch 1: Reproduzierbarkeit der TiO₂-Beschichtung.....	5
4.1.1.Vorgehen.....	5
4.1.2.Messwerte.....	5
4.1.3.Vorversuche von Christina Walther.....	6
4.1.4.Reproduzierbarkeit der Messwerte TiO₂-beschichteter Platten.....	6
4.2.Versuch 2: Dicke der Graphit-Beschichtung.....	7
4.2.1.Vorgehen.....	7
4.2.2.Messwerte.....	7
4.3.Versuch 3: Beschaffenheit des Katalysators.....	8
4.3.1.Vorgehen.....	8
4.3.2.Messwerte.....	8
5.Diskussion.....	9
6.Danksagung.....	9
7.Literaturverzeichnis.....	10

1. Einleitung

Anlässlich meiner Seminarfacharbeit suchte ich nach einem Thema. Da ich mich für die Energiegewinnung der Zukunft interessiere, schlug mir mein späterer Betreuer Herr Obst vor, mich mit der Pflanzenfarbstoffsolarzelle, im Folgenden auch Grätzelzelle genannt, zu beschäftigen. Darauf, den Einfluss der Graphitschicht auf den Wirkungsgrad zu erforschen kam ich, weil dieser bisher kaum untersucht wurde. Außerdem möchte ich herausfinden, ob der mit Zinnoxid beschichtete Objektträger durch eine Graphitfolie ersetzt werden kann und dadurch die Zelle noch umweltfreundlicher werden kann.

Die heutige stark technisierte Gesellschaft setzt eine sichere und umfangreiche Versorgung mit elektrischem Strom voraus. Der Verbrauch wird überwiegend mit konventionellen Kohle-, Gas- oder Atomkraftwerken gedeckt. Dabei werden fossile Brennstoffe wie Kohle (Stein- und Braunkohle), Erdöl und Erdgas verbrannt, um entweder direkt Wärme oder elektrischen Strom zu erzeugen.

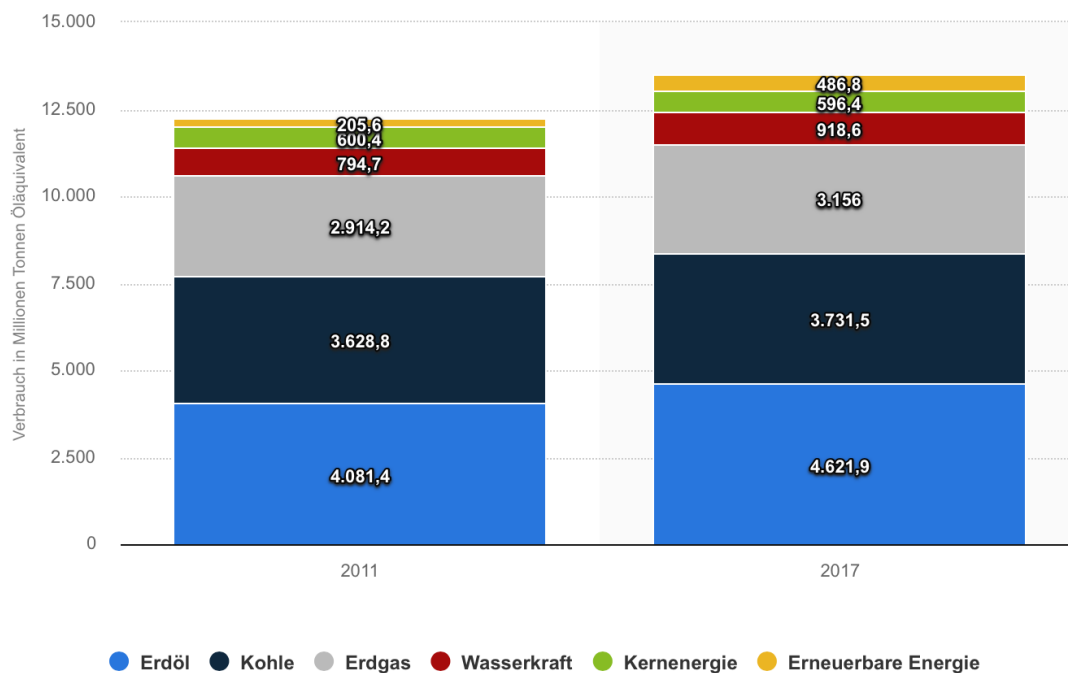


Bild 1: Weltweiter Primärenergieverbrauch nach Energieträger im Jahresvergleich 2011 und 2017 (in Millionen Tonnen Öläquivalent)

Der Verbrauch an Primärenergie weltweit betrug 2017 13.511,2 Millionen Tonnen Öläquivalent. Etwa 85,18% davon entstammen fossilen Energieträgern¹ und ca. 31,41% wurden durch

¹ Energieträger, die beim Abbau von toten Pflanzen und Tieren entstehen. Die wichtigsten fossilen Energieträger sind Erdöl, Kohle (Stein- und Braunkohle) sowie Erdgas; in geringerem Maße werden auch Ölsande und -schiefer und Torf genutzt.

Kernkraftwerke produziert. Hingegen beträgt der Anteil an erneuerbaren Energien und Wasserenergie etwa 10,41%.

Im Jahre 2011 wurden rund 12.225,1 Millionen Tonnen Öläquivalent verbraucht, das sind ca. 9,52% weniger als 2017. Der Anteil an fossilen Energieträgern stieg bis 2017 um etwa 1,72%. Kohle, Gas und Öl entstanden je nach Vorkommen etwa vor 300 bis 150 Millionen Jahren. Die natürliche Neubildung fossiler Brennstoffe fällt gegenüber dem hohen Verbrauch kaum ins Gewicht. Die vorhandenen Reserven an fossilen Brennstoffen werden daher in absehbarer Zeit erschöpft sein. Die Grenzen für die Nutzung fossiler Energieträger werden nicht nur durch die Verfügbarkeit gesetzt, sondern auch durch die ökologischen Grenzen. Das bedeutet, dass die fossilen Energieträger zwar begrenzt sind, aber weit größer sind als die Mengen, die im Hinblick auf die CO₂-Emissionen verbraucht werden dürfen. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe produziert neben schädlichen Abgasen Kohlendioxid, das in den Rohstoffen gebunden ist und als wesentlicher Faktor des anthropogenen Klimawandels gilt.

Solarzellen stellen eine klimafreundliche Alternative dar, da sie Sonnenenergie, welche in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht, nutzen. Die bis heute am häufigsten eingesetzten Solarzellen basieren auf Silizium, einem in großen Mengen verfügbaren Rohstoff, der z. B. aus Sand gewonnen wird. Allerdings sind hierfür sehr aufwendige und teure Prozessschritte notwendig, da eine hohe Reinheit des Solar-Siliziums benötigt wird. Die höchsten Wirkungsgrade von oft über 20 % werden mit monokristallinen Solarzellen erreicht. Diese sind entsprechend teuer und enthalten viel graue Energie, das bedeutet, es braucht eine gewisse Betriebsdauer, bis die bei der Herstellung eingesetzte Energie zurückgewonnen ist. Für komplette Photovoltaikmodule basierend auf monokristallinen Silizium-Zellen beträgt dies etwa drei Jahre. Eine Alternative ist die Farbstoffsolarzelle. Wesentliche Vorteile sind geringe Kosten und der niedrige Energieaufwand der Produktion. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass Grätzelzellen erheblich flexibler in Gebäude integriert werden können. Das liegt daran, dass sie indirektes Licht ebenso gut nutzen können wie direkte Sonneneinstrahlung. Negativ sind ein geringerer Wirkungsgrad und eine geringere Lebensdauer anzumerken. Beide Probleme können durch den Einsatz synthetischer Farbstoffe zumindest teilweise gelöst werden, wodurch allerdings die Kosten und der Energieverbrauch der Herstellung steigen. In einem Interview sagt Michael Grätzel, der Erfinder der Farbstoffsolarzelle, dass die Lebensdauer einer Farbstoffsolarzelle laut industriellen Daten bei über 25 Jahren liegt: „Durch Benutzung von ionischen Flüssigkeiten und Festelektrolyten wurde eine ausgezeichnete Stabilität erreicht. Damit sind die Voraussetzungen der industriellen Fertigung und Kommerzialisierung gegeben. Die Massenproduktion von flexiblen Modulen hat denn auch letztes Jahr durch die Firma G24 Innovation im walisischen Cardiff begonnen. Weitere Verbesserungen im Wirkungsgrad bis zu maximal 31 Prozent für Einzelzellen und über 40 Prozent für Tandemzellen sind noch möglich und werden durch intensive Forschung vorangetrieben.“²

[2https://www.heise.de/tr/artikel/31-Prozent-Wirkungsgrad-sind-mit-intensiver-Forschung-drin-1027456.html](https://www.heise.de/tr/artikel/31-Prozent-Wirkungsgrad-sind-mit-intensiver-Forschung-drin-1027456.html), 12.1.2019, Ben Schwan, interview mit Michael Grätzel, aktueller Forschungsstand

2. Grundlagen

2.1. Aufbau einer Grätzelzelle

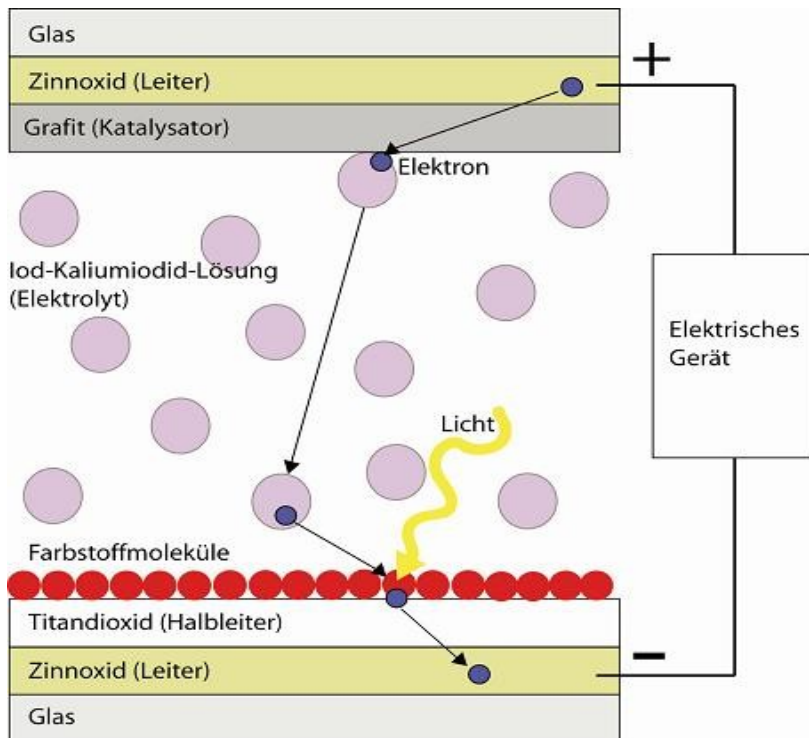


Bild 2: Die Funktionsweise einer Grätzelzelle

Eine Grätzelzelle besteht aus verschiedenen Schichten (Bild 2). Eingeschlossen sind diese von zwei Trägermaterialien aus Glas, die einen Abstand von nur wenigen Mikrometern aufweisen. Die beiden Glasplatten sind auf der Innenseite mit einer transparenten Schicht, welche meist aus Zinnoxid besteht, beschichtet. Dadurch sind diese elektrisch leitfähig. Unmittelbar auf einer der Elektroden befindet sich eine dünne Schicht aus Titandioxid (TiO_2), auf dieser wird eine weitere dünne Schicht aus Farbstoffmolekülen aufgetragen. Auf der Gegenelektrode befindet sich eine katalytische Schicht (meist Platin oder auch Graphit). Der Bereich zwischen den beiden Elektroden ist mit einem Elektrolyt gefüllt. Dieser besteht meistens aus z.B. einer Lösung aus Iod (I_2) und Kaliumiodid.

2.2. Funktionsweise

In einer Grätzelzelle werden die Aufgaben, die normalerweise das Silizium übernimmt, von einem Farbstoff sowie Titandioxid zusammen mit einem Elektrolyt erfüllt. Die Funktionsweise der Grätzelzelle orientiert sich an der Photosynthese, in dem Sinne, dass die Farbstoffmoleküle durch Sonnenenergie angeregt werden. Durch Absorption von Licht werden Elektronen von den Farbstoffmolekülen gelöst und durch das Titandioxid zur Anode geleitet. Dem Farbstoff fehlt jetzt ein Elektron, welches durch den Elektrolyten geliefert wird und vorher von der Gegenelektrode zurück in die Elektrolytlösung wandert. Dadurch entsteht eine elektrische

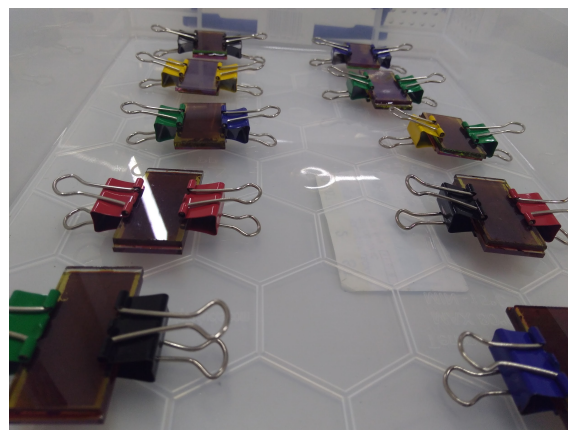
Spannung, die über einen äußeren Stromkreis genutzt werden kann, um elektrische Geräte zu betreiben. Anders als bei Fotosynthese entsteht also elektrische Energie.

3. Methode

3.1. Herstellung einer Grätzelzelle

3.1.1. Materialien

- 2 unbeschichtete TCO*- Platten**
- Spülmittel
- Küchenpapier
- Multimeter
- Glasplatte
- Klebestreifen
- Titandioxid-Lösung (TiO₂)**
- 1 Stäbchen zum Auftragen von Titandioxid
- 1 Objektträger
- Brenner mit Dreibein und Glasplatte
- Streichhölzer
- Tiegelzange
- 2 Krokodilklemmen mit Kabel
- 1 Schutzbrille
- 50 ml vorbereitete Farbstofflösung aus Pflanzenfarben (Tee, Saft)
- 1 Petrischale
- Pinzette
- 1 weicher Bleistift (2B)
- Elektrolytlösung (Jod- Kaliumiodid)**
- 2 Klammern



3.1.2. Durchführung³

1. TCO-Platten mit Spülmittel säubern und mit Küchenpapier trocknen.
2. Die leitfähige Seite mit Multimeter bestimmen (Widerstand nahe 0 Ω).
3. Eine TCO-Platte mit leitfähiger Seite nach oben auf die Glasplatte legen und an 3 Seiten (2 lang, 1 kurz) mit Klebeband befestigen.
4. 2-3 Tropfen TiO₂-Lösung auf die Glasplatte geben und mit Objektträger glatt verstreichen.
5. Bestrichene TCO-Platte ca. 5 min auf einer Ceranplatte über einem Brenner vorsichtig erhitzen. Farbveränderung der Beschichtung: weiß – braun – weiß Platte abkühlen lassen.
6. Farbstofflösung in Petrischale füllen und TiO₂- beschichtete Platte für 5 min hineinlegen.
7. Inzwischen die zweite TCO-Platte auf der leitfähigen Seite mit Bleistift bemalen, so dass eine durchgehende Graphitschicht entsteht.
8. 2 Tropfen Elektrolytlösung (Jod-Kaliumiodid-Lösung) auf die graphitbeschichtete Platte geben.

³Anleitung: witelo e. V., Grüne Schule Jena e. V.: Experimentieranleitung "Solarzellen mit Pflanzenfarben"

9. Beide Platten mit den beschichteten Seiten aufeinander legen. Der nicht beschichtete Rand der TiO₂-Platte ragt dabei über die graphitbeschichtete Platte. Mit Klammern fixieren.
10. Überschüssige Elektrolytlösung mit Küchenpapier entfernen und Krokodilklemmen anschließen.
11. Messwerte aufnehmen

4. Ergebnisse

4.1. Versuch 1: Reproduzierbarkeit der TiO₂-Beschichtung

Fragestellung:

Wie reproduzierbar ist die manuelle Beschichtung der Titandioxidschicht?

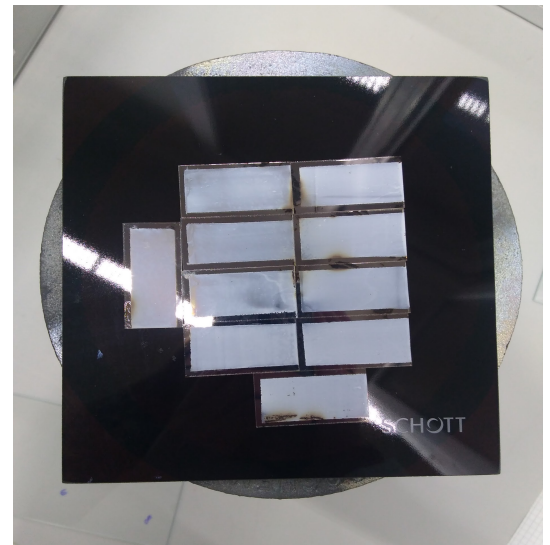
4.1.1. Vorgehen

1. 10 Platten säubern
2. Pflanzenfarbstoff: 3 g Teemischung "Milde Hagebutten Mischung fruchtig-spritzig" in 30 ml Wasser (90°, 8 min)
3. Weiteres Vorgehen: Siehe 3.1.
4. Aufnahme der Messwerte mit und ohne Lampe

4.1.2. Messwerte

Tabelle 1: Leerlaufspannung (mV) als Maß der Reproduzierbarkeit

	Leerlaufspannung bei Tageslicht (mV)	Leerlaufspannung (mV) mit Lampe (Halogen, 20 W)
1	380	430
2	178,3	185
3	182	198
4	196	195
5	72	132
6	128	189
7	113	177
8	94	176
9	181	184
10	195	199



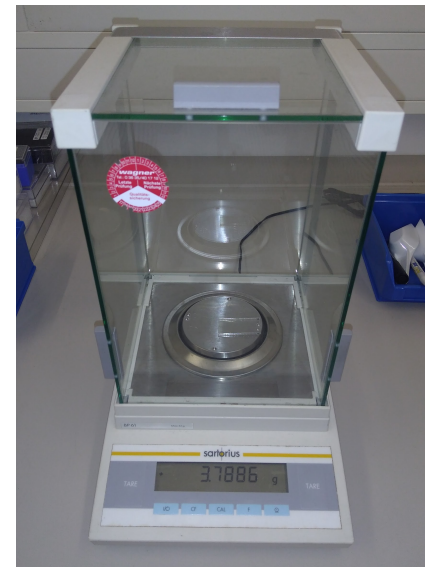
In meinem ersten Versuch wollte ich die Reproduzierbarkeit der manuellen Beschichtung der Platten mit der Titandioxidschicht nachweisen. Jedoch schwanken die Werte zu stark, um eine Aussage zu dem Zusammenhang der Dicke der Graphitschicht und dem Wirkungsgrad zu treffen. Deshalb habe ich im weiteren Verlauf der Experimente mit TiO_2 -vorbeschichtete Platten verwendet. Meine weiteren Experimente stützen sich auf Vorversuche von meiner Betreuerin Christina Walther, welche die Reproduzierbarkeit von Grätzelzellen mit vorbeschichteten Platten vorher experimentell ermittelt hat. Dabei wurden mit kommerziell erworbenen TiO_2 -beschichteten Platten (man-solar) durchschnittliche Leerlaufspannungen von 360 mV (Raumlicht) und 451 mV (belichtet, Halogenlampe 20W) ermittelt. Der ermittelte Fehler ($n=3$) betrug 1 % bzw. 5 %.

4.2. Versuch 2: Dicke der Graphit-Beschichtung

Fragestellung: Welchen Einfluss hat die Dicke der Graphitschicht auf den Wirkungsgrad der Farbstoffsolarzelle?

4.2.1. Vorgehen

1. Bestimmen und Nummerieren der leitfähigen Seite von 10 TCO-Platten
2. Masse der TCO-Platten bestimmen mithilfe der Sartorius BP 61, 61 g-0,0001 g Halbmikrowaage
3. Aufbringen der Graphitschicht auf die Platten mit weichem Bleistift
4. Masse nach der Beschichtung mit Graphit bestimmen
5. Pflanzenfarbstoff: 6 g Teemischung "Milde Hagebutten Mischung fruchtig-spritzig" in 60 ml Wasser (90°, 8 min)
6. Weiteres Vorgehen: Siehe 3.1.



4.2.2. Messwerte

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen Dicke der Graphitschicht und der Leerlaufspannung

	Masse (g) unbeschichtet	Masse 2 (g) graphitbeschichtet	Differenz	Leerlaufspannung (mV)
1	3,7965	3,7967	0,0002	229
2	3,8085	3,8086	0,0001	164
3	3,8030	3,8031	0,0001	291
4	3,8000	3,8000	0,0000	216
5	3,7994	3,7995	0,0001	202
6	3,8000	3,8002	0,0002	209

7	3,8208	3,8208	0,0000	168
8	3,7805	3,7805	0,0000	177
9	3,7868	3,7869	0,0001	179
10	3,7887	3,7887	0,0000	203
Mittelwert	3,7984	3,7985		204
Standard- abweichung	0,0115	0,0115		37,4

Versuch 2 sollte die Annahme bestätigen oder widerlegen, dass ein Zusammenhang zwischen der Dicke der Graphitschicht und dem Wirkungsgrad der Farbstoffsolarzelle besteht. Der Messfehler der Waage, die ich für meine Versuche benutzte beträgt $\pm 0,0001\text{g}$. Da dies in etwa der Masse der aufgetragenen Graphitschicht beträgt ist es nicht möglich, einen Zusammenhang zwischen der Dicke der Graphitschicht und dem Wirkungsgrad der Farbstoffsolarzelle mit Hilfe dieser Waage nachzuweisen.

4.3. Versuch 3: Beschaffenheit des Katalysators

Fragestellung: Ist es möglich, Graphitfolie als Katalysator zu verwenden?

4.3.1. Vorgehen

1. Bestimmen und Nummerieren der leitfähigen Seite von 18 TCO-Platten
2. Pflanzenfarbstoff: 6 g Teemischung "Milde Hagebutten Mischung fruchtig-spritzig" in 60 ml Wasser (90° , 8 min)
3. 0,38 g Graphitpulver mit 1 ml Bio-Ethanol vermischen und mit einem Deckglas einen Tropfen gleichmäßig verteilen
4. Weiteres Vorgehen: Siehe 3.1.

4.3.2. Messwerte

Tabelle 3: Vergleich der Leerlaufspannung bei unterschiedlichen Beschaffenheiten des Katalysators

	Leerlaufspannung (mV) Ohne Katalysator	Leerlaufspannung (mV) Graphitfolie	Leerlaufspannung (mV) Graphitpulver	Leerlaufspannung (mV) Bleistift
1	260	310	130	280
2	280	340	210	390
3	245	290	140	375

4	210	180	130	360
5	220			
6	206			

Ohne Katalysator schwanken die Werte stark. Sie sind anfangs sehr hoch und sinken dann langsam. Das könnte damit zusammenhängen, dass die Elektronen nicht schnell genug nachgeliefert werden. Bei der Grätzelzelle mit Graphitfolie als Katalysator sind die Schwankungen geringer. Die Zelle, welche mit der Mischung aus Ethanol und Graphitpulver bestrichen sind liefern erst einen geringeren Wert, welcher langsam ansteigt. Jedoch scheinen sich das Graphit und der Elektrolyt zu vermischen. Die Beschichtung mit Bleistift erzielte die stabilsten und höchsten Werte.

5. Diskussion

Im Bezug zu meinen eingangs aufgeführten Forschungsfragen konnte festgestellt werden, dass die Veränderung des Wirkungsgrades der Farbstoffsolarzelle in Abhängigkeit zu der Veränderung der Dicke der Graphitschicht mit der von mir verwendeten Methode nicht nachweisbar ist. Der Messfehler der Waage, die ich für meine Versuche benutzte, beträgt $\pm 0,0001$ g. Dies liegt in der Größenordnung der Masse der aufgetragenen Graphitschicht, so dass deren Masse nicht bestimmt werden konnte.

Bei dem Experiment, in welchem verschiedene Kohlenstoffformen verwendet wurden, konnte gezeigt werden, dass Graphitfolie als Kathode verwendet werden kann. Eine Grätzelzelle mit Graphit in Folienform erreicht aber eine niedrigere Leerlaufspannung als eine Graphitschicht, die mit Bleistift aufgebracht wurde. Die Mischung aus Graphitpulver und Ethanol ist als Beschichtung hingegen nicht geeignet, da sich diese durch den Elektrolyt ablöst.

In meiner weiteren Forschung möchte ich überprüfen, ob bei der Verwendung von maschinell beschichteten Platten die Leerlaufspannung reproduzierbar ist. Außerdem werde ich einer weiteren Möglichkeit nachgehen, um den Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad und der Dicke zu klären. Dazu möchte ich eine Methode entwickeln um den Grad der Lichtdurchlässigkeit der mit Graphit beschichteten Platte zu bestimmen.

6. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Volkmar Obst bedanken, welcher mich als mein Innenbetreuer tatkräftig unterstützt und motiviert hat und mir gute Anregungen und Tipps gab. Dank Christina Walther hatte ich die Möglichkeit, im Schülerforschungszentrum in Jena zu Experimentieren. Sie half mir bei der Durchführung der Experimente und las Korrektur. Durch sie konnte ich in jedem Rückschlag einen Wissenszuwachs zu sehen, der mir in Zukunft hilft, weitere Experimente durchzuführen.

7. Literaturverzeichnis

Bild 1, 12.1.2019, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/42454/umfrage/weltweiter-primaeerenergieverbrauch-nach-brennstoffen-in-oelaequivalent/>

Bild 2, abgerufen am 13.1.2019, http://education.bionik-sigma.de/uploads/pics/Gr%C3%A4tzelzelle_Funktionsweise_klein.JPG

<https://www.enbw.com/energie-entdecken/energieerzeugung/konventionelle-energiequellen/>, 14.1.2019, Dr. Frank Mastiaux, Konventionelle Energiequellen, Entstehung und Verwendung

<https://www.tarife.de/themen/fossile-brennstoffe/>, 13.1.2019, Thomas Liebau, Fossile Brennstoffe, Entstehung und Verwendung

https://www.energie-lexikon.info/fossile_energietraeger.html, 16.1.2019, Dr. Rüdiger Paschotta, Fossile Energieträger, Verknappung, Umweltbelastung

<http://education.bionik-sigma.de/experimente/die-graetzelzelle/>, 15.1.2019, Sigrid Belzer, Strom aus dem Teebeutel, Aufbau und Funktionsweise der Grätzelzelle