

GenaU hingeschaut: Schülerlabor "Biologie trifft Technik"



Bio-Strom aus dem Schülerlabor: Wie funktioniert das überhaupt?

Seit 2008 besuchen uns im Schülerlabor-Projekt „Biologie trifft Technik“ regelmäßig Brandenburger Schüler und Schülerinnen, um hier an der TH Wildau spannende Experimente unter echten Laborbedingungen durchzuführen. Hierbei bekommen sie auch einen Eindruck von den aktuellen naturwissenschaftlichen Trends, insbesondere in den Lebenswissenschaften vermittelt. In den „Bio-Fächern“ steckt heute nicht mehr nur „Bio“ drinnen, sondern eine Vielzahl von wissenschaftlichen Disziplinen. Die Biosystemtechnik ist hierfür ein Paradebeispiel. Ein aktueller Forschungsansatz aus diesem Bereich ist die Herstellung von Biobrennstoffzellen. Aber, wie kann man mit Hilfe von biologischem Material, wie beispielsweise Enzymen, Strom erzeugen? Welche Hürden müssen genommen werden, um Biobrennstoffzellen zu entwickeln, die Implantate wie z.B. Herzschrittmacher antreiben können? Eine solche Aufgabenstellung benötigt Kenntnisse und nutzt Konzepte aus verschiedenen naturwissenschaftlichen und technischen Bereichen- von der Biologie, Chemie bis hin zur Oberflächen- und Nanotechnologie. Genau diese weite Spanne wollen wir im Schülerlabor vermitteln. Dazu haben wir eine Reihe von neuen Experimenten ausgearbeitet, bei denen die Schüler z.B. selbst einmal eine Biobrennstoffzelle bauen und testen können.

Doch wie funktioniert eine Brennstoffzelle überhaupt? Das Prinzip hierbei ist recht einfach: Bei vielen chemischen Reaktionen werden Elektronen von einem Stoff auf einen anderen übertragen. Solche Reaktionen nennt man auch **Redox**-Reaktionen, weil hier sowohl eine **Oxidation** (Elektronenabgabe) als auch eine **Reduktion** (Elektronenaufnahme) stattfindet. Eine der bekanntesten Redox-Reaktionen ist wohl die sogenannte Knallgas-Reaktion, bei der Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser reagieren. Schon der Name „Knallgas-Reaktion“ gibt einen Hinweis darauf, dass während dieser Reaktion viel Energie freigesetzt wird. Doch woher kommt diese Energie und wie kann man sie in eine für uns nützliche Form, z.B. als elektrische Energie umwandeln?

Betrachten wir einmal die Oxidation- und Reduktionsreaktion getrennt voneinander: Bei der Oxidation gibt ein Stoff Elektronen ab, wie leicht er das tun kann ist von seiner Struktur abhängig. Im Beispiel, der Knallgas-Reaktion, gibt der Wasserstoff seine Elektronen ab, er ist der Brennstoff, der oxidiert wird. Im Endprodukt der Reaktion – dem gebildeten Wasser –

Die Mitglieder im Netzwerk

bindet er die Elektronen nur noch sehr schwach. Dahingegen bindet der Sauerstoff die zusätzlichen Elektronen im Wasser sehr fest und ist daher bestrebt Elektronen aufzunehmen. Es gibt für die beiden Stoffe Sauerstoff und Wasserstoff also eine starke Triebkraft sich zu Wasser zu vereinen.

Ein quantitatives Maß für die Bereitschaft eines Stoffes Elektronen abzugeben und im Umkehrschluss auch aufzunehmen ist sein sogenanntes Redox-Potential (von lat. *potentia* = Stärke, Macht). Stoffe, die Ihre Elektronen leichter abgeben können haben ein negatives Redox-Potential als solche die Elektronen sehr fest binden. Bei jeder Redox-Reaktion die ablaufen kann, tritt demnach eine elektrische Potentialdifferenz auf. Im Fall der Knallgas-Reaktion wird die, in der Potentialdifferenz der Elektronen steckende Energie, direkt als Wärme abgeführt – ähnlich wie bei einem Kurzschluss. Trennt man jedoch die beiden Teilreaktionen und „sammelt“ die bei der Oxidation anfallenden Elektronen an einem elektronenleitenden Material – einer Elektrode- (der sogenannten Anode) während man bei der Gegenelektrode (der sogenannten Kathode) durch die Reduktionsreaktion Elektronen abzieht, so erhält man zwischen den beiden Elektroden eine Spannung, die man nutzen kann um elektrische Verbraucher anzutreiben. Eine Brennstoffzelle ist demnach ein Energiewandler, der chemisch gebundene Energie direkt in elektrische Energie überführen kann. Doch was passiert in einer Bio-Brennstoffzelle?

Ein Großteil der in den Lebewesen stattfindenden chemischen Umwandlungen sind Redox-Reaktionen. Als Nährstoffe verwenden wir hauptsächlich kohlenstoffhaltige Verbindungen wie Kohlenhydrate (z.B. Zucker) und Fette. In all diesen Verbindungen besitzt der Kohlenstoff Elektronen, die relativ leicht abgegeben werden können –er kann also oxidiert werden. Genau dies passiert nun beim Stoffwechsel in einem Lebewesen. Die Energie aus diesem Prozess wird hierbei so geleitet, dass sie zum Aufbau von biologischen Strukturen genutzt werden kann. Wird der Kohlenstoff aus den Nährstoffen vollständig im Körper oxidiert, entsteht hierbei das Kohlenstoffdioxid, welches wir ausatmen.

Im Körper ist es natürlich extrem wichtig, dass dieser Vorgang ganz kontrolliert stattfinden, daher wird die Oxidation der Nährstoffe in vielen kleinen und regulierten Einzelschritten durchgeführt. Ein einzelner Schritt ist beispielsweise die Oxidation von Traubenzucker (Glucose) zu einem intramolekularen Ester dem Gluconolacton. Damit diese Reaktion kontrolliert und schnell abläuft werden Enzyme als Katalysatoren benötigt – im Fall der Oxidation von Glucose zu Gluconolacton übernimmt dies u.a. das Enzym Glucose-Dehydrogenase. Natürlich ist die Energiemenge, die hierbei freigesetzt wird eher klein – da nur ein einzelnes Kohlenstoff-Atom aus dem Zucker letztlich oxidiert, d.h. der Brennstoff nur unvollständig verbrannt wird.

Wie kann man nun diese Reaktion in einer Biobrennstoffzelle einsetzen? Wie bei einer herkömmlichen Brennstoffzelle lassen wir die Oxidation an der Anode und die Reduktion an der Kathode getrennt ablaufen. Hierbei sollen die anfallenden Elektronen von der Glucose auf

Die Mitglieder im Netzwerk

die Anode übertragen werden. Damit dies gelingt, muss die Oxidationsreaktion in unmittelbarer Nähe zur Elektrode ablaufen, somit sollte das Enzym (die Glucose-Dehydrogenase) sich am besten direkt auf der Elektrodenoberfläche befinden. Hier beginnt es bereits kompliziert zu werden: weil die Enzyme in der Regel sehr große Moleküle sind kommen sie oft nicht so nah an die Elektrodenoberfläche heran, um effizient die Elektronen zu übertragen. Ein möglicher Ausweg ist die Verwendung von kleinen Shuttle-Molekülen, welche die Elektronen vom Enzym aus zur Elektrode bringen. Ähnlich sieht es an einer Bio-Kathode aus, auch hier findet eine Enzym-katalysierte Reaktion – häufig die Reduktion von Sauerstoff zu Wasser statt. Die hierbei eingesetzten Enzyme übertragen demnach Elektronen auf Sauerstoff – Beispiele hierfür sind die sogenannten Laccasen. Letztlich sind die Probleme für die technische Umsetzung an beiden Bio-Elektroden (Anode und Kathode) ähnlich. Wie ermögliche ich eine effiziente und schnelle Elektronen-Übertragung zwischen Elektrodenoberfläche und Enzym. Ein weiteres Problem ist die Menge an Elektronen, die pro Zeiteinheit übertragen werden können. Sie bestimmt maßgeblich die Strommenge die durch die Zelle fließen kann und ist u.a. davon abhängig wie viele Enzym-Moleküle Elektronen auf die Elektrode „pumpen“ oder „absaugen“. Ein Ansatz um die Strommenge zu maximieren, ist die Elektrodenoberfläche möglichst groß zu gestalten, sodass viele Enzyme Platz finden. Hierbei nutzt man oft die extrem großen Oberflächen die Nanostrukturen bieten.

Im Schülerlabor benutzen wir als Elektrodenmaterial Graphitstäbe, die aus kleinen Körnern zusammengepresst wurden und daher eine große Oberfläche zum Aufbringen der Enzyme besitzen. Sind die Anode und Kathode mit den entsprechenden Enzymen beschichtet, so kann man sie in ein gemeinsames Reservoir mit Elektrolyt-Lösung eintauchen. Nun noch den Brennstoff Glucose in die Lösung zugeben und die Biobrennstoffzelle ist fertig und produziert Strom. Derzeit ist die Strommenge noch relativ gering und wir erhalten gerade einmal maximal $20\mu\text{W}$ an elektrischer Leistung wenn wir 1cm^2 an enzymbeschichteter Elektrodenfläche verwenden. Doch immerhin können wir mit ca. vier in Reihe geschalteten Bio-Brennstoffzellen eine Leuchtdiode betreiben. Damit wird klar, dass das Konzept der Bio-Brennstoffzelle gut funktioniert, aber doch noch eine Menge Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten ist, um dieser Technologie zum Durchbruch zu verhelfen.

Kontakt:

Biologie trifft Technik Dr. Matthias Broser

Technische Fachhochschule Wildau
AG Biosystemtechnik
Bahnhofstrasse 1
D-15745 Wildau

Fon 03375 508-317
E-Mail schuelerlabor@th-wildau.de
www.th-wildau.de

Schülerlabor-Netzwerk Genau Christina Seidler

Fabeckstraße 34-36
D-14195 Berlin

Fon 030 838-54297
E-Mail seidler@genau-bb.de
www.genau-bb.de

Die Mitglieder im Netzwerk