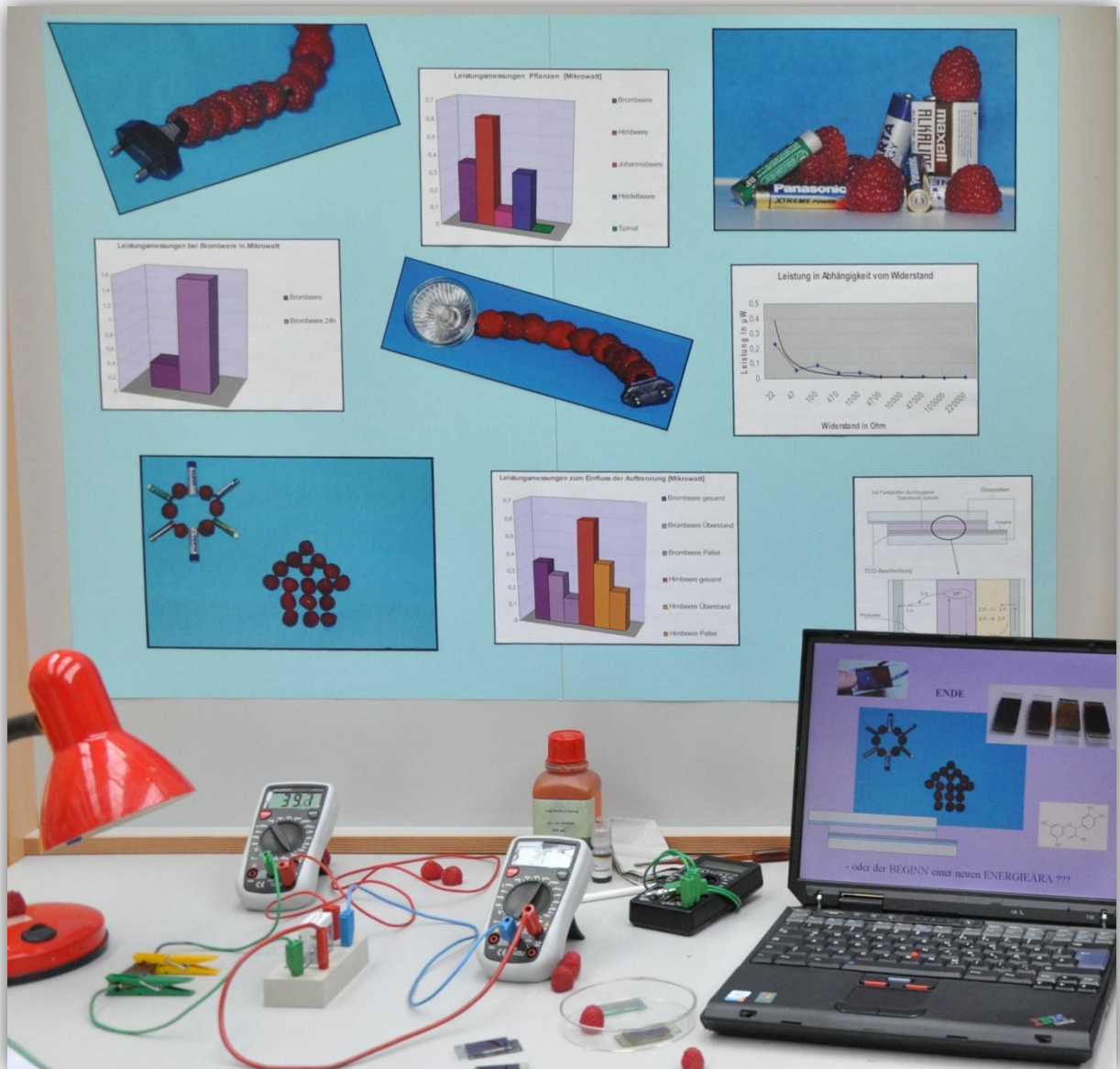


Die organische Solarzelle

– eine alternative Form der Energiegewinnung?



Jens Börnicke und Anne Bornkessel

St. Michael-Gymnasium Bad Münsteriefel

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

1. Theoretischer Teil

1.1 Die Energieproblematik

1.1.1 Energiebedarf

1.1.2 Die Situation in Deutschland

1.2 Die Photosynthese

1.3 Die klassische Solarzelle

1.3.1 Funktionsweise

1.3.2 Aufbau am Beispiel einer Siliziumsolarzelle

1.3.3 Vor- und Nachteile

1.4 Die Farbstoffsolarzelle

1.4.1 Funktionsweise

1.4.2 Aufbau am Beispiel der Grätzelzelle

1.4.3 Vor- und Nachteile vor dem Hintergrund des aktuellen Entwicklungstrends

2. Praktischer Teil

2.1 Vorversuche zur Grätzelzelle

2.2 Experimente zur Optimierung

2.2.1 Unsere Experimente am Beispiel der Herstellung von „Brombeer-Solarzellen“

2.2.2 Welche Pflanze liefert die besten Farbstoffe?

2.2.3 Kann die Reinheit optimiert werden?

2.2.4 Inwiefern beeinflusst die Einwirkzeit die Leistung?

2.3 Auswertung

3. Ausblick

Danksagungen

Quellenverzeichnis

Einleitung

Im Angesicht diverser Umweltprobleme und mindestens genauso vieler Lösungsansätze haben wir unser eigenes Engagement im Kopf, die Lebensqualität auf unserer Erde auch in Zukunft erhalten zu können. Hierbei meinen wir nicht nur die Vorzüge, die die Elektronik uns Alltag ermöglicht, sondern besonders den Erhalt der Biodiversität. Daher muss unsere Energie zur Schonung der Umwelt notwendigerweise regenerativ erzeugt werden. Zu diesem Zweck haben wir uns für eines der ältesten Energiegewinnungsprinzipien entschieden: Die Photosynthese!

Mit dem Bau organischer Solarzellen wollen wir diesen Mechanismus effizient nachvollziehen. Im Rahmen unserer Forschung haben wir unterschiedliche Zellen entwickelt und wollen deren Energieausbeute weiter steigern. Besonders wichtig ist uns der Austausch knapper Rohstoffe durch natürliche, leicht und in Massen herstell- bzw. abbaubare Produkte. Die Umwelt sollte jedem Menschen am Herzen liegen; daher ist es ein weiteres Ziel, unsere „grüne“ Solarzelle für jeden zugänglich und einsetzbar zu gestalten.

Die sogenannten Farbstoffsolarzellen basieren auf der „Grätzelzelle“, diese wird in geringem Umfang bereits industriell hergestellt, sollte aber in ihrem Wirkungsgrad noch deutlich gesteigert werden. Als insbesondere an Biologie interessierte junge Menschen wollen wir den effizientesten Pflanzenfarbstoff ermitteln, um unseren Beitrag für eine vielfältige und möglichst schadstoffarme Umwelt zu leisten...

1 Theoretischer Teil

1.1 Die Energieproblematik

Im folgenden Kapitel soll die Notwendigkeit des Umstiegs von fossilen Energieträgern auf regenerative Energien näher beleuchtet werden.

1.1.1 Energiebedarf

Es wird vermutet, dass die Vorfahren des Homo sapiens bereits vor 1,5 Millionen Jahren Gebrauch vom Feuer machten. Der Nutzen dieser neu erschlossenen Energiequelle ist enorm gewesen: Feuer bot Schutz vor Raubtieren, ermöglichte das Kochen von Nahrung und spendete Wärme. Zur Freisetzung von Energie in Form von Feuer mussten Energieträger verbrannt werden, sprich Holz. Feuer ermöglichte den Menschen aber auch die Nutzung anderer Rohstoffe, wie zum Beispiel Metallen, zur Werkzeugherstellung. Nun wurden fossile Brennstoffe zur Energiegewinnung genutzt und mit zunehmender Zivilisation vermehrt verbrannt. Diese Entwicklung erreichte zur Zeit der Industrialisierung ein vorläufiges Maximum und dauert bis heute an. Dieser ist heutzutage in jedem Haushalt gegenwärtig: Lampen, TV- Geräte, Computer, Handys, Musikanlagen, Küchenmaschinen und so weiter. All diese Geräte wären ohne Strom nur tote Materie. Der Energiebedarf der Menschheit ist so groß wie noch nie. Allein an einem Tag verbrauchen alle deutschen Haushalte zusammen rund 350 Millionen kWh. Die unbegrenzte Nutzung von Strom wird nicht nur immer selbstverständlicher, es kommt sogar in immer mehr Bereichen zu einem verschwenderischen Umgang damit. Beispiele hierfür sind die permanente Bestrahlung von öffentlichen Gebäuden bzw. Werbematerialien, unnötige Beleuchtung oder Beheizung in Privathaushalten sowie die Beleuchtung einer Autobahn, die man sogar im All sehen kann. Daher ist die Suche nach einer geeigneten Form der Energiegewinnung aktueller denn je.

1.1.2 Die Situation in Deutschland

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland beträgt ca. 3.900 Mrd. kWh im Jahr. Gewonnen wurde diese Energie im Jahr 2007 zu ca. 33,8% aus Öl, 22,7% aus Gas, 14,1% Steinkohle, 11,7% aus Braunkohle, 11,1% aus Kernenergie und nur 6,6% aus regenerativen Energien¹. Zudem wird Deutschland beim Thema Energieträger zunehmend abhängig von Auslandsimporten. Nur rund ein Viertel des deutschen Energiebedarfs wird durch heimische Quellen gedeckt. Die wichtigsten heimischen Energieträger sind Braunkohle (41%), erneuerbare Energien (23%) Steinkohle (16%) und Erdgas (14%)². Den größten Teil stellen also fossile Energiequellen dar. Hinzu kommt, dass, 2007 – als Folge immer geringeren Vorkommens - 8,8% weniger Erdgas in Deutschland gefördert wurden als im Vorjahr. Dabei steigt aktuell die Nachfrage nach Erdgas, weil im Vergleich zum „Klimakiller“ Steinkohle weniger CO₂ frei wird. Deutschland importiert rund 84% des genutzten Erdgases, 64% der genutzten Steinkohle und 96% des Mineralöls³. Die Abhängigkeit von ausländischen Importen macht Deutschland schutzlos vor dem weltweiten Preisanstieg von Energieträgern, der sich durch die erhöhte Nachfrage von Wachstumsnationen wie Indien oder China nach

¹ http://www.bpb.de/themen/PAYLME,0,0,Energie_in_Deutschland.html

² http://www.bpb.de/themen/PAYLME,0,0,Energie_in_Deutschland.html

³ http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/EE_machen_uns_unabhaengig_von_Energieimporten.pdf

Energieträgern begründen lässt. Zurzeit sind Russland (32,8%), gefolgt von Norwegen, Großbritannien und Libyen die wichtigsten Öllieferanten Deutschlands⁴. Doch lagern 64% der weltweiten Ölreserven im Nahen Osten⁵. Aktuelle Unruhen in diesen Gebieten und die unvereinbar mit dem Westen scheinende nahöstliche Welt zeigen, welches Gefährdungspotential eine deutsche Abhängigkeit von arabischen Ölreserven hätte.

Klar zukunftsweisend ist dagegen der Ausbau der erneuerbarer Energien in Deutschland. 2007 betrug deren Zuwachs an Energieausbeute rund 4 Mio. Tonnen Steinkohleeinheiten⁶. Erneuerbare Energien lassen sich in Deutschland entwickeln und zudem verringern sie die Energieimporte. Damit nutzen sie zum einen direkt der Wirtschaft durch neue Aufträge, zum anderen stärken sie diese jedoch auch dadurch, dass sie deren Krisenanfälligkeit verringern. Erst durch die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien ist es überhaupt möglich, klimafreundliche Elektroautos zu entwickeln; denn zurzeit sieht die Realität dieser angeblich „grünen“ Fahrzeuge so aus, dass das CO₂ nur an anderer Stelle als auf der Straße produziert wird. Gerade die Reduzierung des CO₂-Ausstoßes sollte auch in Zukunft das vorangestellte Ziel der Energiewende sein, denn eine vermehrte Menge von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre fördern die globale Erderwärmung, wodurch weltweit Ökosysteme wie Regenwald, Arktis, Antarktis, Korallenriffe in Gefahr sind, jedoch auch von Menschen bewohnte Küstenregionen überflutet werden könnten. Die EU hat sich verpflichtet bis 2020 den CO₂-Ausstoß um 20% zu senken und dafür 20% der benötigten Energie aus erneuerbaren Energien zu schöpfen (Vergleichswert ist der CO₂- Ausstoß aus dem Jahr 1990)⁷.

Dabei sollten allerdings auch die Nachteile der verschiedenen erneuerbaren Energien nicht außer Acht gelassen werden. Atomkraft gilt nur begrenzt als erneuerbare, heimische Energie, da sich Uran nur aus 4 Ländern importieren lässt⁸. Zudem ist noch immer nicht geklärt, wo radioaktive Abfälle endgelagert werden können, aktuelle Lagerstätten stellen ein hohes Risiko für die Umwelt dar, da durch eintretendes Wasser oder Erdbeben radioaktive Substanzen austreten können. Die Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima zeigen, wie real das Risiko von Atomenergie ist. Menschliches und technisches Versagen lassen sich nie ganz ausschließen und gerade im Fall Tschernobyl werden immer mehr Langzeitwirkungen deutlich. Außerdem könnten Atomreaktoren auch potentielle Ziele terroristischer Verbindungen darstellen. Die deutschen Polizeikräfte reichen nicht aus, jedes Atomlager einzeln zu sichern. Auch entwendeter Atommüll könnte als „schmutzige Bombe“ missbraucht werden. Außerdem stellt das Fordern nach dem Recht auf Atomenergie einen eventuellen Vorwand für die Entwicklung atomarer Sprengköpfe dar, dadurch steht aktuell der Iran in Kritik. Eine effektive Alternative zur Atomenergie würde somit im Endeffekt auch die Weltpolitik entspannen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Verbrennung von Pflanzenölen dar. Biomasse muss jedoch erst aufgebaut werden. Im Fall von Rapsöl wird hierfür viel Platz benötigt, bzw. Flächen, die auch landwirtschaftlich nutzbar wären. Dadurch wird dies ethisch in Frage gestellt. Alternativ könnten auch Algen zur Assimilation genutzt werden, wobei Biomasse hier wesentlich schneller und platzsparender aufgebaut werden kann.

Windenergie ist eine andere bekannte erneuerbare Energie. Doch die Errichtung sogenannter „Windparks“ hat auch ihre negativen Seiten. Die Bauarbeiten belasten Flora und Fauna, insbesondere vor der Küste müssen kilometerweise Kabel durch das Meer gelegt und Fundamente geschaffen werden. Während sich „Windparks“ mittlerweile in das Landschaftsbild des Nordens eingefügt haben, laufen andernorts Städte und Bauwerke in Gefahr den Titel „Weltkulturerbe“ zu verlieren, insofern in der Nähe geplante Windparks

⁴ http://www.bpb.de/themen/PAYLME,0,0,Energie_in_Deutschland.html

⁵ http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/EE_machen_uns_unabhaengig_von_Energieimporten.pdf

⁶ http://www.bpb.de/themen/PAYLME,0,0,Energie_in_Deutschland.html

⁷ http://www.bpb.de/themen/3HTMB3,0,0,EU_stellt_Klimaziele_vor.html

⁸ http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/EE_machen_uns_unabhaengig_von_Energieimporten.pdf

wirklich gebaut werden sollten. Außerdem entsteht während des Betriebs von Windkraftanlagen Infraschall, dieser belastet die Fauna zusätzlich.

Häufig genutzt wird auch die Solarenergie. Sie ist emissionsfrei und auf Dächern gut zu installieren. Das Anwendungsspektrum ist breit gefächert: Energie kann als Stromquelle, zur Wärmeproduktion oder direkt zur Fortbewegung genutzt werden. Doch gibt es auch hier Probleme, denn die Sonne scheint nicht ständig, gerade im Winter ist Sonnenenergie als Wärmequelle praktisch hinfällig. Außerdem ist die Herstellung von Solarzellen aktuell noch sehr kostenaufwendig, was allerdings zunächst durch Förderung kompensiert wird. Der Einsatz von toxischen Chemikalien wie Arsen und das krebserregende Cadmium⁹ passen nicht zur Idee der schadstofffreien Energiegewinnung und führen zu einer aufwändigen Entsorgung.

Die Forschung nach neuen erneuerbaren Energiequellen und deren Optimierung geht auch im Jahr 2012 und darüber hinaus weiter. Wir suchen nach einer Möglichkeit, schadstofffreie organische Solarzellen zu optimieren und zu stabilisieren. Dabei interessieren wir uns für organische Solarzellen die bei diffusem Licht effektiv arbeiten können und somit den Bereich der Photovoltaik erweitern.

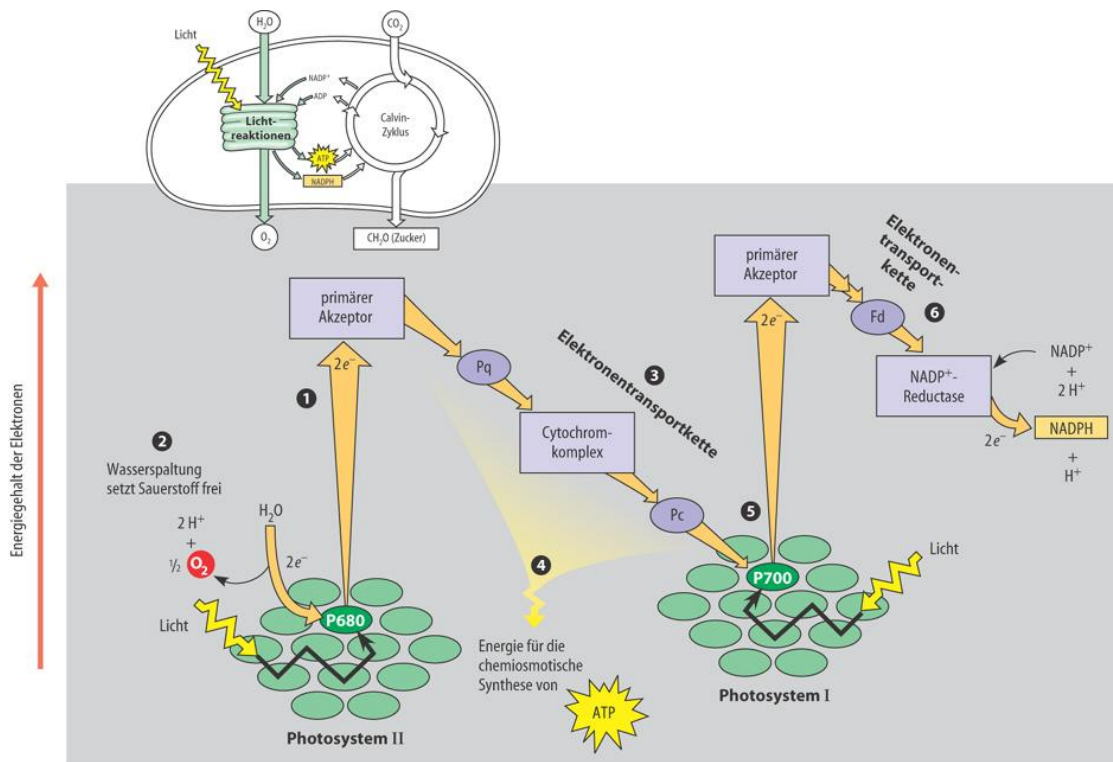
1.2 Die Photosynthese

Pflanzen können im Prozess der Photosynthese Lichtenergie in chemische Energie umwandeln. Hierbei wird die Lichtenergie genutzt, um aus Kohlenstoffdioxid und Wasser den für alle Lebewesen nutzbaren Energieträger Glucose aufzubauen.



Hierbei wird Lichtenergie von verschiedenen Pigmentmolekülen absorbiert. Rotes und blaues Licht werden optimal absorbiert, während grünes und gelbes Licht fast vollständig reflektiert werden, dadurch erscheinen uns Pflanzenblätter grün. Einfallendes Sonnenlicht versetzt die Pigmente in einen angeregten Zustand, deren Elektronenübertragungspotential sich damit erhöht und diese leichter Elektronen abgibt (vgl. Abb.1) Diese Reaktion wird erst durch sich in Transmembranproteinen der Thylakoidmembranen befindliche Farbstoffe möglich. Hierbei handelt es sich um β -Carotin, Chlorophyll a und Chlorophyll b. Diese organisieren sich in zwei Photosystemen: Photosystem II mit Chlorophyll P680 und Photosystem I mit Chlorophyll P700. Die einzelnen Pigmente bilden Lichtsammelfallen. Zunächst jedoch wird die Anregungsenergie von Pigment zu Pigment weitergereicht, bis diese das Reaktionszentrum, hier kommt es zu einer Ladungsteilung, bei der zwei Elektronen frei werden. Da das Redoxpotential von Wasser größer ist als das des P680, in dem jetzt zwei Elektronen fehlen, kommt es zur Photolyse des Wassers. H_2O wird hierbei in 2H^+ und $\frac{1}{2} \text{O}_2$ gespalten. Die frei gewordenen Elektronen führen das P680 wieder zum Ausgangszustand zurück; O_2 wird an die Atmosphäre abgegeben (vgl. Abb.1)

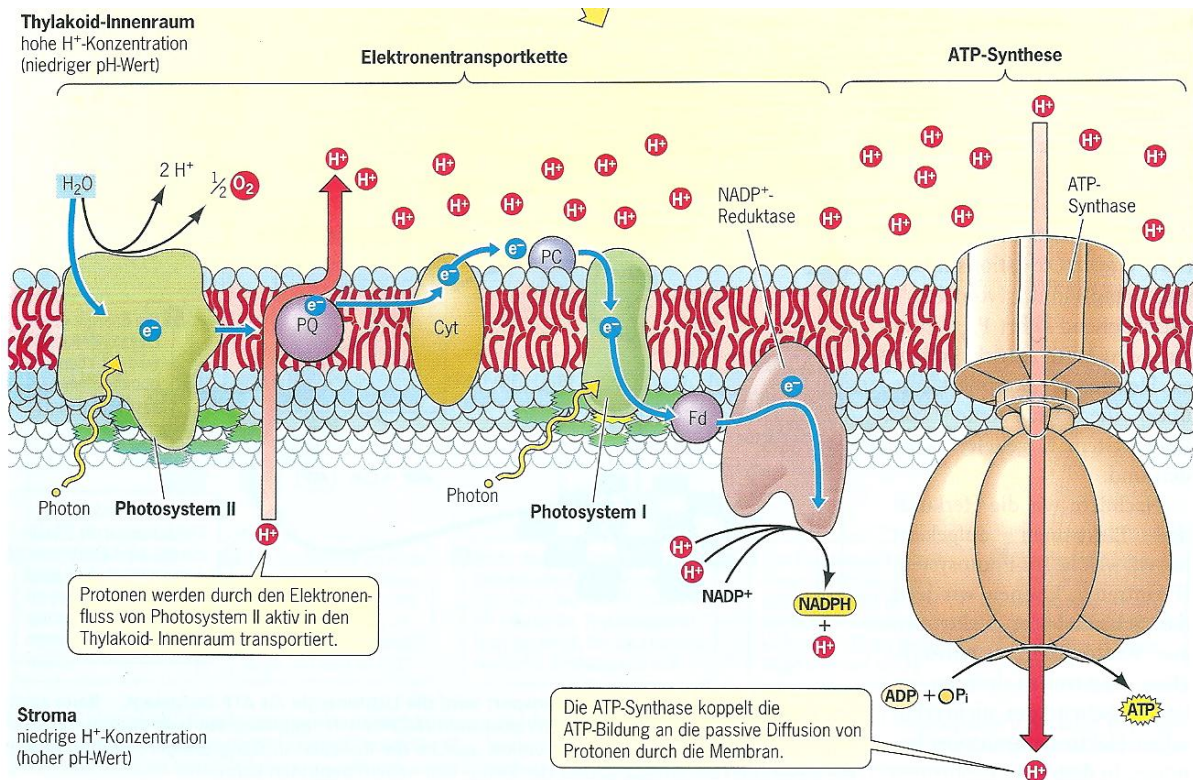
⁹ <http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-sonnenenergie.html>



© Campbell/Reece, Biologie, 6. Aufl., 2004

Abb.1: Überblick zu den Lichtreaktionen der Photosynthese; man sieht wie die Anregungsenergie in der Lichtsammelfalle weitergeleitet wird und Elektronen an den Akzeptor abgegeben werden. Diese werden durch die freigewordenen Elektronen aus der Photolyse des Wassers ersetzt.

Die Elektronentransportkette ist eine Reihe von Redoxreaktionen, freie Elektronen werden von Plastochinon auf den Cytochromkomplex und von diesem auf Plastocyanin übertragen. Hierbei handelt es sich um einen Elektronenfluss über Moleküle mit hohem Elektronenübertragungspotential zu solchen mit niedrigem Redoxpotential, wobei die Moleküle abwechselnd reduziert bzw. oxidiert werden. Durch das schrittweise Absinken des Energieniveaus wird Energie frei. Diese wird genutzt, um Protonen in den Tylakoidinnenraum zu pumpen, wodurch ein Konzentrationsgefälle von H^+ -Ionen über die Tylakoidmembran hinweg entsteht. Die frei gewordene Energie ist nun also in Form eines Protonengradienten (im Verhältnis von 10000:1) gespeichert, die im nächsten Schritt zur ATP-Synthese genutzt werden kann. Der entstehende osmotische Druck hat nämlich zur Folge, dass H^+ -Ionen Richtung Stroma diffundieren, wobei sie die ATP-Synthase passieren. Der entstehende Protonenfluss liefert die nötige Energie zur Synthese von ATP, die ATP-Synthase katalysiert eine Bindung von ADP und Phosphat (vgl. Abb.2). Vom Plastocyanin werden die Elektronen auf das Photosystem I übertragen, Sonnenenergie regt den Farbstoff an und versetzt das System erneut in einen energetisch höheren Zustand, dadurch wird eine Elektronenübertragung auf Ferredoxin ermöglicht, diese katalysiert eine Übertragung der Elektronen auf $NADP^+$, außerdem bindet $NADP^+$ pro Elektron ein H^+ , es entsteht das energiereiche $NADPH+H^+$ (vgl. Abb.2).



Quelle: Purves et al.: Biologie. Hrsg.: Markl. 7. Auflage, 2006.

Abb.2: ATP-Bildung in den Chloroplasten erfolgt über Chemiosmose.

Damit endet die lichtabhängige Reaktion der Photosynthese. Als Produkt sind die chemischen Energieträger $NADPH + H^+$ und ATP entstanden, diese sind zur Assimilation von Zucker im energieaufwendigen Calvinzyklus notwendig. Entscheidend ist die Funktion der Farbstoffe, die durch Sonnenenergie in einen angeregten Zustand versetzt werden und so Elektronen abgeben. Nach diesem Prinzip ließe sich theoretisch auch ein Elektronenfluss herstellen, der Elektrogeräte betreiben kann.

Bevor wir auf die Nutzung der Photosynthese in organischen Solarzellen eingehen, stellen wir zunächst ihren Vorgänger, die klassische Solarzelle vor.

1.3 Die klassische Solarzelle

1.3.1 Funktionsweise

In Solarzellen wird die elektromagnetische Strahlungsenergie, die von der Sonne in einem spezifischen Spektrum auf die Erdoberfläche trifft, in elektrische Energie umgewandelt. Letztere kann direkt weitergeleitet werden und zur Energieversorgung der elektrischen Verbraucher dienen. Im Prinzip nutzt man die wissenschaftlichen Ergebnisse der Halbleiterphysik, Festkörperchemie und im großen Maße die der Photovoltaik, speziell den Photoeffekt in Halbleitermaterialien. Allerdings beschränkt man sich bei der Herstellung von Solarzellen auf die elektrische Solartechnik (im Gegensatz z.B. zur thermischen Solartechnik).

1.3.2 Aufbau am Beispiel einer Siliziumsolarzelle

Siliziumsolarzellen sind der geläufigste Vertreter herkömmlicher Solarzellen. Sie bestehen aus einer der Sonne zugewandten, ca. 0,001 mm dünnen n-dotierten Siliziumschicht unter der sich eine deutlich dickere (0,3 bis 0,6 mm) p-dotierte Schicht aus einem Silizium-Substrat befindet, sowie Metallkontakten. Dabei soll die p-dotierte Schicht der Solarzelle mechanische Stabilität verleihen und tiefer eindringende Photonen absorbieren. Die oberen Kontakte bilden den Minuspol und sind möglichst klein, wohingegen der Pluspol, d.h. die Metallschicht auf der Unterseite, durchgehend ist. Zwischen den unterschiedlich dotierten Schichten befindet sich die Sperrschicht oder der p/n-Übergang, dort treffen positive Löcher aus der p-Schicht auf Elektronen der n-Schicht sodass in diesem Bereich keine freien Ladungsträger mehr vorliegen, im n-dotierten Gebiet aber eine positive und im p-dotierten eine negative Raumladung ist. Bei derartigen Solarzellen besteht so ein elektrisches Feld.

Bei Sonneneinstrahlung durchdringen die Photonen die n-dotierte Siliziumschicht und werden in der Sperrschicht absorbiert. Dadurch werden die Elektronen von den Löchern getrennt und die Komponenten bewegen sich entsprechend ihrer Ladungen und der Feldkraft, es entsteht ein Elektronen- bzw. Stromfluss zu einem Verbraucher. An den Metallkontakten kann eine Spannung von ungefähr einem halben Volt gemessen werden, pro Quadratcentimeter Solarzellenfläche stehen etwa 20mA als Strom zur Abnahme zur Verfügung.

Allerdings wird der Wirkungsgrad von Siliziumsolarzellen bei maximal zwanzig Prozent durch Wärme produzierende Rekombinationen oder Photonen, die kein Elektronen-Loch-Paar trennen, begrenzt.

1.3.3 Vor – und Nachteile

Obwohl beim praktischen Betrieb der herkömmlichen Solarzellen z.B. durch den Spannungsabfall in den Solarzellen Verlustleistungen auftreten, sind sie effizient genug, um auch in unseren Breitengraden in Serienreife produziert und vielfach montiert zu werden.

Hierbei muss man die Solarmodule aufgrund der spröden Halbleiter in einem stabilen Träger und (z.B. auf Fahrzeugen) vor Vibrationen geschützt befestigen, was das Einsatzgebiet größtenteils auf Hausdächer begrenzt. Problematisch ist auch, dass die elementare Herstellung der benötigten Halbleiterstoffe sehr kosten- und zeitaufwendig ist, was sich preistreibend auf die Solarzellen auswirkt. Zudem ist die sogenannte Energierücklaufzeit - damit wird der Zeitraum bezeichnet, in dem die Solarzellen die Energie gewinnen, die zu ihrer Produktion aufgewendet werden musste - sehr hoch.

1.4 Die Farbstoffsolarzelle

1.4.1 Funktionsweise

Im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen finden sich durch das wachsende Interesse an alternativen Energiequellen aus nachwachsenden Rohstoffen vermehrt sogenannte organische Solarzellen bzw. Farbstoffsolarzellen. Verschiedene Forschungen werden daher mit der Zielsetzung durchgeführt, die wirksamen Bestandteile der Solarzellen durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen, um die elektrische Solartechnik umweltfreundlicher und auch ökonomischer zu gestalten. Hierbei liegt der Schwerpunkt der Namensgebung auf den Farbstoffen. Diese können entweder aus organischen Materialien – oder einem anderen (metallorganischen) Farbstoff bestehen – basieren jedoch auf einem grundlegend anderen

Funktionsprinzip als klassische, bislang in der Mehrheit erhältliche Solarzellen. Es gibt viele voneinander abweichende Anleitungen zum Bau organischer Farbstoffsolarzellen; sie sind im Internet frei erhältlich und sollen auch Privatpersonen den Nachbau mit einfachen Materialien ermöglichen. Im Grunde beruht jede von ihnen auf dem Prinzip, dass ein Farbstoffmolekül durch die Absorption eines Photons in einen energetisch angeregten Zustand fällt, Elektronen „herausgeschlagen“ werden und diese vom Titandioxid zur Anode transportiert wird. Durch einen äußeren Stromkreis fließt der Strom, d.h. die Elektronen, über einen möglichen Verbraucher in Richtung Kathode und somit zurück in die Farbstoffsolarzelle. Damit dieser Kreislauf tatsächlich stattfindet, erfüllt der Elektrolyt die wichtige Funktion als Oxidationsmittel, durch das ein Farbstoffmolekül reduziert wird. Im inneren Kreislauf finden demzufolge Redoxreaktionen statt: Farbstoffmoleküle werden reduziert und oxidiert, da das Iodid zu Triiodid reduziert wird und diese Triiodid-Ionen dann mit den Kathodenelektronen zurückreagieren. Auf diese Weise kann die neuartige Form der Photovoltaikzelle unter Lichteinfluss ununterbrochen Strom produzieren.

1.4.2 Aufbau am Beispiel der Grätzelzelle

Bei der Grätzelzelle handelt es sich um die bekannteste und am höchsten ausgezeichnete Farbstoffsolarzelle. Der Name ist zurückzuführen auf ihren Erfinder, den in Deutschland geborenen Physiker Michael Grätzel, dessen Patent von 1992 die Grundlage der im Nischenbereich marktreifen Farbstoffsolarzellen bildet. Während Firmen wie Dyesol in Australien oder G24Innovations in Großbritannien seine Zellen industriell produzieren, zeigt Professor Grätzel an der Universität Lausanne seinen Studenten mit einfachen Hilfsmitteln sein Funktionsmodell der Photosynthese. Ausgezeichnet mit dem hochdotiertem finnischen „Millennium Technology Prize“ erforscht er unterdessen weitere Verbesserungsmöglichkeiten u.A. durch die Zugabe von Festelektrolyten¹⁰.

Im Grunde genommen ist jede Farbstoffsolarzelle eine Photovoltaikzelle, die durch ihre bionische Basis und die „einfache[n] und vor allem billige[n] Herstellung (...) eine deutliche Belebung der Photovoltaik-Technologie erwarde[n]“¹¹ lässt.

Die Grundlage einer Grätzelzelle bilden zwei Glasplatten oder Kunststofffolien, die auf jeweils einer Seite leitend beschichtet sind, sowie einem Halbleiter, Elektrolyten, Katalysator und Farbstoffen. Die untere Platte stellt die Kathode dar und wird mit dem Katalysator überzogen, es eignet sich z.B. das günstige Graphit einer Bleistiftmine. Die Anode (also obere Glasplatte) sollte bestenfalls nanokristallin und per Sinterverfahren mit Titandioxid als Halbleiter überzogen werden. Anschließend folgen die ausgewählten Farbstoffe, möglicherweise Chlorophyll oder Anthocyane: Diese durchdringen die Titandioxidschicht und färben sie, bevor mit dem Elektrolyten die letzte Komponente hinzukommt. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen Farbstoff und Elektrolyten sowie ihrer energetischen Eigenschaften zeichnet sich die Lugol'sche Lösung (also Iod-Kaliumiodid-Lösung) hierbei als besonders effektiv aus. Wenn nun die beiden Hälften aufeinander gelegt werden, besteht – solange Licht auf die Grätzelzelle trifft – ein Stromfluss nach dem obenstehenden Prinzip (vgl. Abb.3).

¹⁰ Vgl. dazu www.heise.de/tr/artikel/31-Prozent-Wirkungsgrad-sind-mit-intensiver-Forschung-drin-1027456.html

¹¹ zit. nach www.biokon.net/bionik/download/Conti_bionic_studie_de.pdf

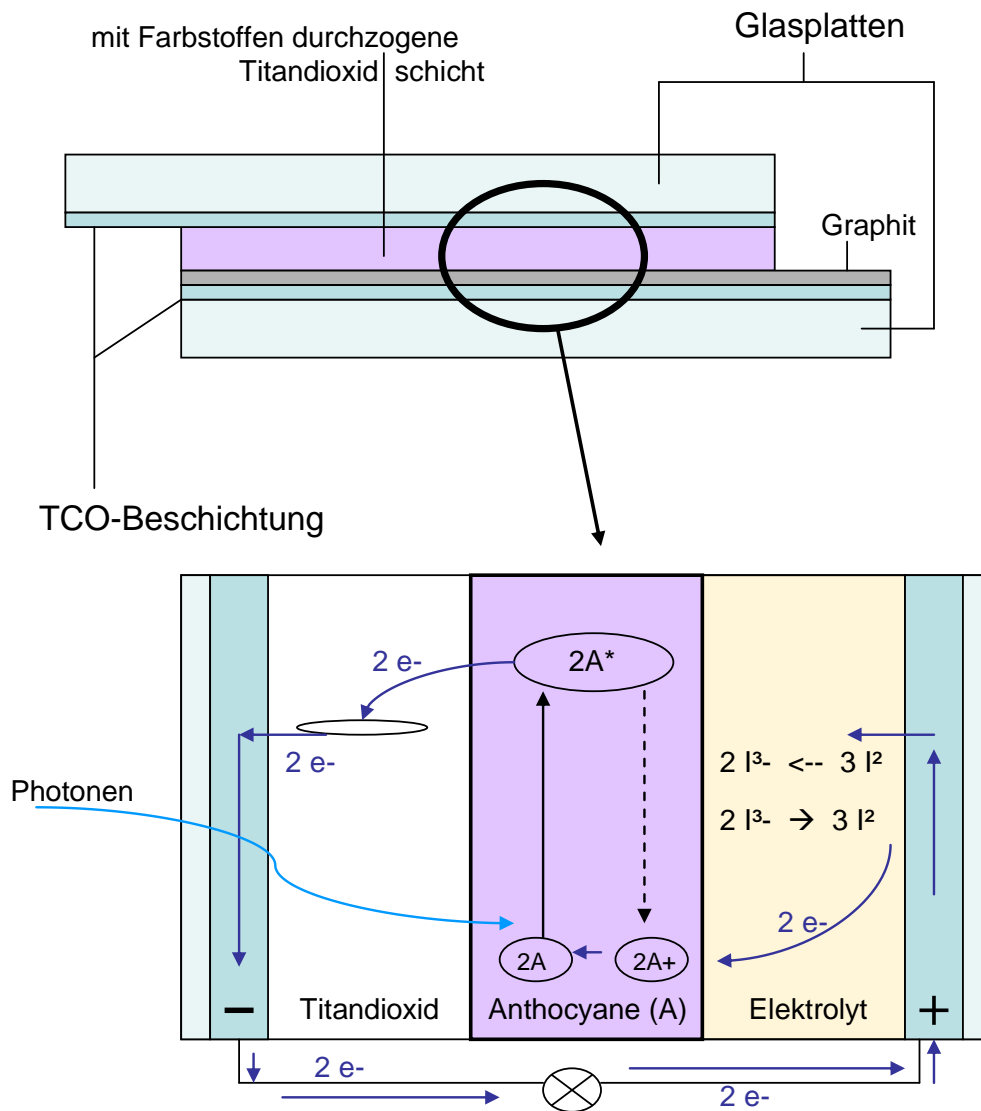


Abb. 3: Aufbau einer Farbstoffsolarzelle

1.4.3 Vor- und Nachteile vor dem Hintergrund des aktuellen Entwicklungstrends

Einige Nachteile der Farbstoffsolarzellen sind leicht ersichtlich: Mit der Zeit werden die Farbstoffe durch die Redoxreaktionen zerstört, was die Lebensdauer ebenso wie die problematische Versiegelung einschränkt. Auch durch „reine“ bzw. metallorganische Farbstoffe oder Platin als Katalysator kann die Haltbarkeit nur auf Kosten von Preissteigerungen, der Umwelt und Nachhaltigkeit erreicht werden. Momentan gibt es zudem keine hundertprozentig zuverlässigen Produktionsabläufe für Farbstoffsolarzellen, deren Wirkungsgrad zusätzlich nur circa die Hälfte dessen herkömmlicher Solarzellen beträgt. Allerdings ist die aktuelle Produktion unter einem vergleichbar geringem Energieaufwand möglich und eine Fertigungslinie Farbstoffsolarzellen kostet laut Dyesol fünfmal weniger als eine Produktionseinheit für Siliziumzellen.¹² Aufgrund der umweltfreundlichen Erzeugung und des recyclingbaren Aufbaus ist auch ein Austausch nach etwa fünf Jahren denkbar.¹³ Die Marktreife ist daher eindeutig erreicht, auch die chinesische Firma Mascotte verarbeitet in ihren Taschen Solarmodule von G24Innovations, für Sonys E-Book-Lesegerät ist eine

¹² Vgl. dazu http://aachen2050.isl.rwth-aachen.de/mediawiki/images/4/43/Technologie_Bunte_Sonnenfä...pdf

¹³ Vgl. dazu www.nanomat.de/publikationen/nano4.pdf

„Solarschutzhülle“ erhältlich, Hyundai plant eine Solarautodachverkleidung aus Grätzelzellen und Dyesol entwickelt gemeinsam mit einem Metallhersteller mit Farbstoffsolarzellen lackierte Stahlfassadenelemente. Und obwohl der solare Wirkungsgrad unter dem von Siliziumzellen liegt, können Farbstoffsolarzellen laut colorsol (einem Verbundprojekt des Fraunhofer Instituts) „aufgrund ihrer höheren Empfindlichkeit für Streulicht und ihrer größeren Temperaturtoleranz (...) im Tagesverlauf Ausbeuten [erzielen], die [mit] denen von anderen Dünnschichttechniken vergleichbar sind“. Speziell die semi-transparente sowie freie Form- und Farbgebung eröffnet den Farbstoffsolarzellen viele Märkte, bezogen auf den sozialen Aspekt überzeugt auch die weltweite Einsetzbarkeit der günstigen und umweltfreundlichen Technik zur Energiegewinnung. Zusätzlich zeigt der inoffiziell als „Nobelpreis für Ingenieure“ bezeichnete Millennium-Preis für M. Grätzel, dass es sich bei der Farbstoffsolarzelle um eine „die Lebensqualität und das Wohl der Menschen erheblich verbessernde technologische Innovation“¹⁴ handelt. Die heute käuflich erwerbbar Grätzelzellen stellen bereits die dritte Generation dieses Farbstoffsolarzellentyps dar, aber um traumhafte Wirkungsgrade von bis zu 40 Prozent und eine energetische Amortisationszeit von nur siebzehn Monaten zu erreichen, muss weiterhin intensiv geforscht werden.¹⁵ Um die erhoffte Aufskalierbarkeit von Farbstoffsolarmodulen in möglichst naher Zukunft zu erreichen, müssen insbesondere die Farbstoffe und die Haltbarkeit oder Lebensdauer optimiert werden. Auf diesen Gebieten stellt besonders eine Verbindung aus kleinen Oxid-Partikeln und ionischen Flüssigkeiten eine gute Verbesserungsmöglichkeit dar, so würden stabile Festelektrolyte mit einem vergleichsweise hohen Wirkungsgrad bei einer „Lebenserwartung“ von über 25 Jahren entstehen.¹⁶ Die Haltbarkeit wird durch eine Versiegelung mit Glaslot bereits bei heutigen Farbstoffsolarzellen erheblich verlängert: Glaslot zeichnet sich durch seine niedrige Schmelztemperatur aus und wird daher auch in anderen Bereichen zur Verbindung verschiedenartiger Gläser oder von Glas mit keramischen bzw. metallischen Stoffen verwendet. Bei der Grätzelzelle ähnlichen Solarzellen erfolgt mithilfe des Glaslots eine langzeitstabile Versiegelung, die mittels Siebdruckverfahren kostengünstig industriell erfolgen kann. Um bei der Weiterentwicklung und Optimierung der Farbstoffsolarzellen dem Grundgedanken einer künstlichen Photosynthese treu zu bleiben, haben wir unsere praktische Arbeit auf das Ermitteln des ökonomischen, umweltfreundlichsten und effizientesten Farbstoffs fokussiert.

¹⁴ Zit. nach www.cleanenergy-project-de/10214/

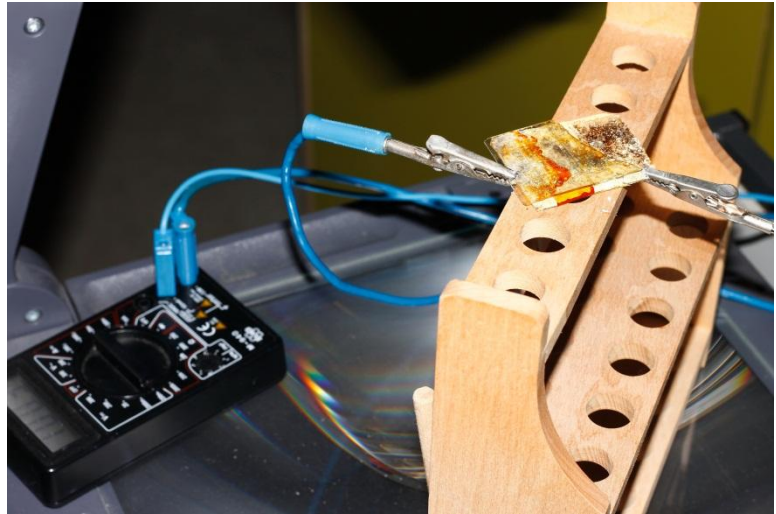
¹⁵ Vgl. dazu www.colorsol.de

¹⁶ Siehe www.heise.de/tr/artikel/31-Prozent-Wirkungsgrad-sind-mit-intensiver-Forschung-drin-1027456.html

2 Praktischer Teil

2.1 Vorversuche zur Grätzelzelle

Zunächst wollten wir herausfinden, wie aufwendig der Bau einer organischen Solarzelle ist und eine erste Abschätzung für ein sinnvolles Mischungsverhältnis der verwendeten Materialien vornehmen. Nach Beschaffung der notwendigen Chemikalien verwendeten wir zunächst Objektträger und beschichteten diese nach Anleitung mit den jeweiligen Materialien. Es stellte sich entsprechend schnell heraus, dass dies nicht der richtige Weg



ist, da man zumindest ITO-Glas als Grundlage für eine organische Solarzelle benötigt. Für einen weiteren Vorversuch erhielten wir gebrauchtes ITO-Glas aus der Physik-Sammlung und erstellten damit unsere erste organische Solarzelle (vgl. Abb.4)!

Da die Zelle jedoch sehr brüchig war, konnten wir nur ansatzweise eine geringe Leistung erahnen. Da wir unseren Schwerpunkt ja auch auf die Bestimmung der Farbstoffe legen wollten, entschieden wir uns für professionell angefertigte Glasplatten, um mögliche Fehlerquellen in diesem Bereich auszuschließen.

Mit diesen Platten führten wir die folgenden Experimente durch.

2.2 Experimente zur Optimierung

Um die Effizienz der Farbstoffsolarzellen zu erhöhen, testeten wir die Leistung gleich großer Zellen mit fünf verschiedenen Farbstoffarten. Verwendung fanden Brombeeren, Himbeeren, Johannisbeeren, Heidelbeeren und Spinat, wobei wir diese in verschiedenen Formen testeten (frisch, Saft, tiefgekühlt). Aus diversen Quellen war uns bekannt, dass reine Farbstoffe einen stark erhöhten Wirkungsgrad bedeuten, diese Methode aber sehr kostenintensiv sei. Daher setzten wir zusätzlich eine Zentrifuge ein, um mögliche Optimierungen bei unterschiedlichen Konzentrationen der Anthocyane in den Schalen oder im Fruchtfleisch leichter vornehmen zu können.

2.2.1 Unsere Experimente am Beispiel der Herstellung einer „Brombeer-Solarzelle“

Material:

Brombeeren (selbstgeerntet und tiefgekühlt)	Graphit (Bleistiftmine bzw. als Pulver)	1 Widerstand (100 Ohm; 2W)
1 Photoelektrode (leitende Glasplatten; mit Titandioxid beschichtet)	1 Petrischale	1 Lampe mit 60 Watt Glühbirne
1 Gegenelektrode (leitende Glasplatten)	feines Sieb	
Iod-Kaliumiodid = Lugolsche Lösung (als Elektrolyt)	Pistill	
	Pipette	
	Klebefilm	
	2 Krokodilklemmen	
	5 Kabel	
	2 Multimeter	

Durchführung:

Zuerst mussten wir die bereits aufgetauten Brombeeren mit Hilfe des Mörsers durch das Sieb passieren, um eine Flüssigkeit zu erhalten, die später das Titandioxid durchziehen sollte. Nach einigem Kraftaufwand stand uns eine ausreichende Menge (etwa 15ml) zur Verfügung, die wir in eine Petrischale umfüllten, um die Photoelektrode für fünfzehn Minuten darin einzuweichen. In dieser Zeit trugen wir z.B. mittels eines weichen Bleistifts Graphit auf die Gegenelektrode auf und bauten mit den beiden Multimetern, dem Widerstand und den Verbindungskabel einen noch nicht geschlossenen Stromkreis auf. Denn nachdem wir die Photoelektroden vorsichtig in klarem Wasser gereinigt und anschließend getrocknet hatte, gaben wir einen Tropfen unseres Elektrolyten (Lugolsche Lösung) hinzu und legten die Elektroden aufeinander und fixierten sie anschließend mittels eines Klebefilmstreifens, um mit den nun fertiggestellten Farbstoffsolarzellen (vgl. Abb.5) daraufhin mit den Krokodil-klemmen den Stromkreis zu schließen. Die Multimeter stellten wir so ein, dass wir Spannung (U) und Stromstärke (I) ablesen konnten. Mittels dieser Werte konnten wir anschließend die Leistung unserer Zellen errechnen ($W=U*I$).

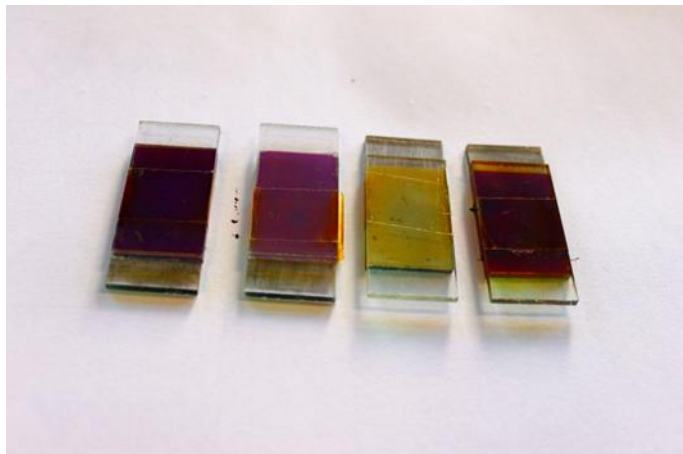
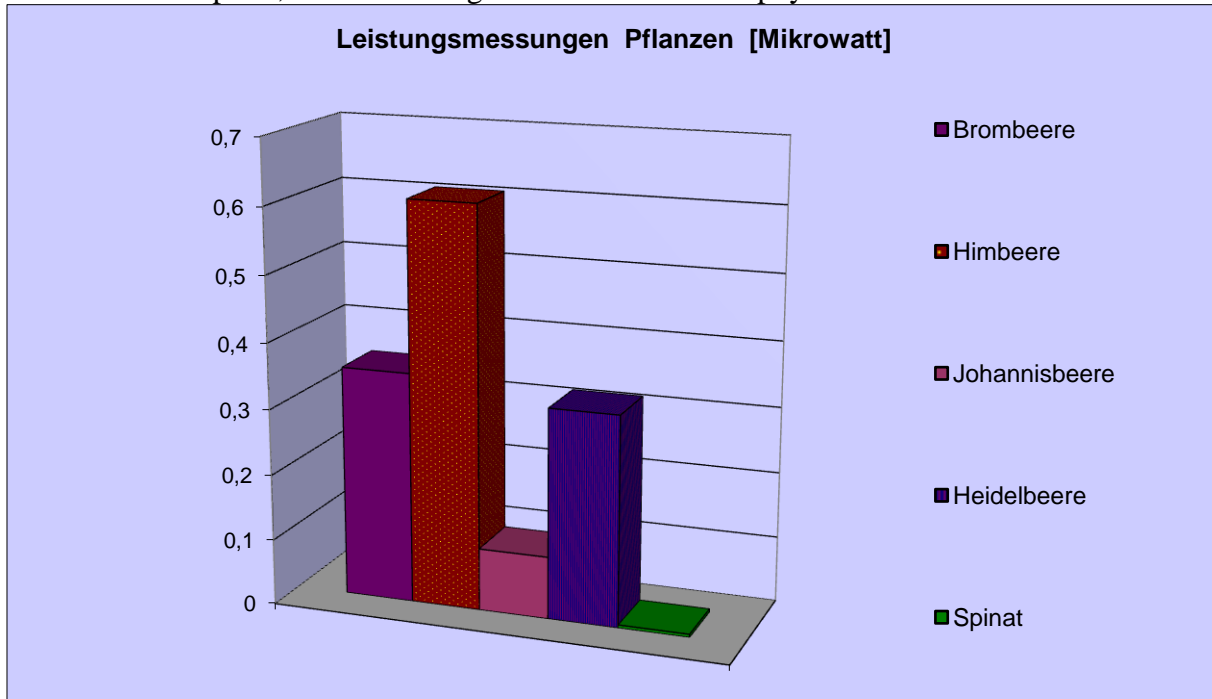


Abb. 5: Farbstoffzellen: Heidelbeere, Himbeere, Spinat, Brombeere

Mit den nun funktionstüchtigen Farbstoffzellen klärten wir die folgenden Versuchsfragen.

2.2.2 Welche Pflanze liefert die besten Farbstoffe?

Um unsere organischen Farbstoffsolarzellen möglichst leistungsstark aufzubauen, benötigen wir die besten Komponenten; besonders der Farbstoff als „Startpunkt“ sollte unsere Energiegewinnung optimieren. Daher testeten wir nach dem oben erläuterten Aufbau Brombeeren, Himbeeren, Johannisbeeren und (Wild-)Heidelbeeren als anthocyanhaltige Früchte sowie Spinat, um einen Vergleichswert für Chlorophyll zu erhalten.

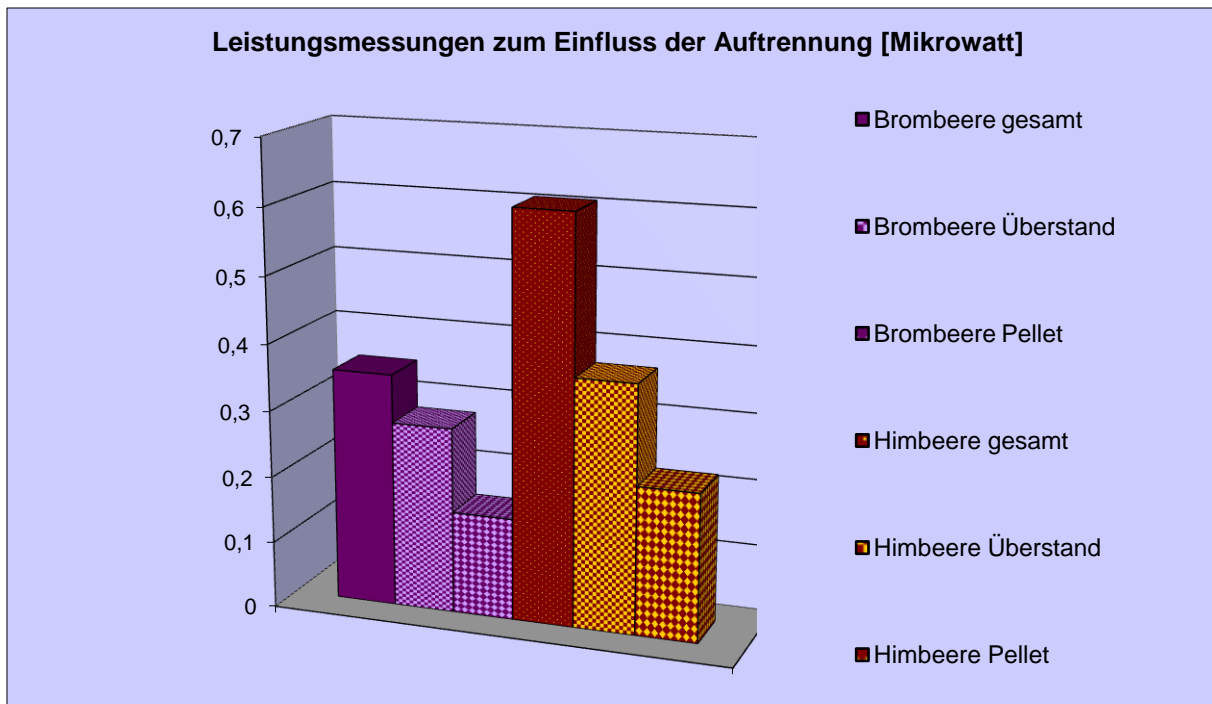


Wie man dem Diagramm entnehmen kann, lagen die Chlorophyllwerte (mit ca. 0,005 Mikrowatt) deutlich unter den mit Anthocyanen erzeugten Leistungen. Daher verzichteten wir auf weitere Experimente mit grünen Farbstoffen, obwohl diese natürlich immer mit Photosynthese in Verbindung gebracht werden. Am meisten überzeugten uns die Leistungen derjenigen Zellen, die wir in passierte Himbeeren eingelegt hatten, sie erreichten knapp 0,6 Mikrowatt. Dicht aufeinander folgten bei Leistungen um 0,3 Mikrowatt die Brombeer- und Heidelbeerzellen, dagegen waren die Ergebnisse der Johannisbeeren mit weniger als 0,1 Mikrowatt ebenfalls weniger erfreulich.

2.2.3 Kann die Reinheit optimiert werden?

Unsere Recherche zur Optimierung organischer Farbstoffsolarzellen hatte ergeben, dass mit reinen Farbstoffen höhere Leistungen zu erzielen seien. Allerdings sei dies sehr kostenintensiv¹⁷, daher kam uns der Gedanke, ob die Auftrennung der Fruchtbestandteile durch das Zentrifugieren eine Verbesserung der Reinheit zugunsten der Leistung bedeuten könnte. Da wir zu diesem Zeitpunkt bereits Messungen mit Brombeeren und Himbeeren durchgeführt hatten, wählten wir diese Früchte auch für unsere „Reinheits-Experimente“. Beim Zentrifugieren setzen sich die schwereren Partikel unten in der Bürette ab, darüber entsteht ein Überstand aus den kleineren, leichteren Zellbestandteilen. Sollte die Konzentration der Anthocyane in diesen Bestandteilen unterschiedlich sein, müssten die Leistungsmessungen zeigen, ob unsere folgenden Experimente auf dem Überstand, dem Pellet oder wie bisher auf den gesamten Bestandteilen der passierten Früchte beruhen sollten.

¹⁷ Vgl. dazu www.zeitbild.de/wp-content/uploads/2011/07/Arbeitsblatt_Gr%C3%A4tzelzelle_online.pdf

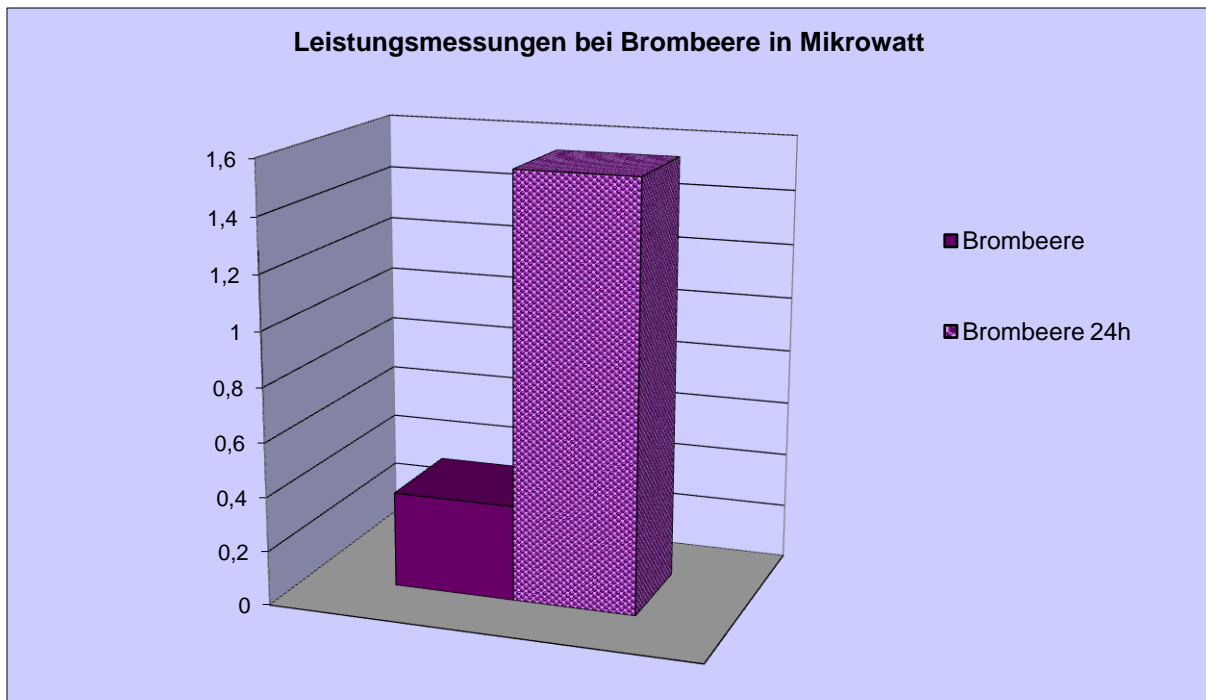


Der Einfluss der Auftrennung scheint gering bzw. nicht vorteilhaft, denn durch das Einlegen in die Gesamtheit der Bestandteile erzielten wir sowohl mit Brombeeren als auch mit Himbeeren die jeweils besten Ergebnisse. Die schwereren Bestandteile der Früchte scheinen keine nützliche Konzentration an Anthocyanen zu enthalten, da die Zellen mit den Farbstoffen der Pellets bei beiden Beerensorten am schlechtesten abschnitten. Im mittleren Bereich lagen die Überstände, wobei derjenige der Himbeere mit ca. 0,37 Mikrowatt die Leistung der besten Brombeere (0,35 μW) knapp überschritt. Obwohl es uns bei dieser Messung um den Einfluss der Auftrennung ging, konnten wir erneut feststellen, dass die effizientesten Zellen mit den Anthocyanen der Himbeeren entstanden.

2.2.4 Inwiefern beeinflusst die Einwirkzeit die Leistung?

Im Normalfall ließen wir die Photoelektroden etwa fünfzehn Minuten lang einwirken, danach wies das Titandioxid eine violette Färbung auf. Allerdings interessierte es uns, ob die beschichteten Glasplatten bei einer längeren Einwirkzeit noch weitere Farbstoffe aufnehmen würden und somit die Leistungsfähigkeit weiter optimiert werden könnte.

Hierzu ließen wir eine Photoelektrode für 24 Stunden in der mit passierten Brombeeren gefüllten Petrischale und maßen die Leistung der daraus gebauten Solarzelle im Vergleich zu einer zweiten Zelle, deren Photoelektrode nur über die übliche Zeit einwirken konnte.



Sehr deutlich ließ sich erkennen, dass eine längere Einwirkzeit eine erhebliche Steigerung bedeutet: Mit ungefähr 0,35 zu 1,55 Mikrowatt hatte sich die Leistung nach einer 24-stündigen Einwirkzeit mehr als vervierfacht! Daher wollen wir diese Methode weiterhin verwenden, um die effizientesten Farbstoffe auch in ihrer vollen Leistung nutzen zu können.

2.3 Auswertung

Den Diagrammen lässt sich entnehmen, dass besonders die Himbeeren und eine lange Einwirkzeit von 24 Stunden einen hohen Wirkungsgrad der Photosolarzellen möglich machen. Dadurch ist die Konzentration von Anthocyanen in diesen Zellen besonders hoch, sodass ein verhältnismäßig großer Teil der Photonen durch diese den Start vieler Reaktionsketten auslösen.

3 Ausblick

Nach einem Zeit raubenden Einstieg konnten wir einige Fehlerquellen beheben und klare Messergebnisse festhalten. In der Auswertung kristallisierte sich passierte Himbeere als bester natürlicher Pflanzenfarbstoff heraus. Allerdings konnten wir noch längst nicht alle Pflanzenbestandteile mit einer hohen Konzentration von Anthocyanen in unseren Farbstoffsolarzellen testen, daher wollen wir unbedingt weitere Experimente durchführen. So wollen wir beispielsweise den Anteil der Farbstoffe durch Wasserentzug konzentrieren, was einen Anstieg der Leistung vermuten lässt. Der beste Farbstoff an sich ist uns aber noch längst nicht genug: Die Haltbarkeit der Zellen kann in den Bereichen Farbstoff und Elektrolyt sowie Versiegelung verbessert werden. Dies ist daher unsere Zielsetzung für die nächste Zeit.

Dabei ist es uns jedoch wichtig, die geringen Material- bzw. Herstellungskosten und die Nachhaltigkeit der Photosolarzellen bei allen Experimenten zur Optimierung im Fokus zu behalten

Danksagungen

Wir möchten uns zuallererst bei unserer Betreuungslehrerin, Frau Bönsch, bedanken. Sie hat sich trotz vieler anderer Aufgaben stets für uns eingesetzt und stand bei Problemen und Fragen immer hilfreich zur Seite. Trotzdem ließ sie uns Freiräume, damit wir selbst Lösungen finden und unsere eigenen Ideen verfolgen konnten.

Desweiteren möchten unseren Dank auch an Herrn Stein und seine Miniforscher richten, die uns im Fachbereich Physik trotz ihrer eigenen Arbeiten bereitwillig geholfen haben, obwohl unsere Physikkenntnisse in der Tat sehr gering waren.

Als letztes ein herzliches Dankeschön an alle Freunde und Verwandte. Obwohl wir teilweise mehr Zeit in der Schule als mit ihnen verbrachten, haben sie uns den Rücken freigehalten und an anstrengenden Tagen Kraft gegeben.

Quellenverzeichnis

Lexika:

- Brockhaus

Fachliteratur:

- Campbell, Reece: Biologie. 6. Auflage, 2004.
- Markl: Biologie. 1. Auflage, 2010.
- Purves et al.: Biologie. 7. Auflage, 2007.

Internetquellen:

- www.solarenergysystems.eu/solarzelle_aufbau_und_funktion.html
- <http://www.colorsol.de/>
- www.lehrer-online.de/817653.php
- http://www.chemie-cockpit.de/mediawiki-1.9.3/images/9/93/Die_Gr%C3%A4tzelzelle_Lehrer.pdf
- <http://www.energie-visions.de/lexikon/graetzel-zelle.html>
- <http://www.weirdscience-club.de/public/Die%20Graetzelzelle.pdf>
- <http://www.bionik-sigma.de/experimente/die-graetzelzelle/>
- http://www.zeitbild.de/wp-content/uploads/2011/07/Arbeitsblatt_Gr%C3%A4tzelzelle_online.pdf
- <http://www.stromvergleich.de/stromlexikon/graetzel-zelle>
- <http://www.cleanenergy-project.de/10214/>
- <http://www.heise.de/tr/artikel/31-Prozent-Wirkungsgrad-sind-mit-intensiver-Forschung-drin-1027456.html>
- <http://www.nanomat.de/publikationen/nano4.pdf>
- http://www.biokon.net/bionik/download/Conti_bionic_studie_de.pdf
- http://aachen2050.isl.rwth-aachen.de/mediawiki/images/4/43/Technologie_Bunte_Sonnenf%C3%A4...pdf
- http://www.bpb.de/themen/PAYLME,0,0,Energie_in_Deutschland.html
- http://www.unendlich-viel-Energie.de/uploads/media/EE_machen_uns_unabhaengig_von_Energieimporten.pdf
- <http://www.strom-infos.net/vor-und-nachteile-der-sonnenenergie.html>