

Die Solarzelle nach dem Vorbild der Natur

Die Grätzelzelle

Der Weg in eine moderne und saubere Zukunft?

[Abbildung 1]

Autorin: Anna Welz

Fachlehrerin: Frau Weber

Fach/Kurs: Chemie GK 1

Schuljahr: 2022/2023

Schule: Gymnasium Herkenrath

Abgabedatum: 24.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	2
2 Definition	3
2.1 Erfinder	3
2.2 Geschichte/Entwicklung	4
2.3 Photosynthese in der Natur	5
3 Die Grätzelzelle	5
3.1 Aufbau/Funktionsweise	5
3.2 Chemische Reaktionen/Vorgänge	7
3.3 Der Farbstoff	7
3.4 Die Elektroneninjektion in das Titandioxid	8
4 Der Einsatzbereich/Branche	9
4.1 Entwicklung	9
4.2 Vor- und Nachteile	10
4.3 Anwendungsbereiche	11
5 Projektarbeit	12
6 Fazit	12
Literaturverzeichnis	14
Primärliteratur	14
Internetquellen	14
Abbildungsverzeichnis	17
Anhang	20
Das Versuchsprotokoll	20
Vergleich zur Solarzelle auf Siliziumbasis	32
Eigenständigkeitserklärung	34

1 Einleitung

„Energiewende in Deutschland verläuft zu langsam“¹ oder „Technologien für die Energiewende stärken“² sind Schlagzeilen der aktuellen Energiewende. In unserer heutigen Zeit werden vermehrt erneuerbare Energieträger eingesetzt, deren Wirkungsgrad und generelle Ausreifung nicht die Nachfrage des gesamten Energiebedarfs abdecken. Bekannt ist, dass vor allem die Windenergie und die Sonnenenergie, als Grundlage für eine zukünftig treibhausgasneutrale Energieversorgung, einen wertvollen Beitrag für die Abdeckung des Energiebedarfs leisten. Doch damit nicht genug, die heutige wissenschaftliche Forschung entwickelt sich immer weiter mit dem Ziel, Energieträger zu nutzen, die unendlich zur Verfügung stehen und dennoch eine hohe Effizienz aufweisen können. In Ansätzen gelang das dem Chemiker Professor Micheal Grätzel schon um 1990, denn er baute eine Solarzelle nach dem Vorbild der Natur.³ Das bedeutet konkret, dass die entwickelte Solarzelle die Lichtreaktion eines Blattes nachahmt.⁴ Basierend auf den Voraussetzungen für erneuerbare Energien erfüllen die sogenannten „Grätzelzellen“ oder auch farbstoffsensibilisierte Solarzellen die aktuellen Ansprüche, da aus ihnen mit Hilfe der unendlich verfügbaren Ressource Licht, Energie gewonnen werden. Dieser interessante Aspekt hatte zur Folge, dass ich mich für dieses Thema entschieden habe. Hinzu kommt mein großes Interesse am Fach Chemie und auch die aktuelle politische Situation, da aufgrund des Ukraine-Kriegs das Bemühen um Nachhaltigkeit bei der Beschaffung von Energie nachlässt und Deutschland sich derzeit in einer Energiekrise befindet.⁵ Folglich habe ich mich für das wichtige Thema „Die Solarzelle nach dem Vorbild der Natur Die Grätzelzelle“ entschieden. Daraus lässt sich die Leitfrage „Der Weg in eine moderne und saubere Zukunft?“ ableiten. Mir kam es sehr interessant vor zu untersuchen, inwiefern die Grätzelzelle eine neue potenzielle Energiequelle auf dem deutschen Markt sein könnte und inwiefern sie letztendlich auch für die Industrie realisierbar herstellbar ist. Die folgende Facharbeit beschäftigt sich mit der Grätzelzelle und zeigt, warum diese, im Hinblick auf das weltweit steigende Bedürfnis nach sauberen und erneuerbaren Energien, ein wichtiger Baustein für eine klimaneutrale Zukunft sein könnte. Zu Beginn der Arbeit

¹ <https://www.pv-magazine.de/2023/02/06/fortschrittsmonitor-energiewende-in-deutschland-verlaeuft-zu-langsam/> [05.03.23 15:34 Uhr]

² <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energiewende-technologien-2167086> [05.03.23 15:40 Uhr]

³ <https://kulturenergiebunker.de/einladung-zum-bau-einer-farbstoffsolarzelle/> [05.03.23 16:05 Uhr]

⁴ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 82f.

⁵ <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/zahlen-zu-strom-und-gas-wie-hart-die-krise-deutschland-trifft-18232227.html> [05.03.23 Uhr]

wird die Entstehung der Grätzelzelle und die in der Natur vorkommende Photosynthese näher beleuchtet, um so eine Grundlage für das Verständnis der chemischen Reaktionen in der farbstoffsensibilisierten Zelle zu schaffen. Anschließend wird der Aufbau der Zelle, unter Einbeziehung der chemischen Reaktionen zur näheren Erläuterung auch auf der Teilchenebene dargestellt. Der Leser gewinnt hierbei einen detaillierten Überblick über die Abläufe der Lichtreaktion innerhalb der Zelle. Folglich verdeutlicht die Facharbeit die Art der Übertragung des natürlichen Modells, basierend auf der Photosynthese in der Natur, auf das technische Produkt. Im Anschluss werden hierbei sowohl die Vor- und Nachteile abgewägt als auch die derzeitigen Anwendungsbereiche näher betrachtet.⁶ Dessen ungeachtet soll in dieser Arbeit die Solarzelle nicht nur theoretisch erklärt werden, sondern mithilfe eines Versuchs selber nachgebaut werden. Ziel dieser Arbeit ist es, die Fragestellung in Anbetracht der aktuellen Energiewende, fundiert zu beantworten. Die Absicht meiner Facharbeit ist es außerdem, auch den chemisch weniger versierten Lesern einen Überblick über die neue potenzielle regenerative Energiequelle zu verschaffen, die vielleicht den Durchbruch schaffen und damit eine wichtige Rolle bei der Förderung einer nachhaltigen Entwicklung spielen könnte. Durch die Erklärung des Aufbaus und des Experimentes sollte jeder Leser, die Art der bionischen Übertragung eines in der Natur vorkommenden Phänomens verstehen können.

2 Definition

2.1 Erfinder

Michael Grätzel ist ein schweizer Chemiker mit deutscher Abstammung und forscht hauptsächlich auf dem Gebiet der Photonik. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Photovoltaikzellen.⁷ Geboren wurde er 1944 in Dorfchemnitz in Sachsen und floh dann mit seiner Familie kurz vor dem Mauerbau nach West-Berlin. Dort promovierte er in Chemie an der Technischen Universität in Berlin und zog dann ins Ausland. Im Jahr 1977 wurde er an die technisch- naturwissenschaftliche Universität ETH in Lausanne (Schweiz) berufen. Seitdem forscht und doziert Michael Grätzel als Professor vor Ort und ist einer der größten Chemiker seiner Zeit.⁸ Er wird als „geistiger Vater“⁹ der Grätzelzelle

⁶ <https://www.eigensonne.de/ratgeber/photovoltaik/graetzelzelle/#h-kommerzielle-umsetzung-einer-farbstoffsolarzelle> [26.01.23 17:20 Uhr]

⁷ <https://www.elektroniknet.de/power/energy-harvesting/graetzel-zellen-startup-erhaelt-auszeichnung.187365.html> [26.01. 18.00 Uhr]

⁸ <https://www.handelszeitung.ch/panorama/chemieprofessor-michael-gratzel-hat-die-solarzelle-aus-farbstoff-entwickelt-254874> [29.01.23 16:22 Uhr]

⁹ <https://www.handelszeitung.ch/panorama/chemieprofessor-michael-gratzel-hat-die-solarzelle-aus-farbstoff-entwickelt-254874> [29.01.23 16:47 Uhr]

bezeichnet und gilt als „einer der Stars der Gilde“¹⁰, da sein Name schon vermehrt unter den Kandidaten für den Nobelpreis der Chemie aufgetaucht ist. Abgesehen davon ist er bereits mit zahlreichen internationalen Preisen ausgezeichnet worden und Mitglied von verschiedenen unabhängigen Organisationen, die fachdisziplinäre Spitzenforschung betreiben.¹¹

2.2 Geschichte/Entwicklung

Michael Grätzel und seine Mitarbeiter haben die farbstoffsensibilisierte Solarzelle erstmalig in den 1980er Jahren entwickelt und sie wurde daraufhin 1992 zum Patent angemeldet.¹² Die Solarzelle hat den Namen nach ihrem Erfinder Michael Grätzel erhalten, deswegen wird sie meistens schlicht Grätzelzelle genannt. Seine Idee war es, die herkömmlichen Solarzellen aus anorganischen Halbleitermaterialien, wie Silizium, zu verbessern, indem man der Natur abschaut, wie diese Licht in Energie umwandelt.¹³ Das Motto dabei war es, es „dem grünen Blatt“¹⁴ nachzumachen, was eine noch unbekanntere Herangehensweise an die herkömmlichen Solarzellen war. Seit langem war es das Ziel der Bionikforschung, diese Erkenntnis auf die Technik zu übertragen. In Anlehnung daran wird seine Technologie oft als künstliche Photosynthese bezeichnet, da die Natur den Vorgang schon seit Jahrmillionen Jahren ausführt.¹⁵ Deswegen wurde Michael Grätzel dabei vorerst belächelt. „Niemand hat an ihn geglaubt am Anfang[...] [d]as war einfach zu radikal“¹⁶ erklärt Peter Lund, der in Finnland an Solarzellen forscht. Somit fiel es ihm anfangs schwer, seine Idee zu realisieren. „Man muss Menschen finden, die an die Technologie glauben und das Geld zum Investieren haben“¹⁷, erklärt er. Bekanntermaßen ist die Nutzung der Sonnenenergie seit den frühesten Anfängen der Technologie mit hohen Kosten verbunden. Nichtsdestotrotz liegt die Technologie der Photovoltaikanlagen aufgrund der aktuellen Energiewende im Trend, da die Farbstoffzellen die Märkte, die von üblichen Siliziumzellen nicht hinreichend abgedeckt werden, übernehmen könnten.

¹⁰ <https://www.handelszeitung.ch/panorama/chemieprofessor-michael-gratzel-hat-die-solarzelle-aus-farbstoff-entwickelt-254874> [29.01.23 16:50 Uhr]

¹¹ https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Mitglieder/CV_Graetzel_Michael_D.pdf [29.01.23 17:00 Uhr]

¹² <https://www.photovoltaiik.org/wissen/graetzelzelle> [29.01.23 19:12 Uhr]

¹³ <https://www.balzan.org/de/preistraeger/michael-gratzel/> [31.01.23 14:24 Uhr]

¹⁴ <https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [31.01.23 20:45 Uhr]

¹⁵ https://www.int.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/corporate-technology-foresight/Newsletter7_2.html [31.01.23 20:55 Uhr]

¹⁶ <https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [31.01.23 21:02 Uhr]

¹⁷ <https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [31.01.23 22:15 Uhr]

2.3 Photosynthese in der Natur

Das bekannteste Beispiel für die Umwandlung von Sonnenenergie in chemisch nutzbare Energie ist sicherlich die Photosynthese. Sie ist der wichtigste Stoffwechselprozess in der Natur, denn der Ablauf gilt als Grundlage allen Lebens. Im Griechischen bedeutet phos Licht und synthesis Zusammenbau oder Zusammensetzung.¹⁸ Der Vorgang beschreibt folglich die Synthese von energiereichen Verbindungen aus energiearmen Verbindungen mit der Hilfe von Lichtenergie. Bei diesem biochemischen Vorgang, der bei Landpflanzen in den Chloroplasten stattfindet, wird zunächst die elektromagnetische Energie in Form des Lichts unter Verwendung von lichtabsorbierenden Farbstoffen absorbiert. Diese natürlichen Farbstoffe, die den Blättern ihre typische Farbe verleihen, werden von den Pflanzen gebildet und werden als akzessorische Pigmente bezeichnet.¹⁹ Anschließend erfolgt eine Umwandlung der „elektromagnetischen Energie durch Übertragung von Elektronen, die durch die Lichtenergie in einen energiereichen Zustand versetzt [werden][...].“²⁰ Es sind Lichtteilchen, sogenannte Photonen, die die Elektronen anregen. Diese Elektronen befinden sich in dem natürlichen grünen Farbstoff der Pflanze, dem Chlorophyll. Die Elektronen werden energetisch auf ein höheres Orbitalenergieniveau angehoben und werden so von dem Farbstoff freigesetzt. Diese Bewegung der Elektronen löst eine Reihe von chemischen Reaktionen aus, die Energie erzeugen. Vereinfacht bedeutet das im Kontext, dass das Licht elektrische Ladung durch die Anregung der Chlorophyllmoleküle erzeugt, die das Licht absorbieren.²¹ In den Pflanzen wird die Energie der Sonne nun zur Synthese verwendet, um energiereiche organische Verbindungen, wie Zuckermoleküle, herzustellen, sie fördert außerdem das Wachstum der Pflanze.²² In der Grätzelzelle hingegen wird die Energie genutzt, um elektrischen Strom zu erzeugen.

3 Die Grätzelzelle

3.1 Aufbau/Funktionsweise

Das komplexe Phänomen der Photosynthese wurde von internationalen Forschern entschlüsselt, allerdings scheiterten viele, als sie das Verfahren nachahmen wollten. Doch Michael Grätzel gelang es, nach dem Vorbild der Natur die farbstoffsensibilisierte Solarzelle zu reproduzieren. Demzufolge besteht die Grätzelzelle aus zwei Platten aus planaren Glaselektroden, die oftmals einen Abstand von nur wenigen Mikrometern

¹⁸ <https://studyflix.de/biologie/photosynthese-einfach-erklart-3827> [01.02.17.55 Uhr]

¹⁹ Bayrhuber, Horst et al.: Linder.Biologie. Auflage 19. Stuttgart: Carl Ernst Poeschel Verlag, 1983, S. 116ff.

²⁰ <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Photosynthese> [02.02.23 19:37 Uhr]

²¹ <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Photosynthese> [02.02.23 19:52 Uhr]

²² Röske, Helga: BIOskop. Gesamtband. Braunschweig: Westermann, 2015, S. 232 ff.

aufweisen. Beide Platten sind mit einem lichtdurchlässigen und elektrisch leitenden Oxid beschichtet, welches auch TCO [transparent conducting oxide] genannt wird. Diese TCO-Schicht besteht üblicherweise aus einem Titandioxid Halbleiter.²³ Diese auf der Innenseite beschichteten Platten sind die Elektroden in der Solarzelle und werden nach ihrer Funktion Arbeitselektrode, zur Bildung von Elektronen, und Gegenelektrode genannt. Normalerweise befindet sich auf der einen Seite der Arbeitselektrode die nanoporöse Schicht aus Titandioxid [TiO₂], auf deren Oberfläche eine Monoschicht des lichtempfindlichen Farbstoffes aufgebracht ist. Die Gegenelektrode ist mit einer dünnen katalytischen Schicht aus Graphit oder Platin beschichtet. Zwischen den Elektroden befindet sich ein Redoxelektrolyt, der sich im Kontakt mit der Gegenelektrode befindet. Der Redoxelektrolyt ermöglicht die Redoxreaktionen, die für die Funktion eine wichtige Rolle spielen. Dieser Bereich des Elektrolyts ist oftmals mit einer Lösung von Iod und Kaliumiodid gefüllt.²⁴ Der schematische Aufbau der Grätzelzelle [Abbildung 2]²⁵ zeigt vereinfacht, dass die Grätzelzelle aus verschiedenen angrenzenden Schichten besteht, die von zwei Glasplatten eingefasst sind. Zunächst besteht die erste Schicht aus der Arbeitselektrode mit der Schicht aus Titandioxid und der aufgetragenen Farbschicht. Nun folgt der Redox-Elektrolyt. Schließlich besteht die folgende Schicht aus Graphit, die dann abschließend von der Gegenelektrode mit der Glasplatte umschlossen wird.²⁶ Da die Zelle den natürlichen Prozess der Photosynthese in der Natur nachahmt, übernehmen die sensibilisierten und künstlichen Farbstoffmoleküle die eigentliche Rolle des natürlich enthaltenden Farbstoffs Chlorophyll in den Pflanzen. Sie haben dabei die Aufgabe, das Sonnenlicht einzufangen. In Folge der Absorption von dem Licht werden die Farbstoffmoleküle in einen angeregten Zustand versetzt und die Elektronen werden von den Farbstoffmolekülen gelöst, da ein Elektron infolge des einfallenden Sonnenlichts in den höheren Energiezustand angehoben wird. Das angeregte Niveau des Farbstoffes befindet sich nun oberhalb der Leitungsbandkante des Halbleiters aus Titandioxid, dadurch ist eine sogenannte Injektion der Elektronen in das Titandioxid möglich.²⁷ So verlieren die Farbstoffmoleküle die aufgenommene Energie wieder. Folglich nimmt das Titandioxid, welches elektrisch leitend ist, die frei werdenden Elektronen auf und diese werden zur Anode transportiert. Der Elektrolyt sorgt dafür, dass die Elektronen tatsächlich zu Anode gelangen. Als Katalysator für diesen Prozess dient die dünne

²³ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/piuz.202001578> [18.01.23 15:20 Uhr]

²⁴ https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Grätzel-Zelle?utm_content=cmp-true [19.01.23 14:45 Uhr]

²⁵ Abbildung 2 siehe S. 17

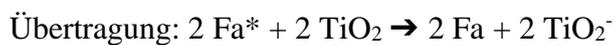
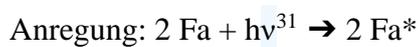
²⁶ <https://m.hausarbeiten.de/document/319600> [19.01.23 22:10]

²⁷ <https://www.physik.uni-bielefeld.de/didaktik/Experimente/Solar1.pdf> [19.01.23 22.43 Uhr]

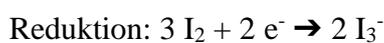
Graphitschicht. Das Redoxsystem der Elektrolyten reduziert also schlussendlich den ionisierten Farbstoff, denn die Elektronen fließen nun über ein elektrisches Gerät oder einen Verbraucher zur Kathode.²⁸ Dort reduzieren sie die Iod-Moleküle (I_2) zu Iodid-Ionen (I_3^-). Die Iodidionen geben die Elektronen wiederum an die Farbstoffmoleküle ab und werden dabei oxidiert. Der Stromkreis ist geschlossen. Die entstandene elektrische Spannung kann nun über den äußeren Stromkreis genutzt werden.²⁹

3.2 Chemische Reaktionen/Vorgänge

An den Redoxreaktionen in der Grätzelzelle sind im Allgemeinen die Farbstoffmoleküle, Iod-Moleküle, Iodid-Ionen beteiligt und die Ladungsträger: Elektronen. Das durch das absorbierte Licht angeregte Farbstoffmolekül Fa^* überträgt die Elektronen in das Leitungsband des Titandioxids. Nun sind die Farbstoffmoleküle einfach positiv geladen und das Titandioxid einfach negativ. [Abbildung 3]³⁰



Die Elektronen fließen zur Kathode und reduzieren dort die Iod-Moleküle zu Iodid-Ionen. Dieser Elektronenfluss ist nur möglich, da die Oxidation des Farbstoffmoleküls durch die Reduktion der Iod-Moleküle ausgeglichen werden kann.



Die Iodid-Ionen geben die Elektronen schlussendlich an die Farbstoffmoleküle ab und werden dabei oxidiert. Der Stromkreis ist geschlossen.



„Durch diese Redoxreaktionen im Elektrolyten regeneriert sich der Elektrolyt immer wieder von selbst und die Zelle könnte theoretisch unendlich lang arbeiten“³⁵, betonen Wissenschaftler.

3.3 Der Farbstoff

Der Farbstoff lässt sich als wichtiger Motor der Farbstoffzelle beschreiben, da er als Generator wirkt und viele wichtige Aufgaben erfüllt. Geeignet hierfür sind verschiedenste natürliche Farbstoffe, jedoch werden meistens Farbstoffe eingesetzt, die aus

²⁸ <https://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/solarzellen/graetzelzelle> [22.01.23 15:10 Uhr]

²⁹ Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S. 418f.

³⁰ Abbildung 3 siehe S. 18

³¹ H_v:Planck'sches Wirkungsquantum Im Allgemeinen bedeutet h_v, dass Lichtenergie zugeführt wird.

³² Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S. 419

³³ Bemerkung: Die Reaktionsgleichungen werden in anderen Quellen auch vereinfacht dargestellt.

³⁴ [https://medienportal.siemens-](https://medienportal.siemens-stiftung.org/portal/main.php?todo=metadata_search&searcharea=portal&crits%5Bmedialang%5D=de&options%5BsearchAndOr%5D=1&crits%5Bfree%5D=Grätzelzelle)

[stiftung.org/portal/main.php?todo=metadata_search&searcharea=portal&crits%5Bmedialang%5D=de&options%5BsearchAndOr%5D=1&crits%5Bfree%5D=Grätzelzelle](https://medienportal.siemens-stiftung.org/portal/main.php?todo=metadata_search&searcharea=portal&crits%5Bmedialang%5D=de&options%5BsearchAndOr%5D=1&crits%5Bfree%5D=Grätzelzelle) [11.3.23 14:45 Uhr]

³⁵ Bohrmann-Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 83

Rutheniumkomplexen bestehen. „[Der Komplex] ist [für] die Absorption von Licht und die Injektion von Elektronen in das Leitungsband des Titandioxids [zuständig].“³⁶ „Zur Zeit wird hauptsächlich der Ruthenium-Komplex cis-(NCS)₂ bis (4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine)-ruthenium(II) mit dem Trivialnamen [...] N719 [...] für [die] Farbstoffsolarzellen verwendet.“³⁷ Durch die zwei Carboxylatgruppen [COO⁻] wird der gesamte Farbstoff am Titandioxid befestigt und ermöglicht folglich einen guten elektrischen Kontakt [Abbildung 4].³⁸ Als Folge dessen verläuft die Übertragung eines Elektrons aus dem Farbstoff in das Titandioxid zügig ab. Hinzu kommt, dass fast das ganze einstrahlende Licht der Sonne absorbiert werden kann.³⁹

3.4 Die Elektroneninjektion in das Titandioxid

Der Farbstoff der Grätzelzelle ist ein Halbleiter.⁴⁰ Das bedeutet, dass man ihn, mit Blick auf die elektrische Leitfähigkeit, sowohl als Leiter als auch als Nichtleiter beschreiben kann.⁴¹ Er absorbiert das einfallende Licht, was zur Folge hat, dass ein Elektron in ein höheres Orbital angeregt wird. Durch die Energiezufuhr von dem einfallendem Licht lösen sich die Elektronen von den Farbmolekülen und es werden Elektronen-Loch-Paare erzeugt [Abbildung 5].⁴² Das Loch ist ein Elektronendefizit und demnach ein positiver Atomrumpf.⁴³ „Die Elektronen und Löcher driften beim Anlegen einer Spannung auseinander. Die Elektronen wandern in Richtung Anode und die Löcher zur Kathode.“⁴⁴ Auch mittels des Energiebändermodells kann das Prinzip erklärt werden.⁴⁵ Die vorhandenen Elektronen stehen als Ladungsträger zur Verfügung. Das Modell besteht aus zwei Energiebändern [Abbildung 6].⁴⁶ Zum einen gibt es das Valenzband mit den Valenzelektronen als Ladungsträgern, zum anderen das Leitungsband, welches nicht mit Elektronen besetzt ist. Jedes Elektron hinterlässt ein Loch im Valenzband, was von anderen Elektronen besetzt werden kann. Es treten immer die Elektronen-Loch-Paare auf, was bedeutet, dass es gleich viele negative wie positive Ladungen gibt. Zwischen dem Valenzband und dem Leitungsband ist eine Energielücke [Energy gap]. Aufgrund der

³⁶ <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [24.01.23 16:36 Uhr]

³⁷ <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [24.01.23 16:52 Uhr]

³⁸ Abbildung 4 siehe S. 18

³⁹ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 83

⁴⁰ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 81

⁴¹ <https://www.chemie.de/lexikon/Halbleiter.html> [10.03.23 20:16 Uhr]

⁴² Abbildung 5 siehe S. 19

⁴³ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 80

⁴⁴ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 80

⁴⁵ <https://www.halbleiter.org/grundlagen/leiter-nichtleiter-halbleiter/> [10.03.23]

⁴⁶ Abbildung 6 siehe S. 19

Lichtzufuhr kann diese Lücke jedoch überwunden werden.⁴⁷ Die angeregten Elektronen gelangen in das Leitungsband des Titandioxids, können dann durch den geschlossenen Stromkreis gelangen und die Iod-Moleküle reduzieren. Da die Elektronen immer den energetisch günstigsten Zustand annehmen, fallen sie ohne die Lichtzufuhr wieder in das Valenzband zurück.⁴⁸

4 Der Einsatzbereich/Branche

4.1 Entwicklung

Schaut man sich die Grätzelzelle und ihre Weiterentwicklung in den letzten Jahren an, dann fallen eklatante Unterschiede in Bezug auf die verwendeten Materialien auf. Nach ihrer Erfindung entstanden vermehrt Grätzelzellen mit unterschiedlichem Aufbau und einem dementsprechend anderen Funktionsprinzip. An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass die unterschiedlichen Varianten der Farbstoffsolarzelle, im Detail, erhebliche Unterschiede aufweisen.⁴⁹ In den ursprünglichen patentierten Zellen wurden die Ionen mittels des bekannten flüssigen Elektrolyten transportiert, doch mittlerweile kommen auch feste Lochleiter zum Einsatz. Das liegt daran, dass die Versiegelung und die Langzeitstabilität lange Zeit als ein ungelöstes Problem galten.⁵⁰ Es wurden Alternativen zum flüssigen Elektrolyt in der farbstoffsenisibilisierten Solarzelle gesucht, in welchem sich dennoch die Ionen bewegen können. „[Farbstoffsolarzellen] mit diesem Lochleitermaterial [können] einen energetischen Wirkungsgrad von über 21% [erzielen].“^{51 52} Dieser Wirkungsgrad konnte nur aufgrund noch anderer Verbesserungen erreicht werden. Das betrifft den verwendeten Farbstoff. Aktuell bestehen die fotoaktiven Moleküle, die am leistungsfähigsten sind, aus metallorganischen Komplexen. Diese werden auf der Basis von seltenen Metallen, wie Ruthenium oder auch Zinkporphyrin-Derivaten, hergestellt.⁵³ Anhand von weiteren Forschungen wurde ebenfalls der organische Farbstoff durch das Material Perowskit ersetzt. Diese sogenannten Perowskit-

⁴⁷ http://www.pci.tu-bs.de/aggericke/PC4/Kap_II/Metalle.htm [10.3.23 22:23 Uhr]

⁴⁸ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 80

⁴⁹ Cantile, Sara: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solarzelle/graetzelzelle> [08.03.23 22:24 Uhr]

⁵⁰ <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [10.03.23 16:22 Uhr]

⁵¹ <https://www.chemie.de/news/1169467/ein-rein-organischer-lochleiter.html> [11.03.23 9:15 Uhr]

⁵² Dabei lässt sich jedoch anmerken, dass dieser Wirkungsgrad aufgrund des veränderten Leitermaterials entsteht. Normalerweise würde die Zelle mit einem flüssigen Elektrolyten nach Grätzel einen Wirkungsgrad von 10,7% [<https://www.solarify.eu/2019/06/15/863-107-prozent-effizienzgrad-fuer-graetzelzelle/> [10.03.23 23:15 Uhr]] bis 12% [<https://www.lehrer-online.de/unterricht/sekundarstufen/naturwissenschaften/chemie/unterrichtseinheit/seite/ue/selbstbau-einer-farbstoffsolarzelle/visualisierungen-und-fazit-zur-graetzel-zelle/> [11.03.23 10:17 Uhr]] aufweisen.

⁵³ Zinkporphyrin-Derivate sind schon seit langer Zeit ein interessantes Synthesziel. Obwohl die symmetrische Verbindung als relativ unkomplex gilt, stellt die Herstellung in industriellen Maßstäben ein Problem dar. Die Materialien sind schwer synthetisierbar.

Zellen erzielen einen noch höheren Wirkungsgrad. Doch die Herstellung mit diesem Ausgangsmaterial ist fragwürdig, da es erhebliche Nachteile gibt. Die Erzeugung des benötigten Perowskit ist umweltschädlich und ebenfalls gesundheitsschädlich. Das liegt vor allem daran, dass die Ausgangsstoffe der Perowskite in spezielle Lösungsmittel eingetaucht werden. In der Regel lösen diese Dimethylformamide zahlreiche Erkrankungen, wie Lebererkrankungen oder Entzündungen des Magen-Darm-Traktes, aus.⁵⁴ Hinzu kommt, dass „[e]rst kürzlich beispielsweise festgestellt [wurde], dass der Wirkungsgrad deutlich gesteigert werden kann, wenn der synthetische Farbstoff in einer regelmäßigen Gitterstruktur kristallisiert.“⁵⁵ Diese Verbesserung wird durch das spezielle Auftragen des Farbstoffs erreicht. So wird nur wenig Farbstoff aufgetragen, sodass die Vertiefungen in der Oberfläche des Titandioxids damit ausgefüllt werden können und die ganze Oberfläche insgesamt glatter ist.⁵⁶

4.2 Vor- und Nachteile

Die Herstellung von erneuerbaren Energien mittels der Sonnenenergie ist derzeit ein viel diskutiertes Thema und wird darüber hinaus oftmals als die fundamentale und ausschlaggebende Kraft in der heutigen Zeit der Energiewende bezeichnet. Gerade der Gedanke einer klimaneutralen und dennoch leistungsfähigen Solarzelle, die vielleicht bald in großen Teilen der Infrastruktur verbaut ist, gewinnt immer mehr an Beliebtheit. Allerdings stellt sich die Frage, was die Problematik dabei ist und was der entscheidende Punkt dafür ist, dass die Grätzelzelle noch nicht weit verbreitet, überhaupt geläufig und noch nicht in großen industriellen Maßstäben herzustellen ist. Die Vorteile liegen auf der Hand. Schon bei der Herstellung weist die Grätzelzelle eine hohe Zweckdienlichkeit auf. So hat sie einen Preisvorteil gegenüber herkömmlichen Solarzellen aufgrund des geringen Rohstoffbedarfs und der benötigten Energie bei der Herstellung.⁵⁷ Des Weiteren besitzt die Solarzelle eine geringe Schichtdicke, das konkret bedeutet, dass der Materialaufwand insgesamt gering ist und nur wenige und ungiftige Rohstoffe verwendet werden. Damit trägt die Zelle aktiv dem Umweltschutz bei.⁵⁸ Außerdem ist die Solarzelle flexibel in Gebäude integrierbar und passt sich jeder Form der Architektur an, da sie beliebige Formen und Farben annehmen kann. Folglich ist der Anwendungsbereich groß und die

⁵⁴ https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/biologie_allgmzoo/institut/sicherheit/stoffbez/dimethylformamid_azg.pdf [10.03.23 19:55 Uhr]

⁵⁵ <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [10.03.23 19:00 Uhr]

⁵⁶ <https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [10.03.23 19:30 Uhr]

⁵⁷ <https://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/solarzellen/graetzelzelle> [12.02.23 14:09 Uhr]

⁵⁸ <https://photovoltaik.one/graetzelzelle> [13.02.23 15:20 Uhr]

Zelle kann neben dem optischen Aspekt, oft ist die semi-transparente und farbige Gestaltung bekannt [Abbildung 7],⁵⁹ auch das Licht der Sonne komplett ausnutzen.⁶⁰ Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass sich die Grätzelzelle auf vielen verschiedenen Trägermaterialien anbringen lässt, wie zum Beispiel auf Glas oder elastischen Folien. Der Wirkungsgrad ist ebenfalls kaum temperaturabhängig. Die Solarzelle kann das Lichtspektrum sehr gut ausnutzen, was bedeutet, dass sie auch bei diffusem Licht wegen Bewölkung einen hohen Wirkungsgrad aufweist.⁶¹ Demgegenüber stehen jedoch auch negative Aspekte, die betrachtet werden sollten. So liegt der gesamte Wirkungsgrad der Solarzelle bei circa 10%⁶² und auch die Lebensdauer ist eher gering. Durch die Verwendung von synthetischen Farbstoffen könnte das Problem gelöst werden, jedoch steigen dann wiederum die Kosten und folglich der Energieverbrauch.⁶³ Hinzu kommt, dass sich der natürliche Farbstoff nach längerer Lebensdauer auflöst und die Leistung abnimmt. Diese mangelnde Langzeitstabilität ist auf die Schwierigkeit mit der Abdichtung der Grätzelzelle zurück zu führen.⁶⁴ Bisher konnte noch kein Trägermaterial entwickelt werden, welches UV-beständig und gasdicht ist. So sind die diversen Bestandteile instabil, da das Licht auf Dauer die Farbstoffe zerstört und die wässrigen Bestandteile verdampfen.⁶⁵ Es lässt sich festhalten, dass die Vorteile der Grätzelzelle im Hinblick auf die Zukunft deutlich überwiegen, da die Zelle auch in Entwicklungsländern finanzierbar sein könnte, wenn sie mittels intensiver Forschung weiter entwickelt wird und sich dadurch wohlmöglich ein höherer Wirkungsgrad erreichen lässt.

4.3 Anwendungsbereiche

Die Grätzelzellen können heutzutage sehr breit eingesetzt werden. Viele Forscher beschäftigen sich derzeit mit den potenziellen Anwendungsgebieten. So können die Zellen sowohl an Glasfassaden von Hochhäusern angebracht als auch in Innenräume integriert werden.⁶⁶ Des öfteren werden die Grätzelzellen auch in Möbelstücke oder in Lampen integriert.⁶⁷ Darüber hinaus ist der Anwendungsbereich jedoch noch vielfältiger,

⁵⁹ Abbildung 7 siehe S. 19

⁶⁰ <https://www.kesselheld.de/farbstoffsolarzelle/> [11.03.23 11:22 Uhr]

⁶¹ <https://www.eigensonne.de/ratgeber/photovoltaik/graetzelzelle/> [11.03.23 15:17 Uhr]

⁶² <https://www.solarify.eu/2019/06/15/863-107-prozent-effizienzgrad-fuer-graetzelzelle/> [10.03.23 14:15 Uhr]

⁶³ <https://www.solarify.eu/2019/06/15/863-107-prozent-effizienzgrad-fuer-graetzelzelle/> [10.03.23 15:11 Uhr]

⁶⁴ <https://www.photovoltaik.org> [11.02.23 15:24 Uhr]

⁶⁵ <https://www.kesselheld.de/farbstoffsolarzelle/> [11.03.23 16:22 Uhr]

⁶⁶

https://www.bauinnovationen.ch/fileadmin/ablage/Bauinnovationen/PDF_Artikel_Bauinnovationen/BB_1312_EPFL_Solar.pdf [24.02.23 17:00 Uhr]

⁶⁷ https://www.zeit.de/wissen/2010-06/millennium-preis-solarzelle/seite-2?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.de%2F [11.03.23 14:02 Uhr]

da die Farbstoffsolarzellen bereits in Rucksäcken verbaut sind, um das eigene Handy damit aufzuladen.⁶⁸ Auch in Textilien soll die Farbstoffsolarzelle verbaut werden, so kombinieren Forschende die Zelle direkt in das Textilgewebe.⁶⁹ Das Projekt „SolarFlex“ beschäftigt sich mit dem direkten Aufladen von Geräten mittels der verbauten Grätzelzellen. „Dadurch kann sich ein breites Anwendungsgebiet[,] beispielsweise im Outdoor-Sektor[,] eröffnen[...] um sich autark mit Strom zu versorgen.“⁷⁰ Als Beispiel hierfür werden die Farbstoffzellen zum Beispiel in Markisen oder Zelte integriert und finden auch sonst viele weitere Anwendungsbereiche.⁷¹

5 Projektarbeit

Wie einfach anwendbar das Prinzip der Solarzellen schlussendlich ist, lässt sich anhand der selbst durchgeführten Versuchsreihe⁷² erkennen. Im Vordergrund meiner Experimentierarbeit stand das eigene Erforschen und Experimentieren mit den unterschiedlichen Farbstoffen und den Veränderungen von äußerlichen Einflussfaktoren sowie die Frage wie sich diese auf den Wirkungsgrad der Zelle auswirken. Anhand der durchgeführten Versuchsreihe lassen sich Schlussfolgerungen ziehen und in Bezug auf die zukünftige potenzielle Nutzung erweiternd ergänzen. Anfangs hatte ich mir die Frage gestellt, inwiefern die Grätzelzelle schlussendlich das nötige Potenzial hat, um sich auf dem deutschen Markt durchzusetzen. Während des Versuchs ist mir aufgefallen, dass die Herstellung doch komplexer und in vielschichtiger Weise mit Problemen behaftet ist. Schnell kamen bei mir Zweifel auf, ob die Grätzellen überhaupt das nötige Potenzial haben und für die Zukunft geeignet sind. Hinzu kommt, dass die Zelle selber zusammengebaut und dadurch selber hergestellt wurde. Die verschiedensten Farbstoffe werden alltäglich verwendet und sind fast überall erhältlich, was der Zelle einen Realitätsbezug gibt und in Bezug auf die nachhaltige Herstellung von erneuerbaren Energiequellen interessant ist.

6 Fazit

Nach der ausführlichen Beschäftigung mit der Grätzelzelle im Rahmen meiner Arbeit lässt sich die Frage: „Der Weg in eine saubere und moderne Zukunft?“ wie folgt

⁶⁸ <https://www.iwr.de/news/forschende-entwickeln-neue-naturfarbstoff-solarzelle-fuer-textilien-news37723> [11.03.23 19:37 Uhr]

⁶⁹ <https://www.energy-in-motion.tu-berlin.de/wp-content/uploads/2019/03/Wissen-Zukunft-Graetzelzelle-Funktionsweise.pdf> [11.03.23 20:24 Uhr]

⁷⁰ <https://www.iwr.de/news/forschende-entwickeln-neue-naturfarbstoff-solarzelle-fuer-textilien-news37723> [11.03.23 19:47 Uhr]

⁷¹ <https://www.iwr.de/news/forschende-entwickeln-neue-naturfarbstoff-solarzelle-fuer-textilien-news37723> [11.03.23 20:20 Uhr]

⁷² Siehe S. 20 [Anhang/ Das Versuchsprotokoll]

beurteilen. Meiner Meinung nach lässt sich die Frage nicht eindeutig beantworten. Mehrere Faktoren beeinflussen mein abschließendes Urteil. Um dennoch zu einem konkreten Fazit zu kommen fasse, ich die wesentlichen Aussagen und Erkenntnisse meiner Arbeit nochmal zusammen. Der biochemische Prozess in den Solarzellen, nach dem Vorbild der Photosynthese, läuft bei den Pflanzen schon seit vielen Milliarden Jahren ab. Das lässt die grundsätzliche Effizienz des Vorgangs erkennen. Außerdem ist der Aufbau mit der geringen Schichtdicke, bestehend aus den angrenzenden Schichten, relativ ressourcenarm, umweltschonend und verständlich. Anhand des geschlossenen Stromkreises in der Grätzelzelle lässt sich erkennen, dass die Reaktionen reversibel sind und womöglich unendlich weiter laufen könnten. Hinzu kommt, dass die Grätzelzellen sehr breit eingesetzt, etwa an Außenfassaden und in Gebäude angebracht oder sogar in Textilien integriert werden können. Die Nachteile, wie der geringe Wirkungsgrad und die geringe Langzeitstabilität, lassen sich jedoch mittels der Forschung noch verbessern. Für marktreife Zellen muss die Wissenschaft in das Gebiet investieren, um die Nachteile deutlich zu optimieren. Es ist der Preisvorteil, der der Grätzelzelle zum Durchbruch verhelfen könnte. Der Versuch erbrachte, entgegen meiner Erwartungen, die Erkenntnis, dass der Wirkungsgrad bei der selbst hergestellten Zelle sehr niedrig war und ich die vielen komplexeren auftretenden Probleme nur mit Vermutungen erklären kann. Dennoch ließ sich annähernd erkennen, dass sich eine funktionierende Zelle schon mit relativ alltäglichen Mitteln selber herstellen lässt. Meines Erachtens nach sollte die Wissenschaft sich mit der Grätzelzelle beschäftigen, um den Wirkungsgrad zu steigern, da sie den Siliziumzellen eine ernstzunehmende Konkurrenz ist. Abschließend lässt sich sagen, dass ich aufgrund der Verknüpfung des theoretischen Teils mit der Praxis sehr wertvolle Erfahrungen gemacht und vor allem tiefere Eindrücke von dem Fach Chemie erhalten habe. Meiner Meinung nach habe ich die richtige Themenwahl getroffen, da ich mich gerne mit der Grätzelzelle auseinandergesetzt habe und sie aufgrund der aktuellen Lage eine Möglichkeit zur Problemlösung offenbart. Es bleibt spannend, inwiefern sich die Grätzelzelle in Zukunft bewährt und wie die Energiewende von Deutschland aus gestaltet wird. Denn eins kann abschließend gesagt werden: Die Grätzelzelle bietet einen potenziellen und sicheren Weg für den Ausbau von erneuerbaren Energien und kann aufgrund der großen Variationsbreite modern in verschiedenste Gebäude integriert werden. Schlussendlich sollte die Grätzelzelle als potenzielle erneuerbare Energiequelle angesehen werden und man sollte dem ganzen Projekt eine Chance geben.

Literaturverzeichnis

Primärliteratur

Bayrhuber, Horst et al.: Linder.Biologie. Auflage 19. Stuttgart: Carl Ernst Poeschel Verlag, 1983, S.116 ff.

Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S.418 ff.

Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 80ff.

Röske, Helga: BIOskop. Gesamtband. Braunschweig: Westermann, 2015, S. 232ff.

Internetquellen

Arnold, Heinz: Grätzel- Zellen- Startup erhält Auszeichnung:
<https://www.elektroniknet.de/power/energy-harvesting/graetzel-zellen-startup-erhaelt-auszeichnung.187365.html> [26.01. 18.00 Uhr]

Connor, Nick: Was ist Silizium als Halbleiter- Eigenschaften-
Definition:https://www.radiation-dosimetry.org/de/was-ist-silizium-als-halbleiter-eigenschaften-definition/?utm_content=cmp-true [11.03.23 14:03 Uhr]

Curriculum Vitae Prof. Dr. Michael Grätzel:
https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Mitglieder/CV_Graetzel_Michael_D.pdf [29.01.23 17:00 Uhr]

Die Farbstoffsolarzelle (Grätzelzelle): <https://www.energy-in-motion.tu-berlin.de/wp-content/uploads/2019/03/Wissen-Zukunft-Graetzelzelle-Funktionsweise.pdf> [11.03.23 20:24 Uhr]

East China University of Science and Technology: Ein rein organischer Lochleiter:
<https://www.chemie.de/news/1169467/ein-rein-organischer-lochleiter.html> [11.03.23 9:15 Uhr]

Einladung zum Bau einer Farbstoffsolarzelle: <https://kulturenergiebunker.de/einladung-zum-bau-einer-farbstoffsolarzelle/> [05.03.23 16:05]

Ehrmann, Andrea et al.: Solarstrom aus Früchtete: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/piuz.202001578> [18.01.23 15:20 Uhr]

Farbstoffe statt Silizium- die Grätzelzelle: <https://www.gesundes-haus.ch/solarzellen-photovoltaik/farbstoffe-statt-silizium-die-graetzelzelle.html> [11.03.23 16:17 Uhr]

Farbstoffsolarzelle: Aufbau, Wirkungsgrad & Entwicklung:
<https://www.kesselheld.de/farbstoffsolarzelle/> [11.03.23 11:22 Uhr]

Fedorets, Olexiy: Herstellung und Optimierung von farbstoffsensibilisierten organischen Solarzellen: <https://leibniz-gymnasium.net/files/content/downloads/mint/Projektarbeit.pdf#page11> [11.03.23 17:00 Uhr]

Forschende entwickeln neue Naturfarbstoff- Solarzelle für Textilien:
<https://www.iwr.de/news/forschende-entwickeln-neue-naturfarbstoff-solarzelle-fuer-textilien-news37723> [11.03.23 19:37 Uhr]

Fromme, Bärbel: Bau einfacher Solarzellen: <https://www.physik.uni-bielefeld.de/didaktik/Experimente/Solar1.pdf> [19.01.23 22:43 Uhr]

Grätzelzelle- Alternative zur Solarzelle auf Silizium- Basis:
<https://www.eigensonne.de/ratgeber/photovoltaik/graetzelzelle/#h-kommerzielle-umsetzung-einer-farbstoffsolarzelle> [26.01.23 17:20]

Grätzelzelle: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Grätzel-Zelle?utm_content=cmp-true [19.01.23 14:45 Uhr]

Grätzelzelle: <https://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/solarzellen/graetzelzelle> [22.01.23 15:10 Uhr]

Halbleiter: <https://www.chemie.de/lexikon/Halbleiter.html> [10.03.23 20:16 Uhr]

Halbleitertechnologie: <https://www.halbleiter.org/grundlagen/leiter-nichtleiter-halbleiter/> [10.03.23]

Hannen, Petra: Energiewende in Deutschland verläuft zu langsam: <https://www.pv-magazine.de/2023/02/06/fortschrittsmonitor-energiewende-in-deutschland-verlaeuft-zu-langsam/> [05.03.23 15:34]

<http://www.weltderphysik.de/> [07.03.23 21:24 Uhr]

https://medienportal.siemensstiftung.org/portal/main.php?todo=metadata_search&searcharea=portal&crits%5Bmedialang%5D=de&options%5BsearchAndOr%5D=1&crits%5Bfree%5D=Grätzelzelle
[11.3.23 14:45 Uhr]

Kupferschmidt, Kai: Technologiepreis Solarzellen von morgen:
<https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [31.01.23 20:45 Uhr]

Metalle- Bändermodell: http://www.pci.tu-bs.de/aggericke/PC4/Kap_II/Metalle.htm
[10.3.23 22:23 Uhr]

Michael Grätzel: Balzan Preis 2009 für Materialwissenschaften:
<https://www.balzan.org/de/preistraeger/michael-gratzel/> [31.01.23 14:24 Uhr]

Millenniumpreis für die Solarzelle von morgen: https://www.zeit.de/wissen/2010-06/millennium-preis-solarzelle/seite-2?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.de%2F [11.03.23 14:02 Uhr]

N,N- Dimethylformamid [68-12-2]: Gefahren für Mensch und Umwelt:
https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/biologie_allgmzoo/institut/sicherheit/stoffbez/dimethylformamid_azg.pdf [10.03.23 19:55 Uhr]

Normans, Erik: Fotosynthese als Vorbild:

<https://www.handelszeitung.ch/panorama/chemieprofessor-michael-gratzel-hat-die-solarzelle-aus-farbstoff-entwickelt-254874> [29.01.23 16:22 Uhr]

Organische Grätzel- Zellen: Funktionsweise & technische Weiterentwicklung: Cantile, Sara: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solarzelle/graetzel-zelle> [08.03.23 22:24 Uhr]

Photosynthese: <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Photosynthese> [02.02.23 19:37 Uhr]

Premiere für die Grätzelzelle: ETH Lausanne:

https://www.bauinnovationen.ch/fileadmin/ablage/Bauinnovationen/PDF_Artikel_Bauinnovationen/BB_1312_EPFL_Solar.pdf [24.02.23 17:00 Uhr]

Schmied, Bastian: Farbstoffsensibilisierte Solarzellen. Eine bionische Umsetzung der Photosynthese: <https://m.hausarbeiten.de/document/319600> [19.01.23 22:10]

Schulte- Loosen, Anna: künstliche Photosynthese:

https://www.int.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/corporate-technology-foresight/Newsletter7_2.html [31.01.23 20:55 Uhr]

Solarportal: <https://www.photovoltaik.org/wissen/graetzelzelle> [29.01.23 19:12 Uhr]

Strom durch künstliche Photosynthese: Lederer, Sophie: <http://www.young-science-magazin.com/2015/strom-durch-kuenstliche-photosynthese/> [10.03.23]

Technologien für die Energiewende stärken: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energiewende-technologien-2167086> [05.03.23 15:40]

Visualisierung und Fazit zur Grätzel- Zelle: <https://www.lehrer-online.de/unterricht/sekundarstufen/naturwissenschaften/chemie/unterrichtseinheit/seite/ue/selbstbau-einer-farbstoffsolarzelle/visualisierungen-und-fazit-zur-graetzel-zelle/>

[11.03.23 10:17 Uhr]

Wagner, Jochen: Modellierung von Farbstoffsolarzellen mit polymerem Lochleiter:

<https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [24.01.23 16:36 Uhr]

Was ist eine Grätzelzelle?: <https://photovoltaik.one/graetzelzelle> [13.02.23 15:20 Uhr]

Wie das Halbleitermaterial die globale Wirtschaft im Griff hat: <https://krannich-solar.com/ch-de/blog/silizium-wie-das-halbleitermaterial-die-globale-wirtschaft-im-griff-hat/> [11.03.23 19:00 Uhr]

Zander, Corinna et al.: Energie in Deutschland- in täglich aktualisierten Grafiken:

<https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/zahlen-zu-strom-und-gas-wie-hart-die-krise-deutschland-trifft-18232227.html> [05.03.23]

10,7 Prozent Effizienzstandards für Grätzelzelle:

<https://www.solarify.eu/2019/06/15/863-107-prozent-effizienzgrad-fuer-graetzelzelle/> [10.03.23 23:15 Uhr]

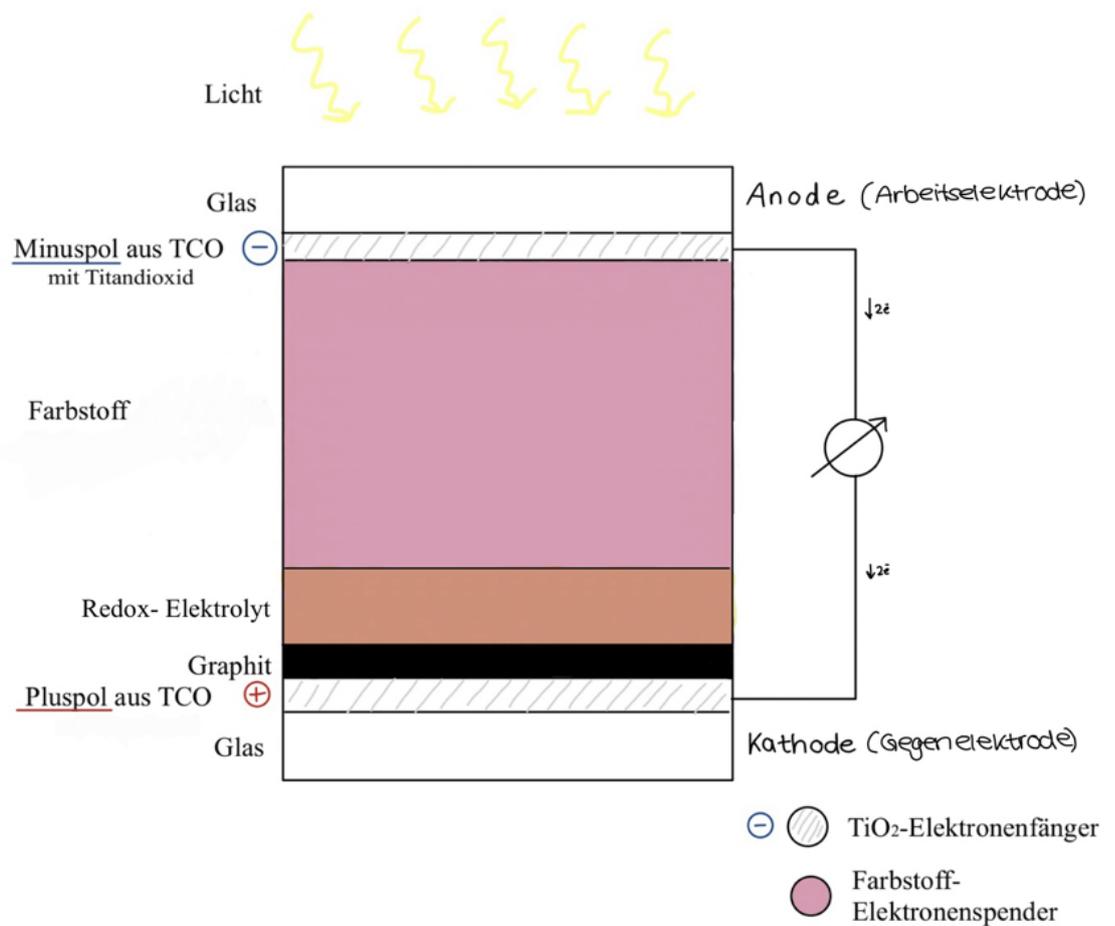
Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Das Gebäude der Ecole Polytechnique Lausanne (Universität) mit einer Fassade bestehend aus Grätzelzellen.⁷³

Abbildung 2:

Der schematische Aufbau der Grätzelzelle.⁷⁴



⁷³ <http://www.weltderphysik.de/> [07.03.23 21:24 Uhr]

⁷⁴ Selbst erstellt nach: Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S. 418

Abbildung 3:
Chemische Reaktionen in der Grätzelzelle.⁷⁵

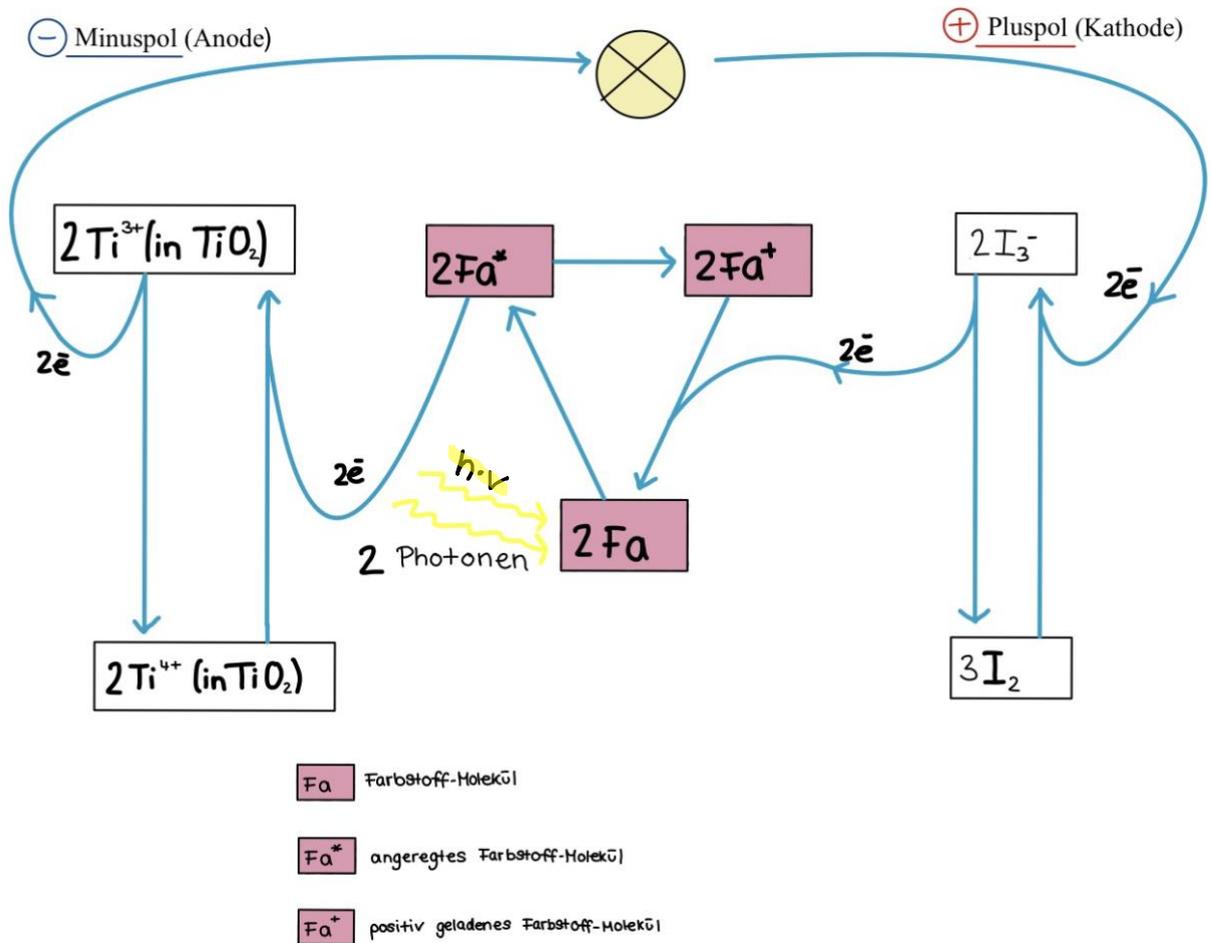
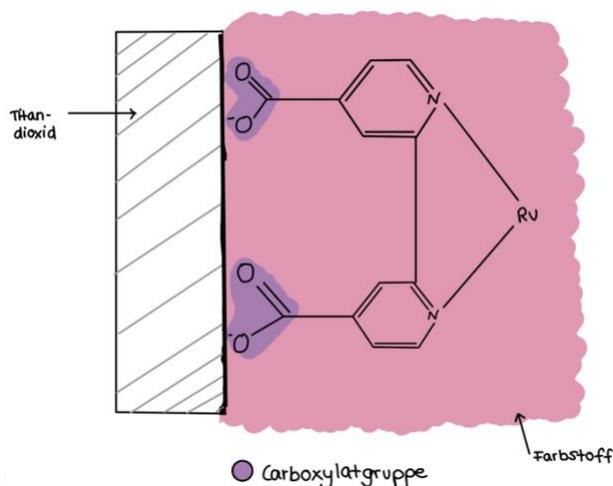


Abbildung 4:
Absorption des Farbstoffes an der Titandioxidschicht.⁷⁶



⁷⁵ Selbst erstellt nach:

Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S. 418
https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Grätzel-Zelle?utm_content=cmp-true [08.03.23 14:25 Uhr]

⁷⁶ Selbst erstellt nach:

Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S. 418
<https://freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:1437/datastreams/FILE1/content> [08.03.23 19:52 Uhr]

Abbildung 5:
Schematische Elektroneninjektion in das Titandioxid.⁷⁷

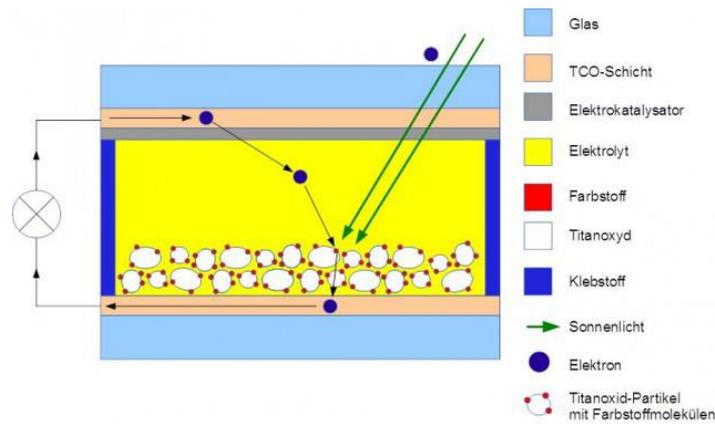


Abbildung 6:
Das Bändermodell für Halbleiter.⁷⁸

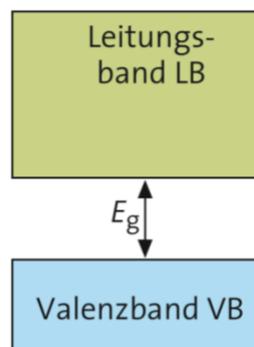


Abbildung 7:
Die Grätzelzellen in beliebigen Farben.⁷⁹

⁷⁷ Lederer, Sophie: <http://www.young-science-magazin.com/2015/strom-durch-kuenstliche-photosynthese/> [10.03.23]

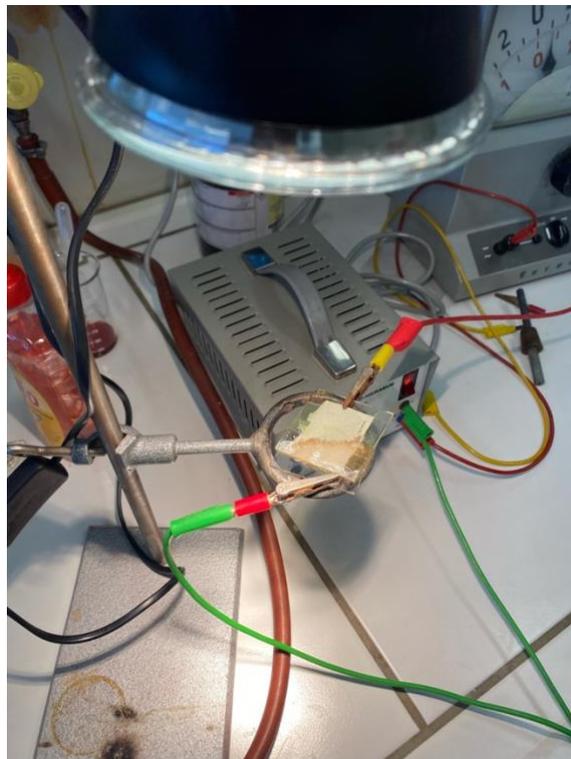
⁷⁸ Bohrmann- Linde, Claudia et al.: Chemie 2000+. Bamberg: C.C. Buchner, 2015, S. 80

⁷⁹ Cantile, Sara: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solarzelle/graetzelzelle> [08.03.23 22:24 Uhr]

Anhang
Das Versuchsprotokoll

Versuchsprotokoll

*Lässt sich der Wirkungsgrad der Grätzelzelle durch Veränderungen
des Farbstoffes und äußere Einflüsse beeinflussen?*



80

Verfasserin: Anna Welz
Versuchsdatum: 15.02.2023
Betreuende Lehrkraft: Frau Weber

⁸⁰ Die im Versuchsprotokoll dargestellten Bilder wurden selbst aufgenommen.

Versuchsziel:

In diesem Versuch wird im Allgemeinen unter der Hauptfragestellung meiner Facharbeit die Grätzelzelle mit ihrem Wirkungsgrad genauer untersucht. Dabei lassen sich drei Versuchsfragen erläutern. Ist der Wirkungsgrad der Grätzelzelle mittels unterschiedlicher Farbstoffe oder dem einfallenden Licht beeinflussbar? Lässt sich der Wirkungsgrad mithilfe einer Reihenschaltung verbessern? Und welchen Einfluss hat eine intensive Sonneneinstrahlung auf den Farbstoff in der Zelle?

Material:

1. Grätzelzelle:
 - TCO-beschichtete Glasplatten, TiO_2 -Pastemix (Titandioxidpulver, Eisessig und Spüli), Elektrolytlösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung)
2. Farbstoffe: Hibiskustee, selbst hergestellte Chlorophyll-Lösung (Quarzsand, Mörser, grüne Blätter, Ethanol, Filterpapier mit einem Trichter)
3. Sonstige Materialien:
 - Spatel, Messzylinder, Glasscheiben, Pipette, Tiegelzange, durchsichtige Klebestreifen (Rolle), Brenner mit Stativ und Ceranplatte, Petrischalen, Bechergläser, Haartrockner, Vielfachmessgerät, weicher Bleistift, Taschenlampe, Wasserkocher, Verbindungsleitungen mit Krokodilklemmen, Stativ mit Lampe

Versuchsaufbau:



Herstellung beider Farbstoffe

Wasserkocher, Hibiskustee, Ethanol, Mörser, Becherglas und Petrischalen



grüne Blätter, Quarzsand und Filterpapier mit einem Trichter





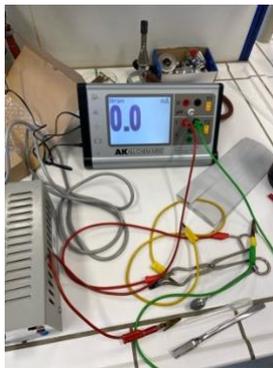
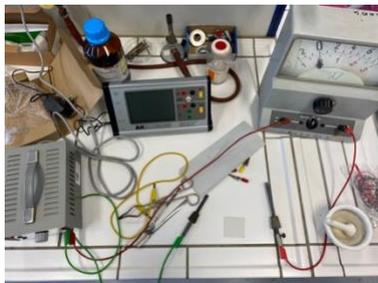
Bau der Grätzelzelle



Vielfachmessgerät, Verbindungsleitungen mit Krokodilklemmen, Spatel und Tiegelzange



TCO-beschichtete Glasplatten

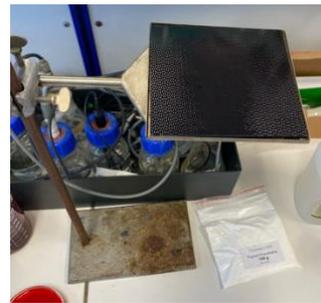


durchsichtige Klebestreifen (Rolle)

Herstellung des TiO₂-Pastemixes



Titandioxidpulver,
Eisessig und Spüli



Stativ und Ceranplatte



Messzylinder



Becherglas und
Pipette



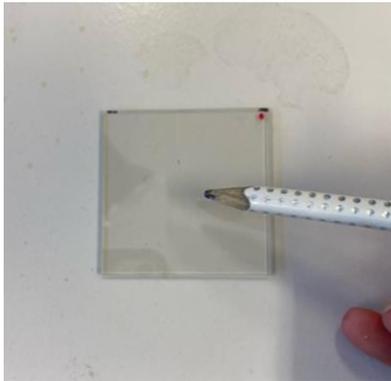
Glasscheiben



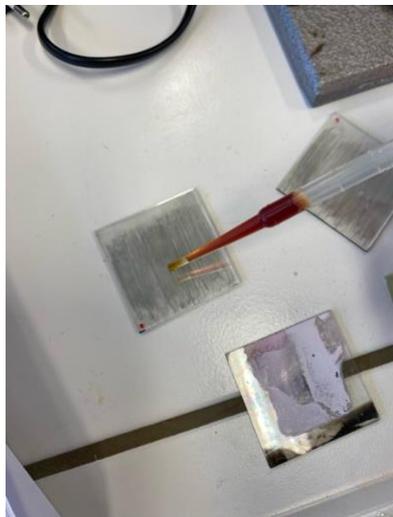
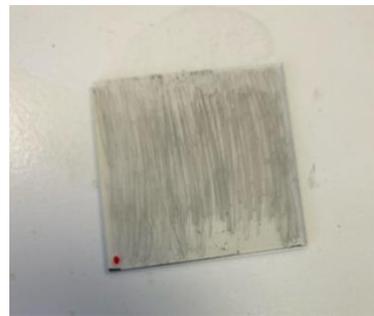
Brenner mit Stativ und Ceranplatte



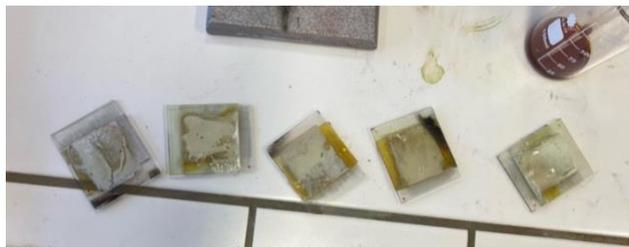
Haartrockner



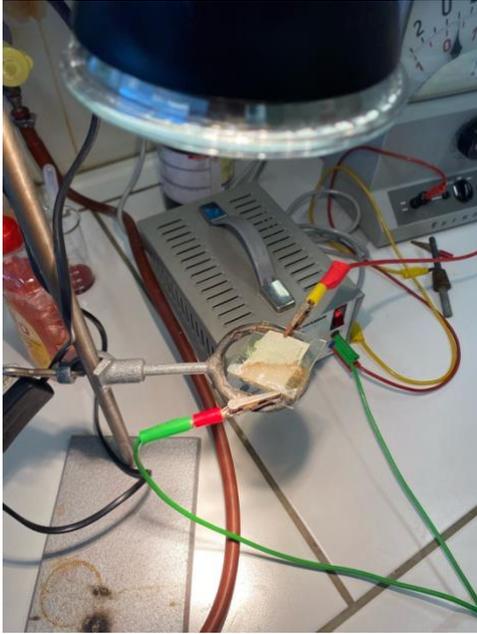
weicher Bleistift



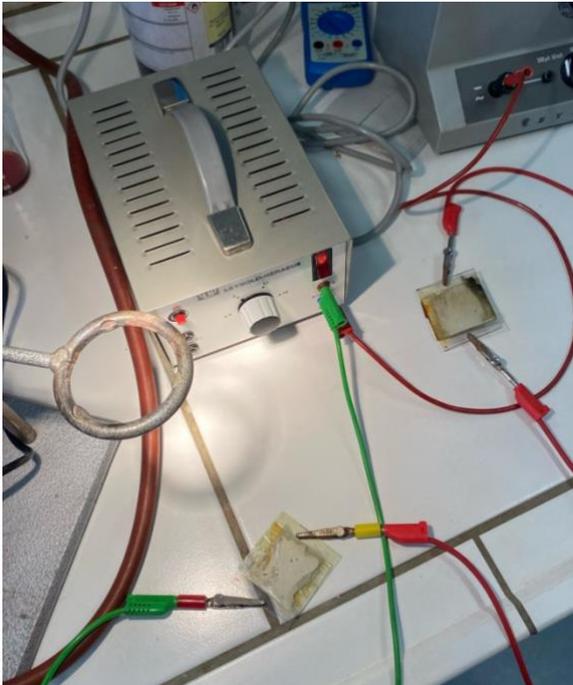
Elektrolytlösung (Kaliumiodid-Lösung)



Messungen



Stativ mit Lampe, Taschenlampe



Versuchsdurchführung:

Vorbereitung der Farbstoffe:

Die Hibiskusteebeutel werden mit kochendem Wasser versetzt und werden circa 5 Minuten ziehen gelassen. Der Tee wird dann in eine Glasschale abgegossen. Für die Chlorophyll-Lösung werden Blätter mit Quarzsand gemörsert, dann wird schrittweise das Lösungsmittel Ethanol hinzugegeben, bis die Lösung trüb und dunkelgrün wird. Dabei wird der Farbstoffextrakt Chlorophyll aus der Pflanze gelöst. Nun wird die Lösung mit einem Filterpapier filtriert. Die Farbstofflösungen können danach in Petrischalen umgefüllt werden.

Bau der Grätzelzelle:

Mit Hilfe der Widerstandsmessung wird als erstes bestimmt, auf welcher Seite der TCO-Platten die elektrisch leitende Schicht aufgebracht ist. Folglich werden die Platten so auf den Tisch gelegt und gekennzeichnet, dass die leitfähige Schicht nach oben zeigt. Nun werden drei Klebestreifen auf die leitende Seite der Glasplatten geklebt und auf dem Tisch befestigt. Ein schmaler Teil der Ränder von den Platten sollte nun abgedeckt sein. Die Titandioxid-Lösung wird wie folgt hergestellt. Es werden 200 mg des Titandioxidpulver abgewogen und mit 1 ml Eisessig verührt. Zu der entstandenen Suspension wird ein Tropfen Spüli hinzugegeben und nochmals verührt. Dann werden 2 bis 3 Tropfen von der hergestellten Titandioxid-Lösung auf die TCO-Schicht aufgebracht. Die TCO-Platten werden auf einer Seite mittels einer Glasscheibe erhöht, damit die überflüssige Suspension langsam am unteren Ende der Platte runterlaufen kann und somit die Oberfläche relativ glatt ist, denn es sollte eine regelmäßige und dünne Schicht entstehen. Die aufgetragene Schicht wird 10 Minuten trocknen gelassen und dann werden die Klebestreifen abgezogen. Die beschichteten Platten werden auf einer Ceranplatte circa 5 Minuten erhitzt, so dass sich die Schicht weiß verfärbt und nun vollständig getrocknet ist. Dann werden die TCO-Platten auf der Ceranplatte circa 10 Minuten ruhen gelassen, damit sie sich abkühlen. Die abgekühlten Platten werden mit der beschichteten Schicht nach oben in den Tee und in die Chlorophyll-Lösung gelegt. Die Entnahme der gefärbten Platten erfolgt mit einer Tiegelszange. Hinzu kommt, dass die vorhandenen Farbstoffreste durch das kurze Abspülen mit Wasser entfernt werden. Die Platten werden ebenfalls wieder kurz mit einem Haartrockner angeföhnt, denn die Platten sollten vollständig trocken sein. Nun werden die anderen Platten mit dem Bleistift auf der leitenden Fläche bemalt, sodass sich eine graue und durchgehende Schicht erkennen lässt. Auf diese Graphitschicht werden zwei Tropfen der Elektrolytlösung hinzugegeben. Nun

werden beide Platten aufeinander gelegt, jedoch leicht versetzt. Folglich sollte an den Enden der Platten jeweils eine kleine Schicht herausstehen und dennoch sollte sich der Elektrolyt gut zwischen den Schichten verteilen lassen. In der Mitte wird die entstandene Grätzelzelle mit einem Klebestreifen fixiert.

Messung:

Die Enden der Platten werden mit dem Vielfachmessgerät mit einem Messbereich von circa 1 A verbunden. Dabei werden die zwei Krokodilklemmen jeweils an die Enden der Platten angeklemt. Die Graphit-Seite wird mit dem Pluspol über die Verbindungsleitungen mit dem Vielfachmessgerät verbunden, die Titandioxid-Seite entsprechend mit dem Minuspol. Nun kann bei dem einfallenden Licht der Lampe eine Stromstärke gemessen werden. Hinzu kommt, dass ich die Durchführung aufgrund meiner Fragestellung angepasst habe. Als erstes habe ich die Stromstärke der Zellen mit den unterschiedlichen Farbstoffen gemessen. Dann habe ich zwei der fünf Grätzelzellen jeweils in Reihe geschaltet und nochmals die Stromstärke gemessen. Auch vier Grätzelzellen habe ich in Reihe geschaltet und gemessen. Abschließend untersuchte ich den Aspekt der äußeren Einflüsse. Das bedeutete konkret, dass ich mich mit dem Aspekt der unterschiedlichen Lichteinfälle beschäftigt habe. Dafür habe ich mit der Taschenlampe den Lichteinfluss auf die Grätzelzelle erhöht und die Stromstärke gemessen. Um den Wert vergleichen zu können, habe ich die Stromstärke der Grätzelzelle nur mit dem in den Chemieraum einfallenden Licht gemessen. Als weiteren Einflussfaktor habe ich mich mit der Langzeitstabilität der beiden Farbstoffe beschäftigt, da mir während des Versuchs aufgefallen ist, dass der Stromfluss in der Zelle nach kurzer Zeit immer niedriger geworden ist. Das bedeutet, dass ich eine Grätzelzellen mit der Taschenlampe auf der höchsten Stufe bestrahlt habe, was eine intensive Sonneneinstrahlung nachahmen sollte, und die Spannung gemessen habe. Das diente der Untersuchung, ob sich die Farbstoffschicht vielleicht auch die Titandioxidschicht dadurch verändert hat und vielleicht nicht mehr so leistungsfähig ist.

Messergebnisse/Beobachtungen:

Meine Untersuchung hat folgendes ergeben:

Stromstärke in mA

Verschiedene Messungen	Grätzelzelle mit Farbstoff: Hibiskustee	Grätzelzelle mit Farbstoff: Chlorophyll-Lösung
Einzeln	1 mA	1 mA
Reihenschaltung (2 Grätzelzellen)	0,9 mA	0,5 mA
Reihenschaltung (4 Grätzelzellen)	0 mA	
Höherer Lichteinfluss	1 mA	1 mA
Licht aus dem Chemieraum	1 mA	1 mA
Intensive Bestrahlung mit der Taschenlampe	1 mA zu 0,5 mA	1 mA zu 0 mA

Während meines Versuchs sind mir zahlreiche Dinge aufgefallen, die ich anders erwartet hätte, und es traten Komplikationen auf. Zunächst ließ sich der Chlorophyllfarbstoff viel schwieriger aus den einzelnen Blättern mörsern als erwartet. Aufgrund dieser Tatsache habe ich die Blätter zuerst mit einer Schere zerkleinert und dann einzeln unter Zugabe von Ethanol gemörsert. Das Messen, um die leitfähige Schicht der Grätzelzelle zu bestimmen, erwies sich hingegen als sehr unkompliziert. Auch die Herstellung der Titandioxidlösung war leichter als zuvor gedacht. Doch das Auftragen der entstandenen Suspension erwies sich bei der ersten Platte als schwierig, da die Platte nicht richtig fixiert war. Die Suspension ließ sich auch nur schwer auf der Platte verteilen. Vor allem musste beim Verteilen der Suspension darauf geachtet werden, dass sie nicht an den Seiten über den Klebestreifenrand überlief und trotzdem aber am unteren Ende runter lief, damit schlussendlich eine glatte Schicht entsteht. Mittels der Glasscheiben, die als Erhöhung dienten, konnte somit eine Lösung dafür gefunden werden, denn so konnte die Suspension am unteren Rand runter laufen und auch die Schicht verteilte sich gleichmäßig. Ein weiteres großes Problem entstand beim Zusammenbau der Grätzelzelle. Denn das Fixieren der einzelnen aufeinander liegenden Platten mit einem Klebestreifen war nicht optimal. Die Platten lagen nämlich so nur sehr lose aufeinander und hatten keinen optimalen Kontakt. Das bedeutete konkret, dass zwischen den zwei Platten eine kleine Lücke entstand, die wahrscheinlich schlussendlich auch den Wirkungsgrad der Zelle

maßgeblich beeinflusste. Besser wären Heftklammern dafür geeignet gewesen. Schlussendlich wurden zur Lösung des Problems die einzelnen Platten mit der Hand zusammengedrückt und somit fixiert, was jedoch nicht optimal war und vermutlich auch einen äußeren Einfluss auf das Messergebnis hatte. Das könnte insgesamt auch eine Ursache für das Ergebnis bei der Messung gewesen sein.

Ergebnis/Auswertung:

Die Messung verlief ebenfalls anders als erwartet. So wiesen die zwei Grätzelzellen mit dem Hibiskustee und der Chlorophyll-Lösung als Farbstoff laut den Messungen keine Unterschiede auf. In beiden Fällen betrug der Stromfluss 1 mA. Danach habe ich die beiden Zellen jeweils mit noch einer anderen Zelle mit dem gleichen Farbstoff in Reihe geschaltet. Ich hatte mir erhofft, dass sich der Stromstärke verdoppelt. Doch ganz im Gegenteil ließ der Stromfluss leicht nach. Bei den Grätzelzellen mit Hibiskustee um 0,1 mA und bei den Chlorophyll-Zellen sogar um 0,5 mA. Dennoch sind mir potenzielle Ursachen für diese Abweichung aufgefallen. Demnach könnte es daran gelegen haben, dass die Krokodilklemmen nicht richtig fest saßen und sich die Platten einer Grätzelzelle mit der Zeit voneinander gelöst haben. So könnte der Kontakt zwischen den Platten nicht sicher gestellt gewesen sein. Wahrscheinlich war ebenfalls der Widerstand innerhalb der Zelle zu hoch, damit die Stromstärke sich erhöht hätte. Obwohl beide Zellen ausreichend mit einer Lampe beschienen wurden, war dies vielleicht nicht ausreichend. Auch die Reihenschaltung aus insgesamt 4 Grätzelzellen beider Farbstoffe lief anders als erwartet ab, denn es entstand eine Stromstärke von insgesamt 0 mA. Nach meiner Prognose hätte insgesamt eine Stromstärke von 4 mA entstehen müssen, da die vier Grätzelzellen insgesamt eine höhere Stromstärke erzeugen könnten. Gründe hierfür könnten folgende sein. Zum einen war der Widerstand der einzelnen Zellen insgesamt zu hoch. Hinzu kommt zum anderen, dass die Zellen alle nicht richtig befestigt waren. Das bedeutet, dass sie nur lose auf der Arbeitsfläche lagen. Auch kann es sein, dass eine Zelle mit der Zeit nicht mehr funktionsfähig war und deshalb aufgrund der Reihenschaltung kein Strom mehr fließen konnte. Die ganze Reihenschaltung war extrem anfällig für einen Ausfall einer Zelle und der daraus resultierenden Folge, dass die ganze Schaltung nicht funktioniert hat. Ein weiterer Grund könnte darin liegen, dass es bei dem Durchlaufen des Stroms durch die vier Grätzelzellen zu einem Spannungsabfall kam, den jede Zelle durch den Innenwiderstand verbraucht hat und dadurch schlussendlich keine Stromstärke gemessen werden konnte. Deswegen ist denkbar, dass jede einzelne Grätzelzelle der Reihenschaltung Elektronen abgebremst hat und die Stromstärke insgesamt Richtung Null gegangen ist. Auch die unterschiedlichen Lichteinflüsse wiesen keine Unterschiede

auf, was mich sehr gewundert hat. Denn ich hatte mir erhofft, dass sich bei einem höheren Lichteinfluss die Stromstärke erhöhen würde. Denn nach der Theorie würden dann ja mehr Elektronen in die Titandioxidschicht übertragen werden und folglich würde sich der Stromfluss ebenfalls erhöhen. Doch der höhere Lichteinfluss erbrachte keine Veränderung. Das könnte jedoch daran liegen, dass die aufgetragene Titandioxidschicht zu dick war und das Licht nicht so gut an den Farbstoff in der Grätzelzelle gelangen konnte. Auch ist denkbar, dass beide Farbstoffe trotz der höheren Lichtintensität die Stromstärke nicht mehr erhöhen konnten, da eine Lichtsättigung eingetreten ist. Das bedeutet für die Grätzelzellen, dass nicht mehr Elektronen im Farbstoff oxidiert werden können als eine bestimmte Anzahl. Deswegen war die Stromstärke, auch ohne das zusätzlich durch die Lampe generierte Licht, im Chemieraum gleich der höheren Bestrahlung bei 1 mA. Zuletzt ähnelte das Ergebnis der intensiven Bestrahlung beider Grätzelzellen meiner Prognose. Ich hatte erwartet, dass die Langzeitstabilität durch den hohen Lichteinfluss abnimmt. Jedoch dauerte dies anders als gedacht nur wenige Minuten und unterschied sich auch bei beiden Farbstoffen. Dabei änderte sich die Stromstärke der Grätzelzelle mit Hibiskustee von 1 mA zu 0,5 mA und bei der Grätzelzelle mit der Chlorophyll-Lösung von 1 mA auf 0 mA. Wenn die Grätzelzellen sehr intensivem Licht ausgesetzt werden, dann verändert sich entweder der Farbstoff in den Zellen oder die höhere Intensität des Lichts wirkt sich negativ auf die Titandioxidschicht aus. So wurde der Elektronenfluss folglich gehemmt und hat sich nicht erhöht. Ein weiterer auffällender Aspekt war jedoch auch, dass die Grätzelzellen unter der Lampe ziemlich warm wurden. Vielleicht könnten dadurch chemische Prozesse innerhalb einer Zelle angeregt werden, die dann die Funktionsweise der Zelle verschlechtern könnten. Der erhebliche Unterschied beider Zellen lässt sich vielleicht mit dem Aspekt der Wärme untermauern. So ist Chlorophyll nicht hitzebeständig, der Hibiskustee Farbstoff jedoch schon. Aufgefallen ist mir jedoch bei allen Zellen unabhängig vom Farbstoff, dass sich die Stromstärke durch das Zusammenpressen der beiden Platten mit der Hand, erhöht hat. Das bedeutet schlussfolgernd, dass der Elektronenfluss nur bei einem geschlossenen Stromkreis funktioniert, der durch den Kontakt beider TCO-Platten gegeben ist.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Grätzelzellen einzeln zuverlässig eine Stromstärke von 1 mA aufweisen. Bei meinem Versuch jedoch erwies sich die Reihenschaltung als nicht sinnvoll, da kein Stromfluss zu erkennen war. Die äußeren Einflüsse der höheren Lichtintensität änderten den Stromfluss nicht. Doch die intensive Bestrahlung der Lampe und die dabei entstehende Wärme wirkte sich negativ auf den

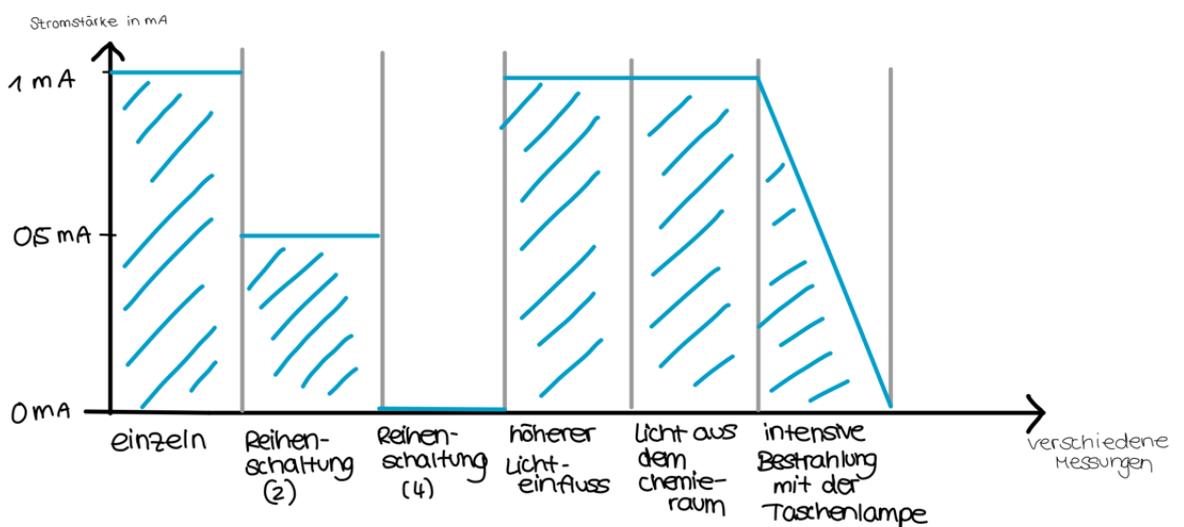
Stromfluss aus, denn der nahm mit der Zeit ab. Allgemein generierten die Zellen jedoch zuverlässig ihre Stromstärke und erwiesen sich als relativ beständig gegen die äußeren Einflüsse.

Der Vergleich der folgenden Diagramme lässt die Beständigkeit beider Farbstoffe erkennen, wobei jedoch der Hibiskusteefarbstoff resistenter gegenüber der intensiven Bestrahlung und der daraus entstehenden Wärme war. Auch funktionierte die Reihenschaltung mit diesen zwei Zellen besser als mit den Zellen mit der Chlorophyll-Lösung als Farbstoff und schlussendlich erweisen sie sich damit als geeigneter.⁸¹



82

Grätzelzelle mit Chlorophyll-Lösung



⁸¹ Bee, Ulrich et al.: Elemente Chemie. Oberstufe. Stuttgart: Ernst Klett Verlag GmbH, 2019, S. 418f.

⁸² Die Diagramme wurden selbst erstellt.

Vergleich zur Solarzelle auf Siliziumbasis

In Anbetracht der vermehrten Nutzung von Solarzellen aus Silizium wird im Folgenden ein Vergleich der Grätzelzelle mit der Solarzelle auf Siliziumbasis durchgeführt. Anders als die Grätzelzelle, bestehend aus dem lichtempfindlichen organischen Farbstoff zur Absorption der Lichtenergie, enthält die Solarzelle auf Siliziumbasis einen anorganischen Halbleiter.⁸³ Unter den gleichen Bedingungen im Labor sind Grätzelzellen tatsächlich weniger effizient als die Solarzellen auf Siliziumbasis.⁸⁴ Doch ein wichtiger Aspekt, der den Nachteil wieder ausgleicht, sind die realen Bedingungen in der Natur. Hier überzeugt die Grätzelzelle vor allem dadurch, dass sie auch Strom erzeugt, wenn der Himmel bewölkt ist. Dieser Vorteil bei sogenanntem diffusen Licht lässt sich wie folgt begründen. Die Grätzelzellen können das Licht, auch wenn dieses nur sehr schwach ist, von allen Seiten aufnehmen. Sie können das Licht von der Rückseite einfangen und dienen gleichzeitig zur Wärmedämmung.⁸⁵ Als Folge ist die Ausbeute höher als bei den herkömmlichen Solarzellen.⁸⁶ Hinzu kommt noch ein wichtiger anderer Aspekt. Durch die hohe Auswahl an verschiedensten Farbstoffen, die in der Herstellung ausgewählt werden, kann je nach Wetter weiterhin Energie erzeugt werden. Das liegt daran, dass die unterschiedlichen Farbstoffe unterschiedlich gut das jeweilige Licht absorbieren. An einem sehr wolkigen Tag verschiebt sich das Licht in den sogenannten blauen Bereich. Nun können die Solarzellen, die den entsprechenden Farbstoff nutzen, weiterhin Strom produzieren.⁸⁷ Auch in der Herstellung überzeugen die Grätzelzellen, da sie sich viel kostengünstiger und energieeffizienter produzieren lassen.⁸⁸ Anders als die konventionellen Solarzelle, benötigen die Grätzelzellen kein Silizium. Die Halbleiter für die Siliziumzelle müssen in einem aufwändigen Verfahren aus Quarz gewonnen werden und sollten eine Reinheit von 99.99% aufweisen, damit sie überhaupt effizient arbeiten können.⁸⁹ Hinzu kommt, dass Silizium zwar das dritthäufigste Element auf der Erde ist, aber die hochwertige Ressource endlich ist und folglich nur knapp zur Verfügung steht.⁹⁰

⁸³ https://www.radiation-dosimetry.org/de/was-ist-silizium-als-halbleiter-eigenschaften-definition/?utm_content=cmp-true [11.03.23 14:03 Uhr]

⁸⁴ <https://www.gesundes-haus.ch/solarzellen-photovoltaik/farbstoffe-statt-silizium-die-graetzelzelle.html> [11.03.23 16:17 Uhr]

⁸⁵ <https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [11.03.23 19:33 Uhr]

⁸⁶

https://www.bauinnovationen.ch/fileadmin/ablage/Bauinnovationen/PDF_Artikel_Bauinnovationen/BB_1312_EPFL_Solar.pdf [11.03.23 17:24 Uhr]

⁸⁷ <https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [11.03.23 20:24 Uhr]

⁸⁸ <https://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/solarzellen/graetzelzelle> [12.02.23 22:49 Uhr]

⁸⁹ <https://www.tagesspiegel.de/wissen/solarzellen-von-morgen-6490330.html> [11.03.23 20:29 Uhr]

⁹⁰ <https://leibniz-gymnasium.net/files/content/downloads/mint/Projektarbeit.pdf#page11> [11.03.23 17:00 Uhr]

Abgesehen von der Natur hat die Industrie mit einer Siliziumknappheit, aufgrund vielschichtiger Probleme, zu kämpfen.⁹¹ Das Sonnenlicht steht hingegen unendlich zur Verfügung.

⁹¹ <https://krannich-solar.com/ch-de/blog/silizium-wie-das-halbleitermaterial-die-globale-wirtschaft-im-griff-hat/> [11.03.23 19:00 Uhr]

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Anna Wert

Unterschrift

Moitzfeld, 22.03.2023

Ort, Datum