

Die Wasserstoff- Energiewende

Ein grundlegender Prozess des Lebens?

Erich F. Elstner

1. Der kleine Unterschied zwischen den Lebensformen

Zum Leben auf der Erde war schon immer die Energie der Sonne nötig, eine Einteilung in „*autotrophe und heterotrophe Organismen*“, also „grob“ gesagt in Pflanzen und Tiere, gäbe es auch nicht ohne sie. Wir diskutieren heute über eine „Energiewende“ und meinen damit die Verwendung von Wind- und Sonnenenergie für den Betrieb von Maschinen anstelle von Kohle, Öl und Gas, versunkener Relikte einer Jahrmillionen- andauernden Speicherung von Produkten der Sonneneinstrahlung auf Pflanzen.

Wenn es nun aber um eine neue, echte und schnelle „*Energiewende*“ geht, die also nicht erst innerhalb von Jahrtausenden oder gar Jahrmillionen ablaufen soll, so wurde diese schon, lange vor dem Erscheinen der Menschen, von ***Euglena gracilis*** erfunden:

Diese leicht gelbliche, einzellige Alge schwimmt beliebig lang mit einem „Geiselmotor“ im Dunkel durch ihre Nährlösung, freut sich aber wenn es hell wird. Dann erinnert sich eine Steuerung in ihrem Zellkern, dass sie jetzt ihre „latente Lichtmaschine“ aufbauen kann: Sie legt den Hebel von „heterotroph auf autotroph“ um, wird grün und macht die Luken für organische Substrate dicht. Sie lässt dann nur noch die nötigen Nährsalze (Dünger) an Bord und paddelt ohne organischen Proviant von außen, Sauerstoff produzierend und kaum mehr atmend, lustig weiter. Ernähren kann sie sich jetzt selber, sie ist jählings Selbstversorger geworden.

Beneidenswert? Vom Wirtschafts- wie vom Umweltminister des Staates ***Biotoipistan*** sicherlich hoch gelobt!

Wenn wir uns einmal klarmachen wollen, was den grundlegenden Unterschied zwischen den beiden Lebensformen bedingt, so sind es (vereinfacht und auf das Wesentliche reduziert) eigentlich nur die „Bindungspartner“ für den *Wasserstoff als Energieträger*: bei den heterotrophen ist es der reduzierte Wasserstoffträger, NAD(P)**H₂** und bei der autotrophen ist es schlicht und einfach das „Licht-aktivierte“ Wasser, **H₂O**.

2. Das Ur-Model

Von der reinen Chemie her, gäbe es ein einfaches Modell für diese zwei „Grundmetabolismen“: die Methanbildung (Pflanze) und dessen Oxidation (Tier):



Der Kohlenstoffumsatz wäre dabei nur überlagert.

Was ist dann aber der grundsätzliche Unterschied dieser Lebensweisen?

a) Der „*Heterotrophe*“ benötigt ein energetisch „teures“ Ausgangsmaterial zum Leben, das ein recht *negatives Potential* (NADP/NADPH= -310mV) hat.

b) Der „*Autotrophe*“ startet mit einem „wertlosen“ Grundstoff und stark positivem Potential (H₂O/O₂= +830mV), erst das Licht macht Prozesse auf ein „höheres Potential hin“ möglich.

Also nichts als eine Potentialdifferenz der Ausgangsstoffe?

Die Pflanze überbrückt durch die Photosynthese im Licht eine Potentialdifferenz von mehr als einem Volt. Von plus 830mV bis minus 320mV ergeben sich etwa 1,5V - und dabei wird neben dem NADPH auch noch der Energieträger ATP, Adenosintriphosphat gebildet! Das Tier muss ATP erst durch die Atmung und damit der Oxidation von NAD(P)H „rückgewinnen“. Die Kunst der autotrophen Pflanzen ist also, dass sie „gebundenen Wasserstoff aus Wasser“ lösen kann, den sie für die Heterotrophen (Veganer als auch Löwen)

durch Kohlenstoff-Fixierung in wertvolles Futter umwandelt. Diese müssen dann wiederum, für alle, von ihnen zu erbringenden Leistungen, das Futter über die Atmung in ATP umwandeln. *Euglena* hat es also als Pflanze leichter, denn erst wenn das Licht ausgeht, *muss* sie so leben wie andere Tiere.

3. Der Wasserstoff macht´s! Warum-und wie?

Das Potential des Wasserstoffs (- 0,4V) auf der einen Seite und das Potential des Sauerstoffs (+0,8 V) auf der anderen ist also ein Bereich, in dem sich die Lebensprozesse bewegen. Viele davon sind Redoxprozesse, in welchen Elektronen fließen. Dies geschieht in den Membranen von Mitochondrien und Chloroplasten und dient der Energiegewinnung. Hier passiert dann das Wunder des kleinsten Atoms, dessen Tragweite erst Peter Mitchell 1961 erkannte:

P. Mitchell: *Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemi-osmotic type of mechanism*. In: *Nature*. Band 191, 1961, S. 144–148.

Dafür bekam er 1978 den Nobelpreis: Er beschrieb den „chemi-osmotischen Prozess“ der ATP –Bildung. Dieser läuft ganz anders als ab, als die ATP- Bildung bei der Gärung und benötigt keine „Thioester als energiegeladene Vorläufer“, sondern einen „Protonengradienten“ über eine Membran hinweg, das heißt also: getrieben nur mit Wasserstoff:

Einige Details dazu:

An den Membranen bewirken Redoxreaktionen, dass eine Ladungsdifferenz entsteht: Moleküle mit „austauschbarem Wasserstoff“ auf der einen Membranseite haben Elektronen aufgenommen und sind also „reduziert“. Diese Moleküle gelangen reduziert durch die Membran und werden auf der gegenüber liegenden Seite wieder oxidiert, geben also Elektronen an einen anderen Akzeptor weiter. Der Wasserstoff aber, jetzt als positiv geladenes Wasserstoffatom, d.h. ohne Elektron (also als Proton!), bleibt aber dann auf der anderen Seite der Membran übrig und erzeugt damit eine Potentialdifferenz über diese Membran hinweg.

Der Rückfluss dieses Protons geschieht durch ein „Koppelungsfaktor-Protein“ und das wiederum treibt eine „Turbine“ an, welche ADP und Phosphat zu ATP verknüpft, was einen Energiegewinn von 8Kcal/Mol = 35KJ/Mol ergibt.

4. Regulatorische Funktionen mit neuartiger Biochemie?

Die Energetik ist aber nur die eine Seite im Leben, die Regulation ist eine andere: *Auch ein Auto mit dem stärksten Motor, bleibt ohne funktionierende Steuerungssysteme, in der Garage.*

Es ist lange bekannt, dass kleine Moleküle, d.h. Gase regulierend in unseren Stoffwechsel eingreifen und Stoffwechselprozesse beeinflussen können, wie das N₂O (Narkosegas), NO und H₂S (Gefäßerweiterung).

In neuerer Zeit hat man auch *Wasserstoff-gesättigtes Wasser* als ein „Heilmittel“ erkannt und vermehrt eingesetzt, was anscheinend „ungeahnte“ Eigenschaften in sich birgt: Es beschleunigt Wundheilung, Blutfluss, Organregeneration, gewährt Schutz gegen COVID und kooperiert mit dem NO. Die Autoren:

LeBaron TW, McCullough ML and Ruppman Sr KH berichten darüber in:

J. Transl. Sci., 2020, Volume 6: p.1-6, unter dem Titel: „A novel functional beverage for COVID-19 and other conditions: Hypothesis and preliminary data, increased blood flow, and wound healing“.

Es stellt sich hier sofort die Frage: Wie soll das denn gehen? Wie kommt das Gas in unseren Stoffwechsel. Ein Blick in die Wasserstoff-Biochemie ist dabei wieder hilfreich.

5. Ein Blick ins Mikrobiom und in die Pathologie

Anaerob lebende Bakterien, besonders aus der Gattung *Clostridium*, besitzen ein Enzym, welches Wasserstoff (H₂) umsetzen kann. Es hat den Namen „Hydrogenase“, aber Menschen besitzen dieses, sehr

„oxidationsempfindliche“ Enzym nicht. Da solche Bakterien aber naturgemäße Mitglieder unseres Mikrobioms sind, ist eine Wirkung von Wasserstoff über unser Mikrobiom durchaus denkbar.

Das Redoxpotential unserer Enzyme reicht bis $-0,4\text{ V}$. Es sind die, fast allgegenwärtig in Membranen vorhandenen Diaphorasen, also Isoalloxazin-haltige Flavoproteine, welche auch an das Herbizid Paraquat (Methylviologen) und auch das Pilzgift *Orellanin* (in *Cortinarius orellanus*) Elektronen abgeben können. Diese dann reduzierten, elektronegativen Substanzen ergeben nach Oxidation an Luft toxisches Wasserstoffperoxid. Das wissen wir aus den tödlich-verlaufenden Organversagen (Lunge, Niere) nach versehentlichen Vergiftungen mit diesen sog. „low potentials“ und darum so toxischen Quat-Verbindungen (die inzwischen verboten sind) mit einem Redoxpotential bis unter $-0,5\text{V}$. Das reicht aus, um den Sauerstoff zum Superoxid und damit auch zu Wasserstoffperoxid zu reduzieren.

6. Alte Spielerei mit neuer Bedeutung?

Dass diese Diaphorasen auch Elektronen von den Hydrogenasen übernehmen können, kennt man aus der *Clostridien* – und auch aus der Photosynthese -Forschung.

Schon vor fünfzig Jahren konnte gezeigt werden, dass Wasserstoff und Sauerstoff eine *lichtabhängige Knallgasreaktion* eingehen können, die über folgenden Elektronentransport abläuft, wobei wieder eine „giftige“ Quat-Verbindung ($E_0 = -550\text{mV}$) teilnimmt:

H₂-> Hydrogenase-> Ferredoxin-> Diaphorase ->Cytochrom c-> **Photosystem1**->Triquat->**O₂**.

Diese Redoxkette läuft über folgende Potentiale:

H₂-400mV ->-330mV ->-200mV-> +360mV->**Licht**->-550mV->**O₂**

(E. Elstner, Ber. Dt. Bot. Ges. **1968**, Bd. 81, 325;)

Da alle Komponenten aus Pflanzen und Bakterien isoliert werden mussten, waren wochenlange Kühlraumarbeiten nötig.

Solche aufwändigen Redoxketten baute man, um die Bioenergetik von Elektronentransportsystemen „in vitro“ zu studieren d.h. eine „Reihung“ der Abfolge ihrer Komponenten und ihrer Beständigkeit samt Einbindung der ATP Synthese zu dokumentieren und hatte einen sehr praktischen Sinn: Es sollte dazu dienen, solche Systeme einmal nachzubauen, um im Weltraum zu überleben. Die Arbeiten wurden deshalb durch „grants der US-Air Force“ an ehemalige und verdiente „post docs“, die in den USA forschten und dann nach Deutschland zurückkehrten, vergeben (wie z.B. Prof. Achim Trebst, Göttingen und Bochum), die (u.a.) damit ihre Doktoranden bezahlen und damit Zentren der Photosyntheseforschung in Deutschland aufbauen und finanzieren konnten.

7. Zukunftsmusik?



©Markus Grolik

P.S.: Falls ich zum Mars fliege: eine Leberkäs - Semmel reicht!