

Bio-Kraftstoffe

- Biogas aus Abfällen (auch KA Durlach)
- Biodiesel aus Landpflanzen
- Biodiesel aus Microalgen
- Bioethanol aus Landpflanzen
- Bioethanol aus Microalgen
- Isobutanol aus Microalgen
- Wasserstoff aus Microalgen und photosynthetischen Bakterien

Biokraftstoffe aus Landpflanzen



Raps



Mais

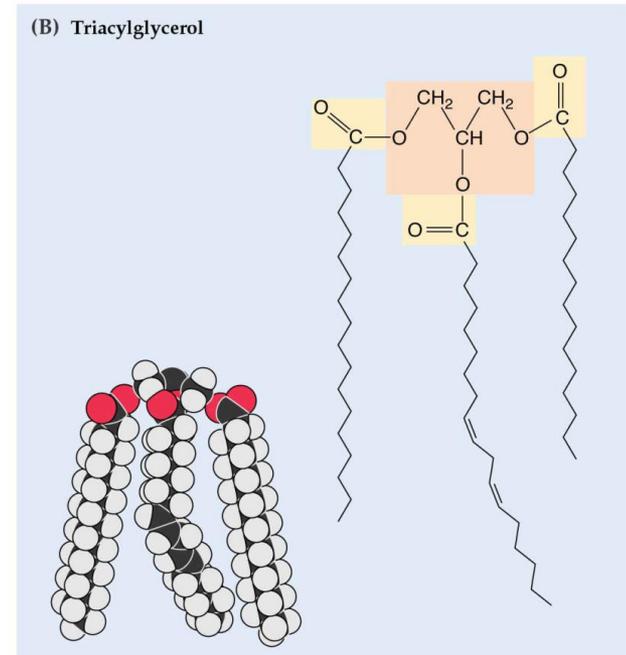


Jatropha

- Pflanzen wie Raps und Mais „verbrauchen“ landwirtschaftlich genutzte Flächen
- Jatropha wächst auf kargen Böden

Biodiesel aus Landpflanzen

- In Deutschland aus Raps-Öl, in anderen Ländern auch aus Soja-Öl
- Umesterung zu Methyl ester



Bio Ethanol aus Landpflanzen

- In Deutschland aus Mais oder Zuckerrübe, in anderen Ländern auch aus Zuckerrohr
- Abbau von Stärke zu Glucose in mehreren Schritten
- Alkoholische Gärung
- Destillation



Ethanol aus Nutzpflanzen

- Aus Stärke oder Saccharose (z.B. Mais, Weizen, Zuckerrohr, Zuckerrübe)
 - Stärkehaltiges Material wird zerkleinert, Stärke enzymatisch in Glucose umgewandelt
 - Alkoholische Gärung mit *Saccharomyces*
 - Reinigung von Ethanol durch Destillation etc.
- Aus Ligno/Cellulose (Abfälle wie Stroh, zweite Generation)

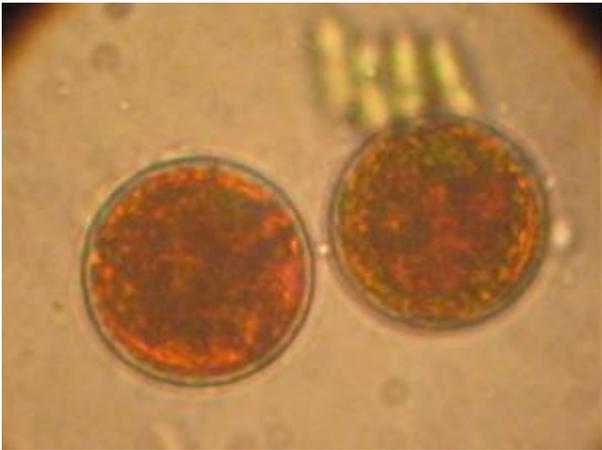


Vergleich Landpflanze / Microalgen

- Landpflanzen: Blätter sind photosynthetisch aktiv, andere Organe (Wurzel, Blüte, Stamm) nicht
- Microalgen: einzelne Zellen, alle sind photosynthetisch aktiv
- Unter Microalgen versteht man einzellige oder wenigzellige Organismen, die oxygene Photosynthese betreiben



Microorganismen für Produktion von Biokraftstoffen



Bio-Kraftstoffe aus Landpflanzen und Algen

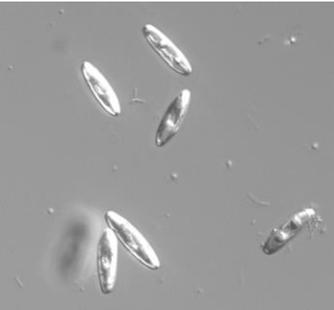
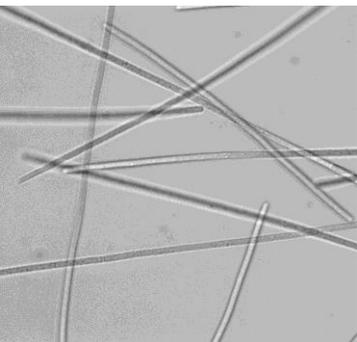
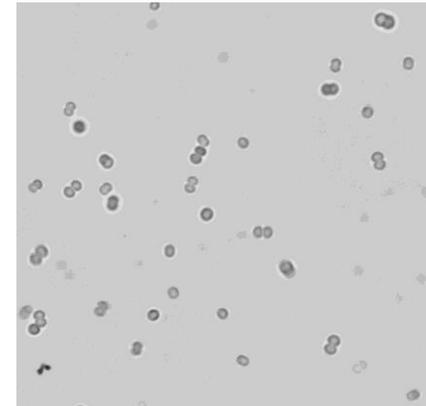


Table 1
Comparison of some sources of biodiesel

Crop	Oil yield (L/ha)	Land area needed (M ha) ^a	Percent of existing US cropping area ^a
Corn	172	1540	846
Soybean	446	594	326
Canola	1190	223	122
Jatropha	1892	140	77
Coconut	2689	99	54
Oil palm	5950	45	24
Microalgae ^b	136,900	2	1.1
Microalgae ^c	58,700	4.5	2.5



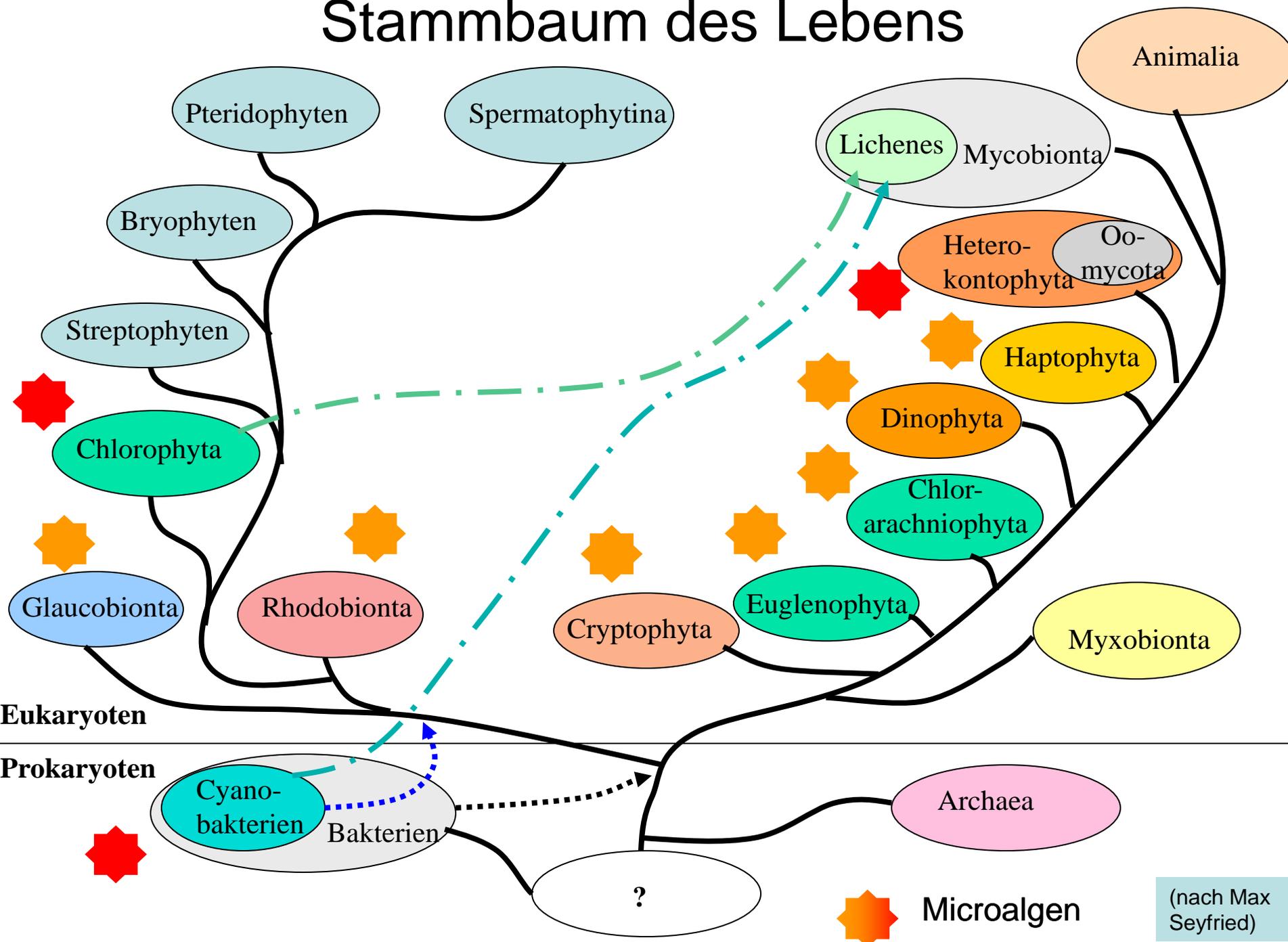
^a For meeting 50% of all transport fuel needs of the United States.

^b 70% oil (by wt) in biomass.

^c 30% oil (by wt) in biomass.

Chisti Y (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* **25**: 294–306

Stammbaum des Lebens



Biodiesel aus Microalgen Öl

Oil content of some microalgae

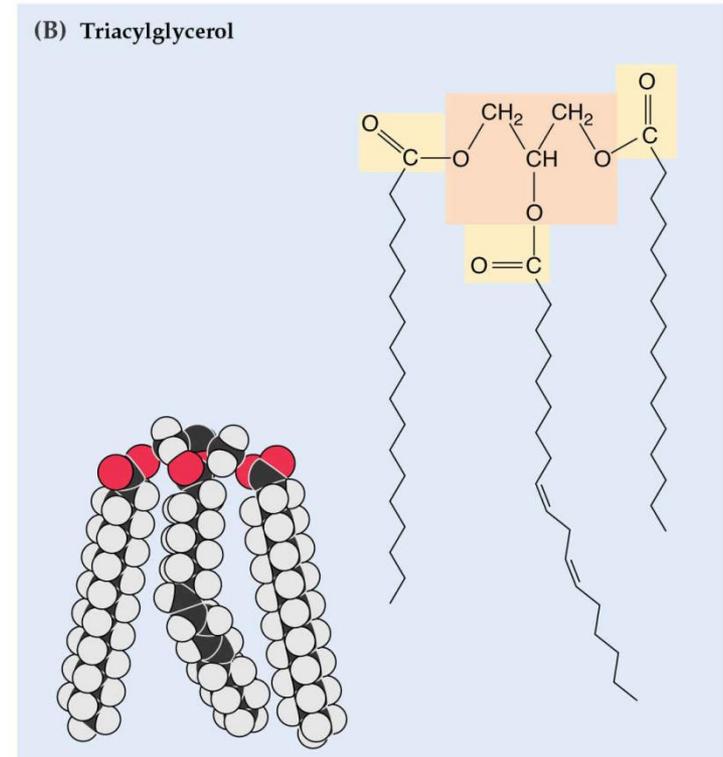
Microalgen weisen oft einen hohen Ölgehalt auf

Microalga	Oil content (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella</i> sp.	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

Chisti Y (2007)

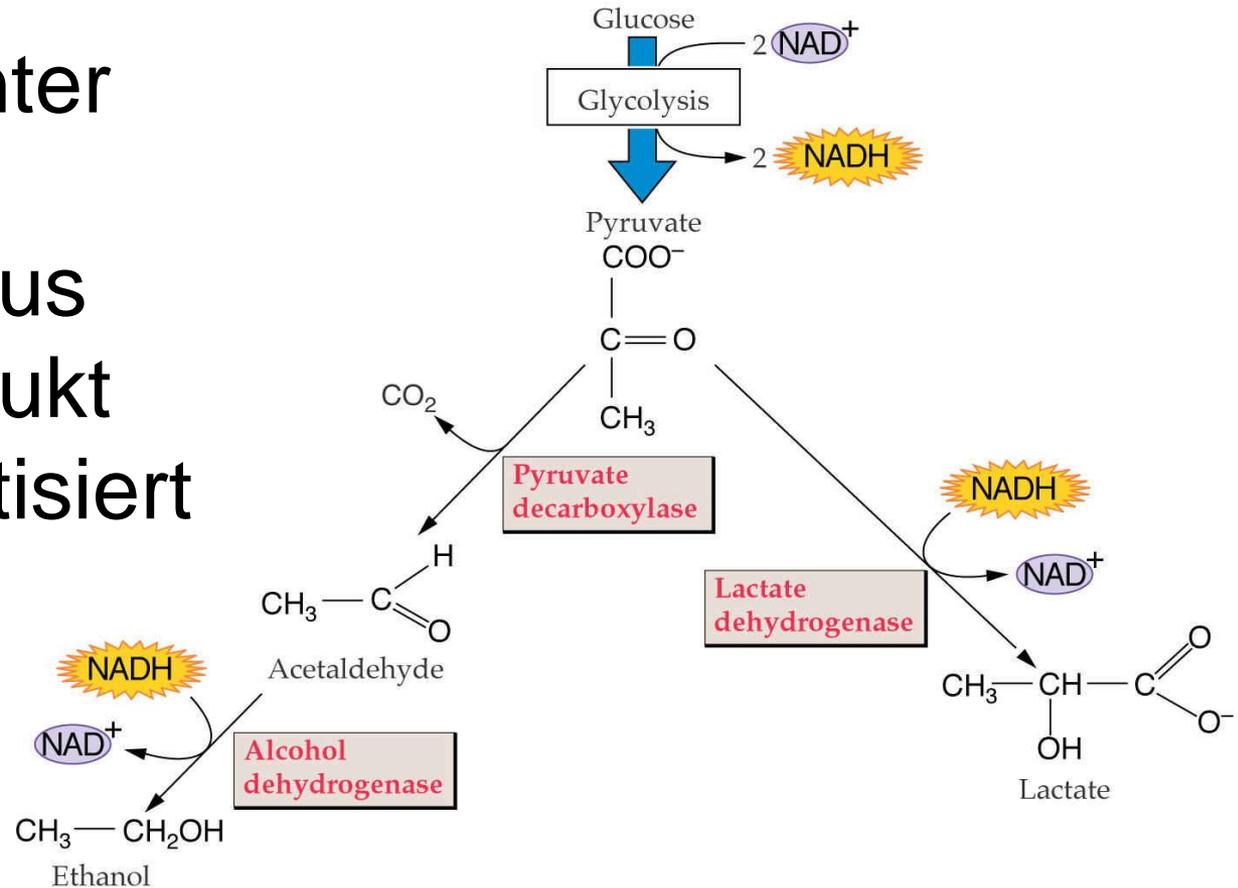
Biodiesel aus Microalgen Öl

- Triacylglycerin als Speicher
- Transesterifizierung mit Methanol zu Biodiesel (wie bei z.B. Raps)



Ethanol

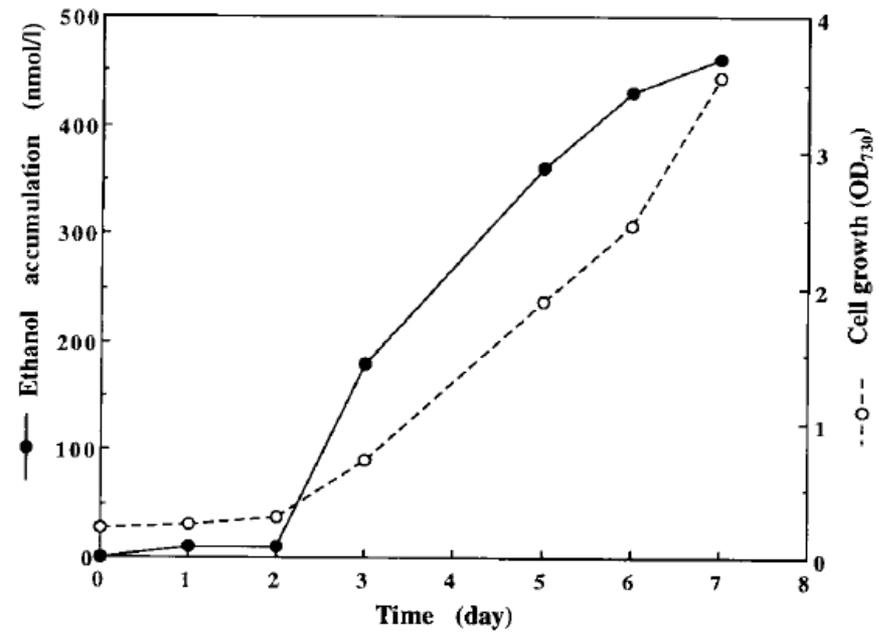
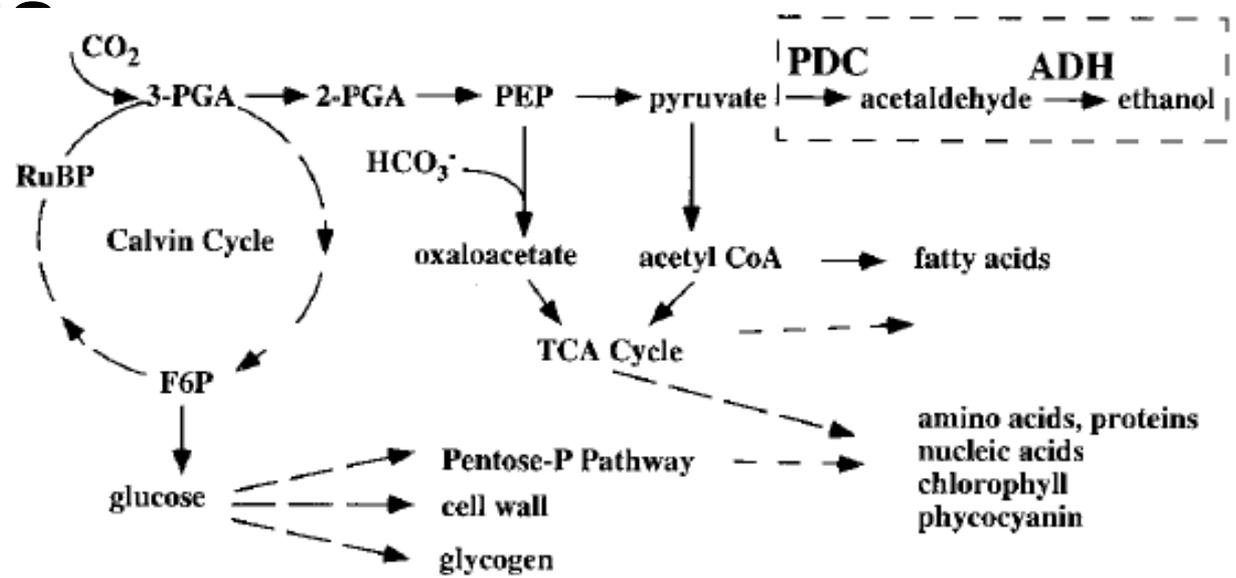
Ethanol wird unter anaeroben Bedingungen aus Glycolyse Produkt Pyruvat synthetisiert (Bier, Wein)



Buchanan

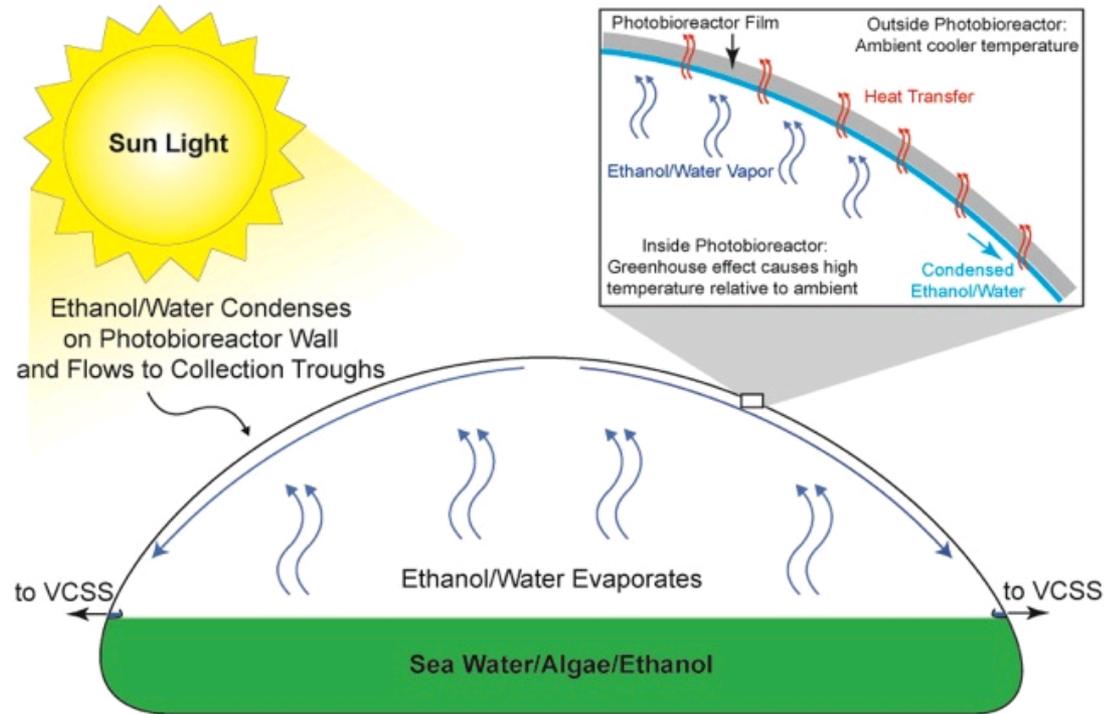
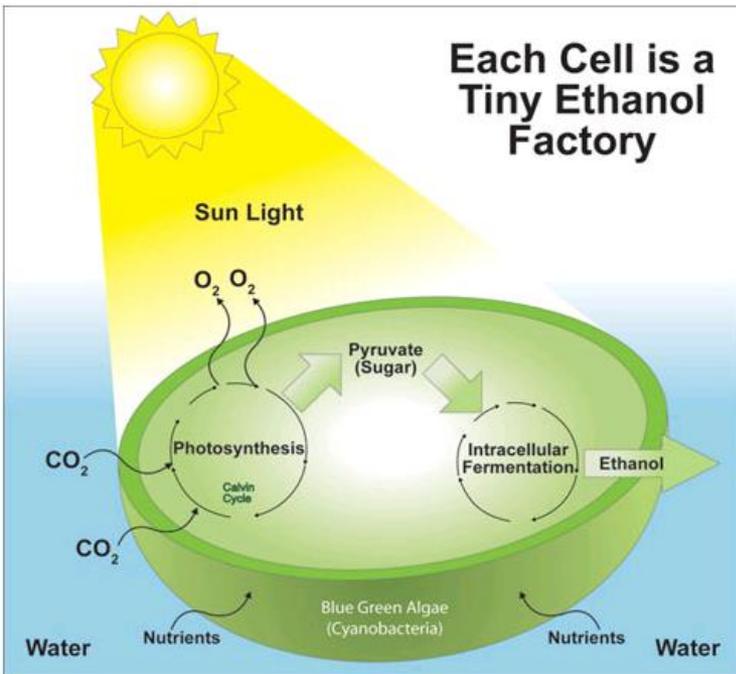
Ethanol at Cyanobacte

- Ethanol kann auch in kleinen Mengen in der Photosynthese entstehen
- Pyruvat Decarboxylase und Alkohol Dehydrogenase überexprimiert in *Synechococcus* PCC 7942: mehr Ethanol



Jeng Coleman Applied and Environmental Microbiology 1999

Ethanol durch modifizierte Cyanobakterien



Pro Flächeneinheit kann ca. 10 x mehr Ethanol produziert werden als mit Mais

Pilotanlagen von Algenol (www.algenolbiofuels.com/) in Zusammenarbeit mit CyanoBiofuel (www.cyano-biofuels.com/)

Isobutanal aus Cyanobakterien

- Modifikation des Aminosäure (Val) Stoffwechsel
- *Synechococcus elongatus* produziert Isobutyraldehyd oder Isobutanal

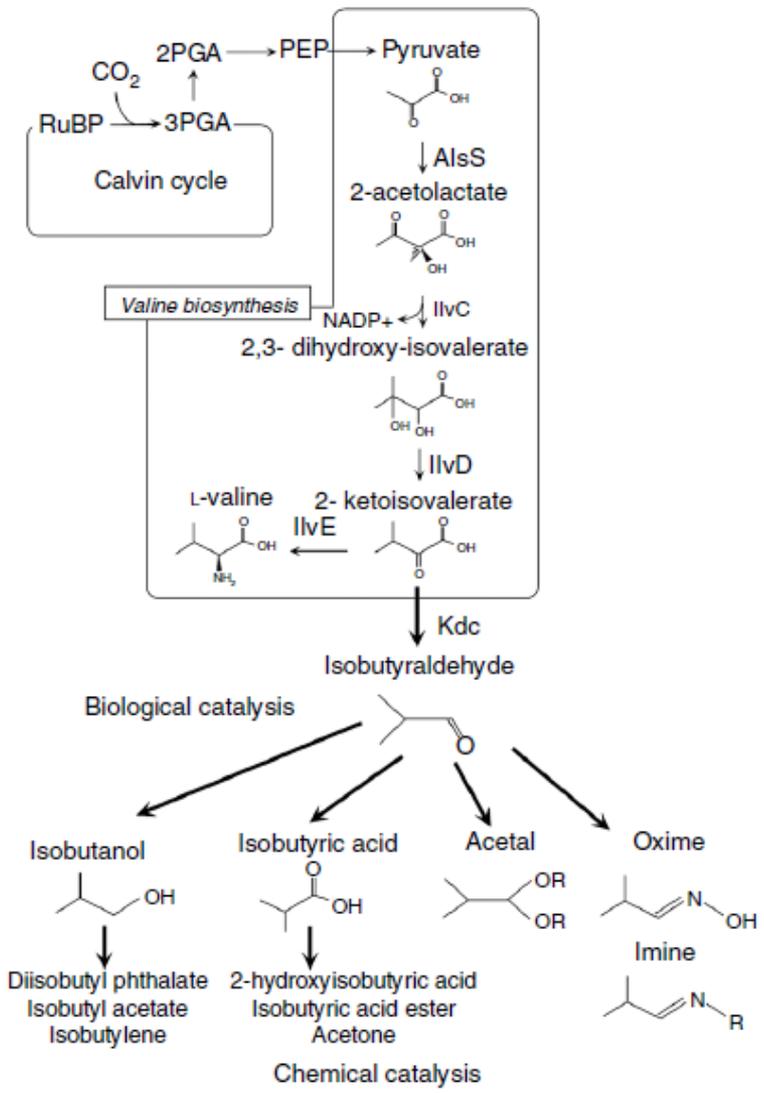
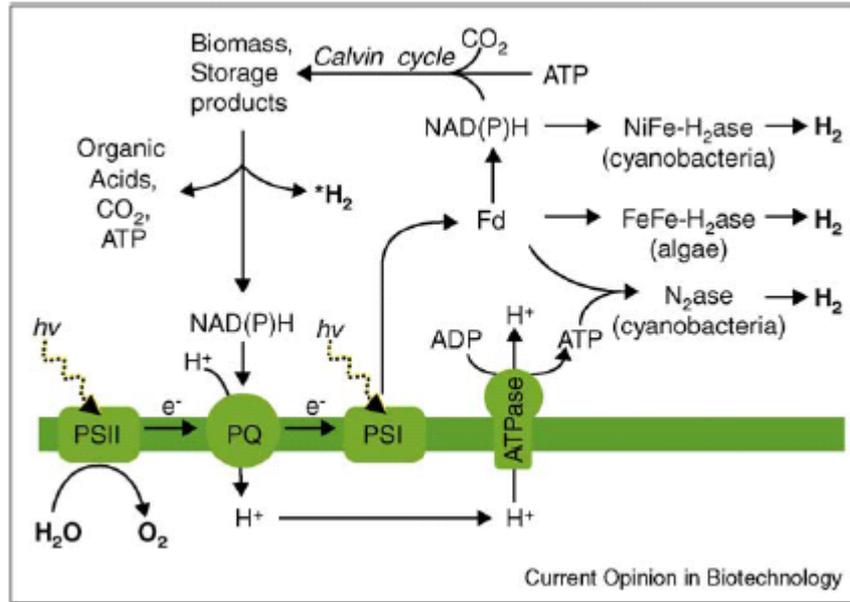


Figure 1 The pathway for isobutyraldehyde production. The Kdc-dependent synthetic pathway for isobutyraldehyde production. AlsS, acetolactate synthase; IlvC, aceto-hydroxy acid isomeroreductase; IlvD, dihydroxy-acid dehydratase; Kdc, 2-ketoacid decarboxylase.

Wasserstoff aus Microalgen

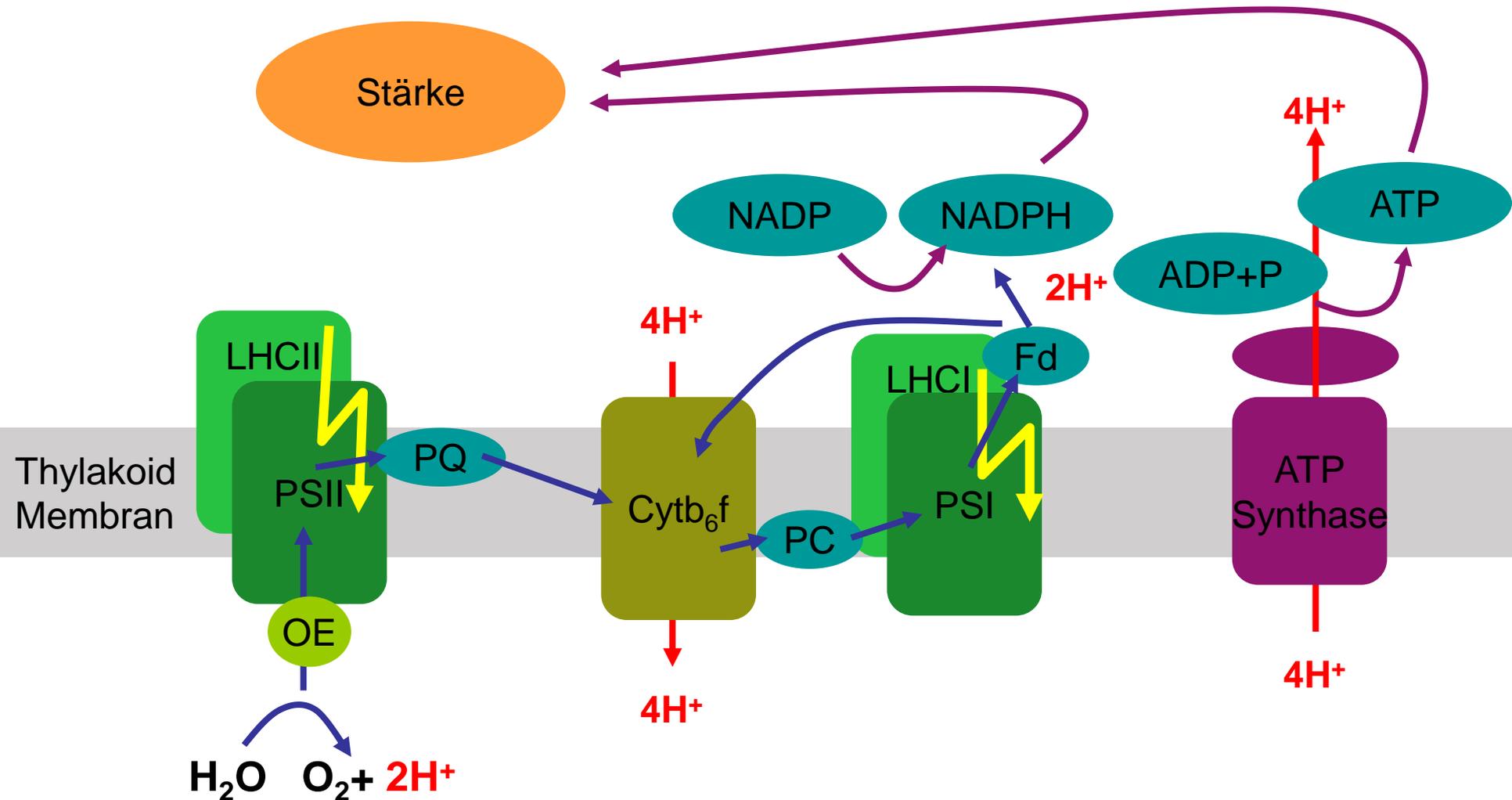
- Grünalgen (Modellorganismus *Chlamydomonas reinhardtii*) und Cyanobakterien können Wasserstoff produzieren
- Wasserstoff entspringt letztendlich dem Wasser
- Enzyme: Hydrogenasen (Grünalgen) oder Hydrogenasen und Nitrogenasen (bei Cyanobakterien)

Übersicht H₂ aus Microalgen



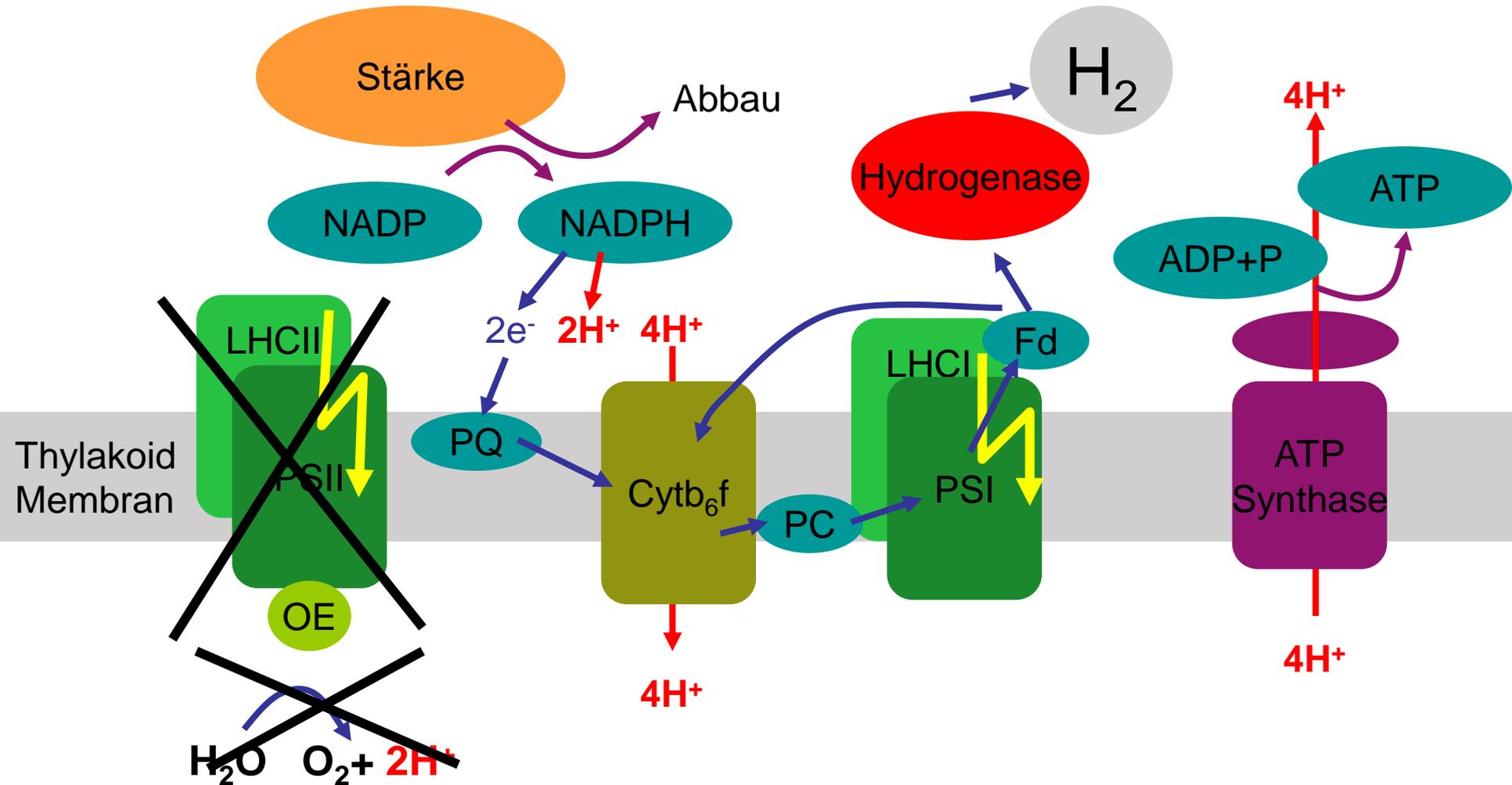
H₂ production by **cyanobacteria** and **algae**. **Water** (bold) is oxidized to O₂ by photosystem II (PSII) and electrons are transferred to photosystem I (PSI) via the plastoquinone pool (PQ). Photosystem I transfers electrons to ferredoxin (**Fd**) which can donate electrons to FeFe-hydrogenase (H₂ase) in algae or to nitrogenase (N₂ase) in some cyanobacteria. Fd electrons can also be transferred to NAD(P)⁺ by a Fd oxidoreductase. NAD(P)H can donate electrons to NiFe-hydrogenase in cyanobacteria. The above are all mechanisms of direct photolysis. NAD(P)H is also used to fix CO₂ to biosynthetic precursors and storage compounds via the Calvin cycle. Storage compounds are oxidized to lower O₂ concentrations through mitochondrial respiration, allowing H₂ production to proceed. *Storage compounds can also be fermented to provide electrons for H₂ production (indirect photolysis). In cyanobacteria, NAD(P)H from fermentation can donate electrons directly to NiFe-hydrogenase. In algae, NAD(P)H donates electrons to PSI to be energized for use by Fd-utilizing FeFe-hydrogenase.

Chlamydomonas Photosynthese I



PSI, PSII: Photosystem I, II; OE: oxygen evolving complex; PQ: Plastochinon; PC: Plastocyanin; Fd: Ferredoxin. **Blaue Pfeile: Elektronen-Fluss; rote Pfeile: Protonen**
Die Stöchiometrie ist nicht berücksichtigt. Bei der Synthese von Stärke werden im Calvin Cyclus ATP und NADPH verbraucht

Chlamy Photosynthese unter S-Mangel



Schwefel Mangel: PSII defekt, keine Wasserspaltung, O₂ geht zurück
 Unter anaeroben Bedingungen wird Hydrogenase aktiviert, Elektronen aus Abbau von Stärke für Wasserstoff Synthese. Nach Hankamer et al. 2007 *Physiol Plant*

Fazit H₂ bei *Chlamydomonas*

- Fe-Fe Hydrogenase arbeitet wenn PS II fehlt.
- In normalem Medium: Wachstum und Stärke Synthese.
- In schwefelarmem Medium: H₂ Produktion.



Chlamydomonas reinhardtii

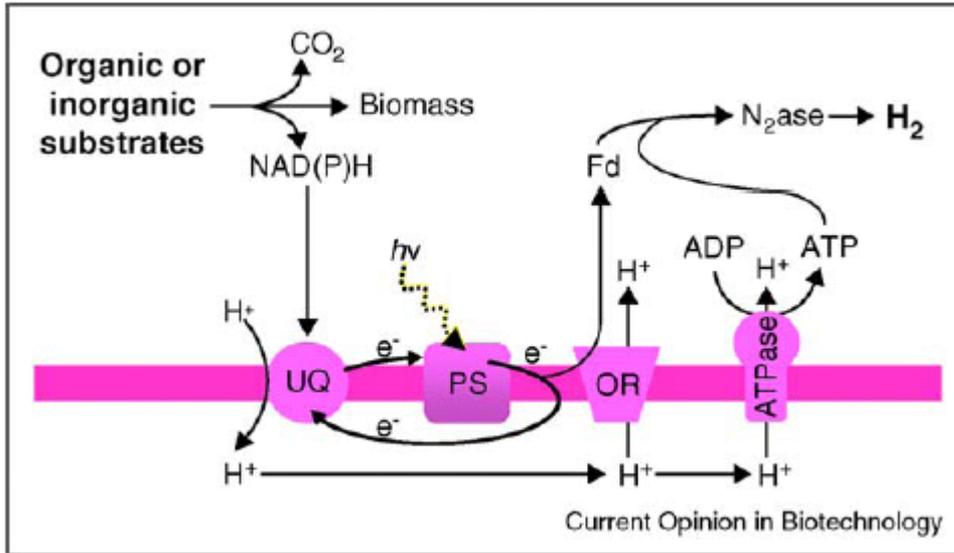
H₂ aus Cyanobakterien

- Durch Nitrogenase in Heterocysten
- *Uptake* NiFe Hydrogenase, verbraucht H₂
- Bidirektionale NiFe Hydrogenase kann unter Sauerstoff-Mangel H₂ produzieren (Cournac et al JB 2004)

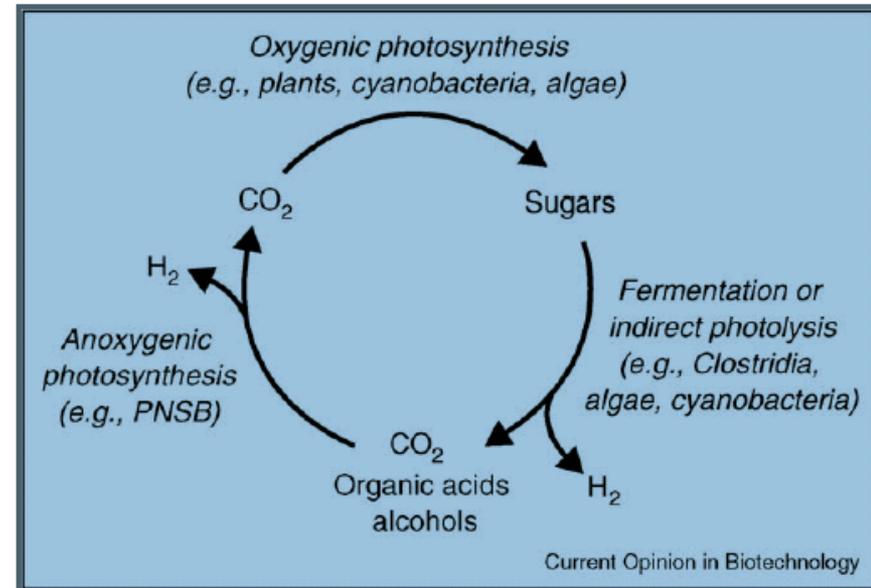


Anabaena PCC 7210 mit GFP in Heterocysten

H₂ aus Purpurbakterien

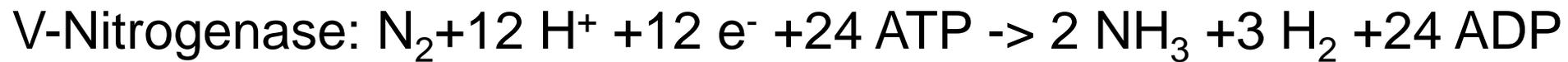
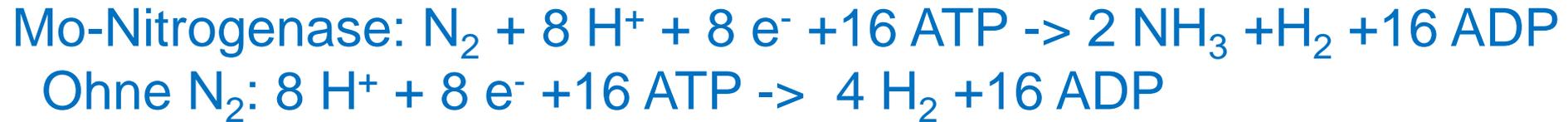


H₂ production by purple nonsulfur bacteria. Organic or inorganic compounds (bold) are oxidized to CO₂ and biomass (for inorganic substrates, CO₂ would be fixed into biomass). Electrons are transferred via ubiquinone (UQ) to the photosystem (PS) where they are energized by light. Electrons are repeatedly energized and cycled through the photosynthetic electron transport chain to produce a proton gradient. Energy from the proton gradient is used to transfer electrons from the photosynthetic electron transport chain to ferredoxin via oxidoreductases (OR). The proton gradient is also used to generate ATP. Ferredoxin and ATP are then used to generate H₂ via nitrogenase (N₂ase).



Carbon cycle of H₂-producing systems. CO₂ is fixed by oxygenic phototrophs for biosynthesis (e.g. sugars and biopolymers). Sugars can be fermented to H₂, CO₂, and organic acids by fermentative bacteria or by indirect photolysis. Organic acids are further oxidized to CO₂ and used for biosynthesis by anoxygenic purple nonsulfur bacteria. CO₂ generated during fermentation and anoxygenic photosynthesis is fixed by oxygenic phototrophs, completing the cycle.

Wasserstoff aus Purpurbakterien



Strom aus H₂: Brennstoffzelle

Aufbau [\[Bearbeiten\]](#)

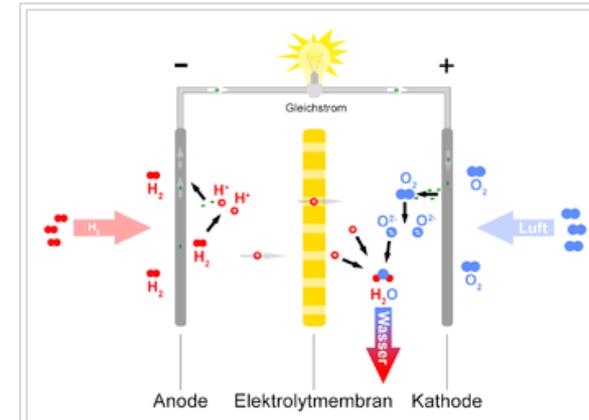
Eine Brennstoffzelle besteht aus **Elektroden**, die durch eine **Membran** oder **Elektrolyt** (Ionenleiter) voneinander getrennt sind.

Die Elektrodenplatten/Bipolarplatten bestehen meist aus **Metall** oder **Kohlenstoffnanoröhren**. Sie sind mit einem **Katalysator** beschichtet, zum Beispiel mit **Platin** oder mit **Palladium**. Als Elektrolyten können beispielsweise gelöste **Laugen** oder **Säuren**, Alkalicarbonatschmelzen, **Keramiken** oder **Membranen** dienen.

Die Energie liefert eine Reaktion von **Sauerstoff** mit dem Brennstoff, der **Wasserstoff** sein kann, jedoch ebenso aus organischen Verbindungen wie z.B. **Methan** und **Methanol** bestehen kann. Beide Reaktionspartner werden über die Elektroden kontinuierlich zugeführt. Die gelieferte Spannung liegt theoretisch bei 1,23 V für die Wasserstoff-Sauerstoff-Zelle bei einer Temperatur von 25 °C. In der Praxis werden jedoch nur Spannungen von 0,5–1 V (experimentell auch darüber) erreicht. Die Spannung ist vom Brennstoff, von der Qualität der Zelle und von der Temperatur abhängig. Um eine höhere Spannung zu erhalten, werden mehrere Zellen zu einem **Stack** (engl. für 'Stapel') in Reihe geschaltet. Unter Last bewirken die chemischen und elektrischen Prozesse ein Absinken der Spannung (nicht bei der Hochtemperatur-Schmelzkarbonatbrennstoffzelle, MCFC).

Bei der **Niedertemperatur-Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle** (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*, PEMFC; oder *Polymer Electrolyte Fuel Cell*, PEFC) ist der Aufbau wie folgt:

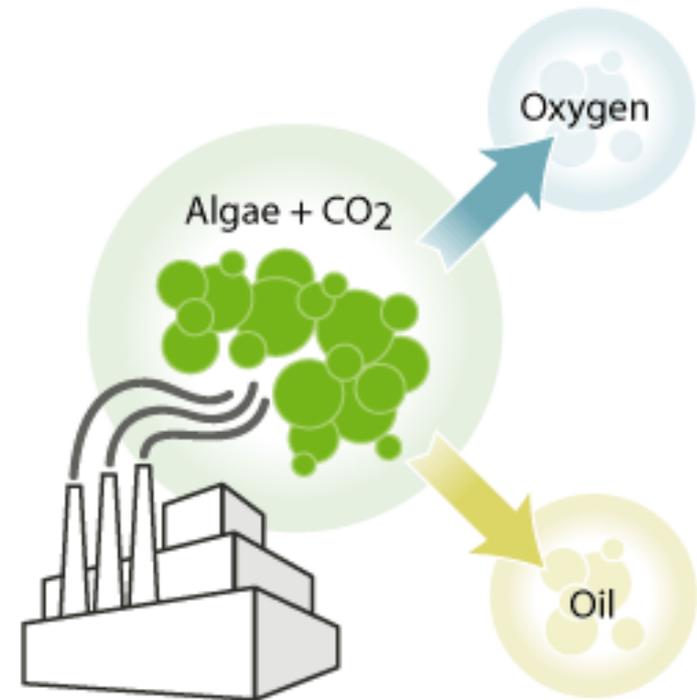
1. Bipolarplatte als Elektrode mit eingefräster Gaskanalstruktur, beispielsweise aus leitfähigen Kunststoffen (durch Zugabe zum Beispiel von Carbon-Nanoröhren elektrisch leitend gemacht);
2. poröse Carbon-Papiere;
3. Reaktivschicht, meist auf die Ionormembran aufgebracht. Hier stehen die vier Phasen Katalysator (Pt), Elektronenleiter (Ruß oder Carbon-Nanomaterialien), Protonenleiter (Ionomer) und Porosität miteinander in Kontakt;
4. protonenleitende Ionormembran: gasdicht und nicht elektronenleitend.



Schematische Darstellung der Funktion einer PEMFC / DMFC / (PAFC) Brennstoffzelle

Filterieren von CO₂ aus Kohle- oder Erdgaskraftwerken

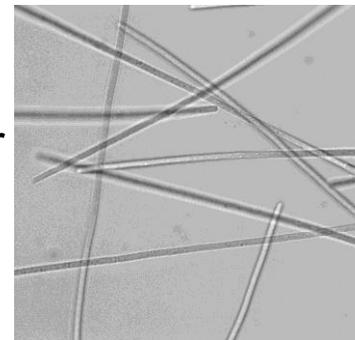
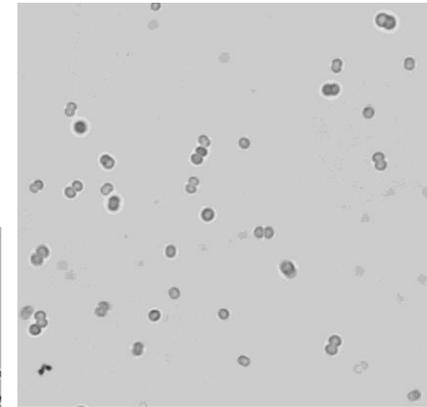
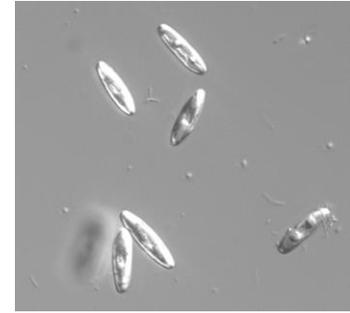
- Reduktion der CO₂ Emission durch Microalgen Photosynthese
- „Düngung“ der Microalgen; besseres Wachstum



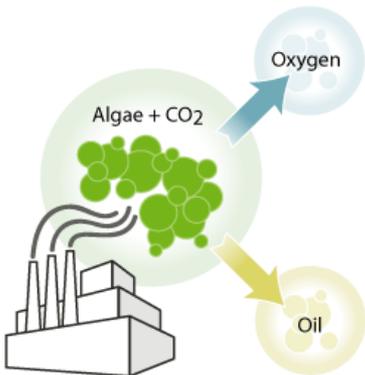
Kohlekraftwerke in der BRD

Um CO₂ in durch Microalgen zu fixieren:

- Verbrauch von 241 Mio t Kohle (2006)
- Annahmen: Kohle enthält 75% C, in der Alge wird daraus C(H₂O); 1 g Trockensubstanz Microalgen pro Tag und Liter, 360 g pro Jahr und Liter, Schichtdicke 5 cm
- Microalgen Fläche 25 000 km² (7% der Fläche der BRD)

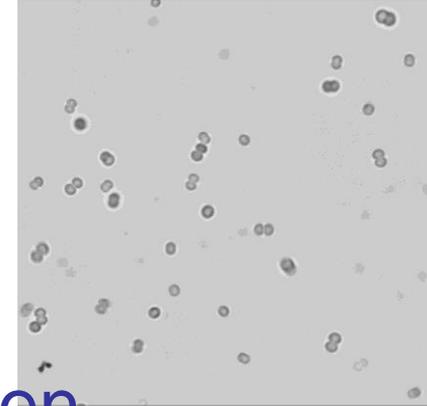
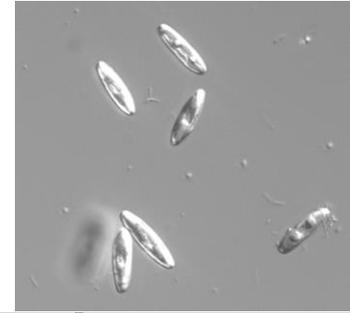


(Daten von Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Sierra et al 2008, Subitec)



Microalgen

- Einige Beispiele für den Einsatz von Microalgen
- Möglichkeiten zur Energie-Nutzung
- Bio-Reaktoren
 - Offene Systeme (*Raceway Pond*)
 - Geschlossene Systeme (Röhren-Reaktoren, Flachbett-Reaktoren, Folien-Reaktoren)
- Firmen in USA und Deutschland



Raceway Pond (fließender Teich)

- Offenes System
- Schwerpunkt des Aquatic Species Program (1978-1998 DOE, USA)

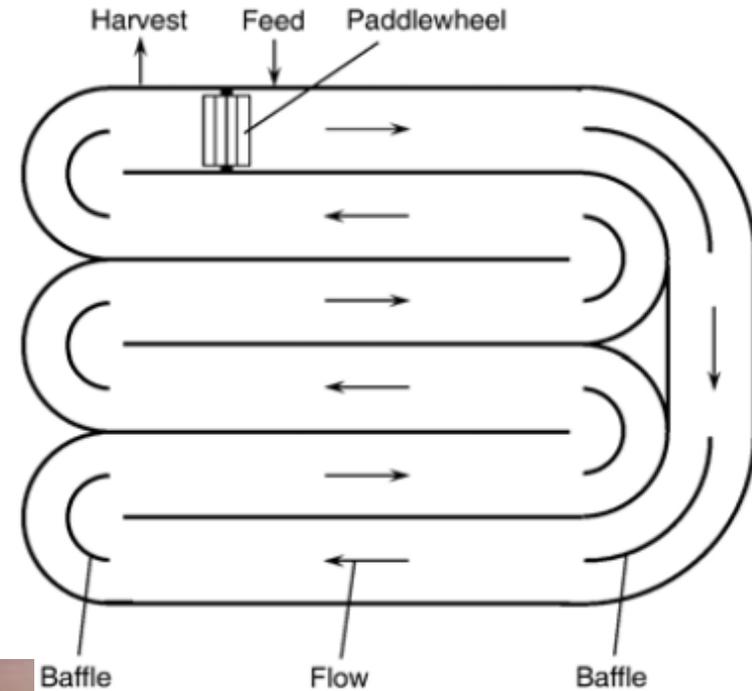


Fig. 1. Aerial view of a raceway pond.

Spirulina bei Earthrise

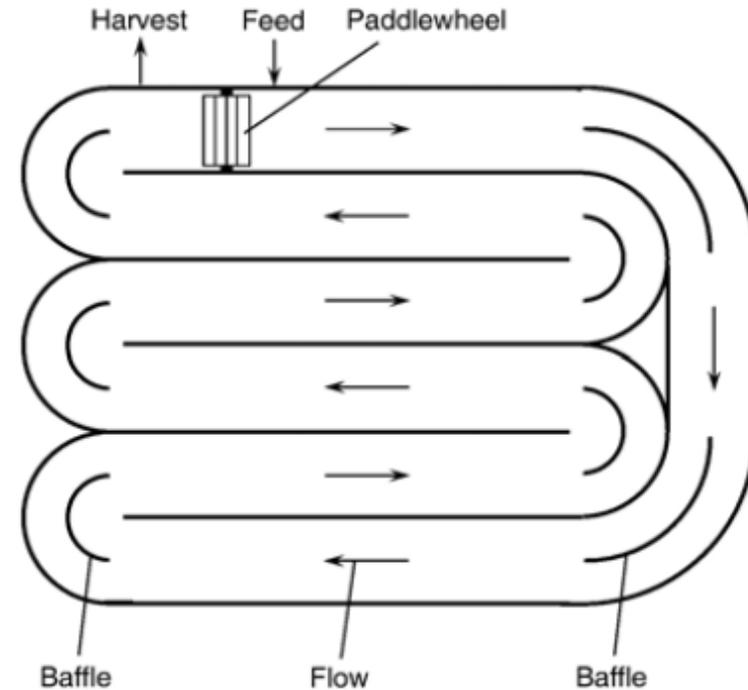
Raceway Pond

Vorteile

- geringe Investitionskosten
- Erfahrung in der Praxis

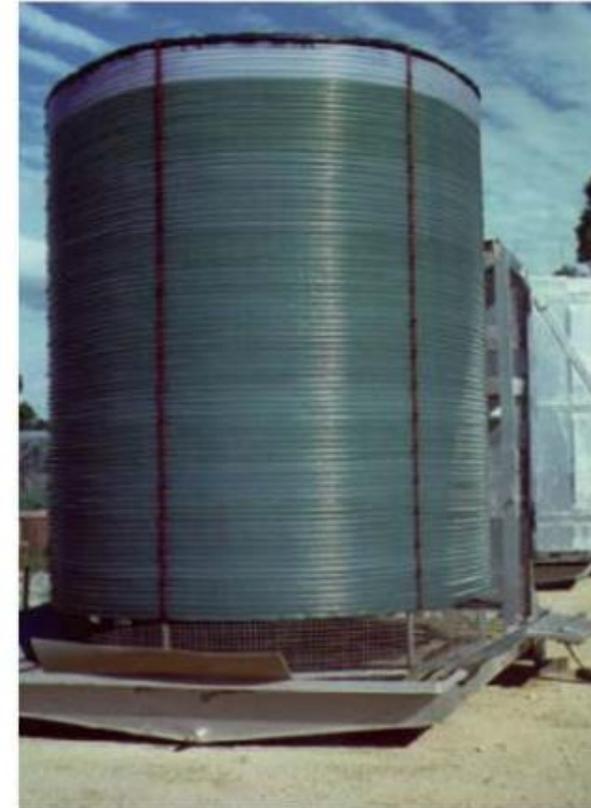
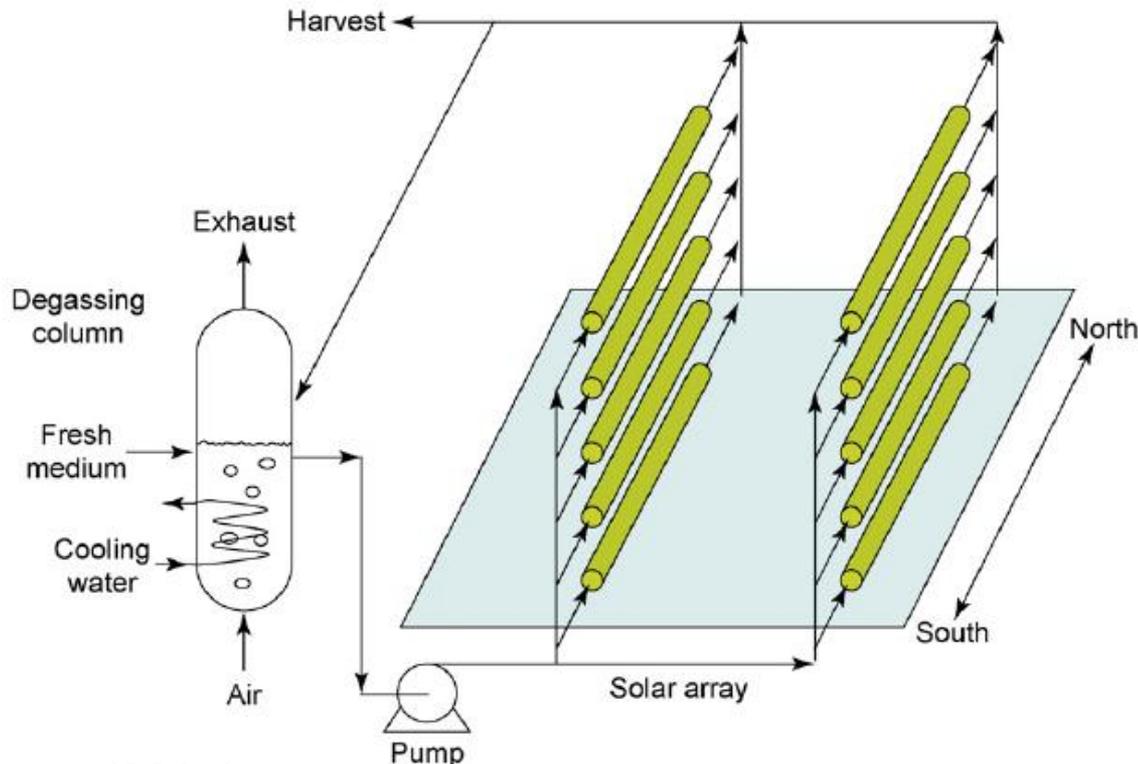
Nachteile

- Niedrige Zelldichte
- Kontamination



Röhren-Bioreaktor

- Geschlossenes System
- Relativ hoher Energieaufwand für Umwälzung



M. Borowitzka, Murdoch University Australia,

Folien-Reaktoren

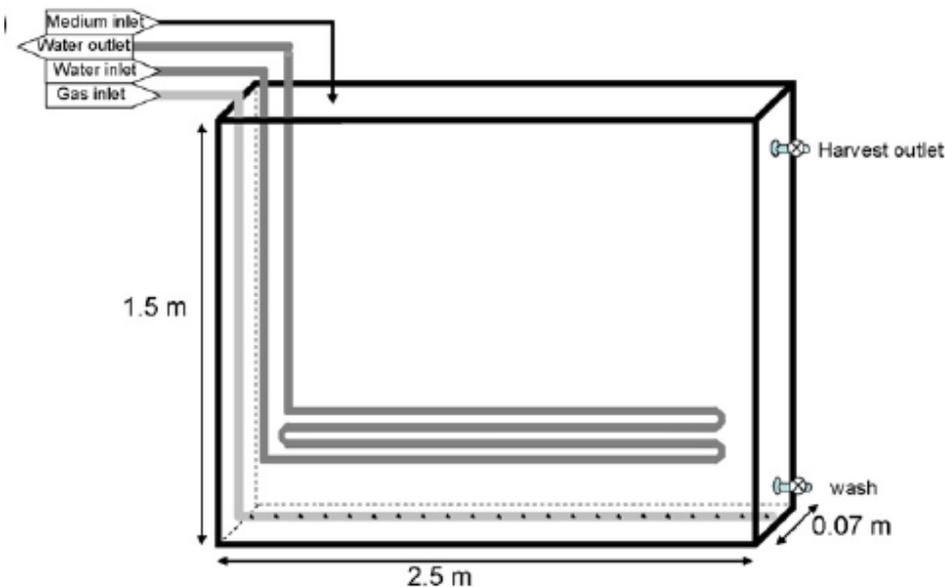
- Geschlossenes System
- Günstige Herstellungskosten



Firma Novagreen, Vechta-Langförden

Flachbett-(flat panel) Bioreaktor

- Geschlossenes System
- Relativ geringer Energieaufwand für Umwälzung



Sierra et al. 2008



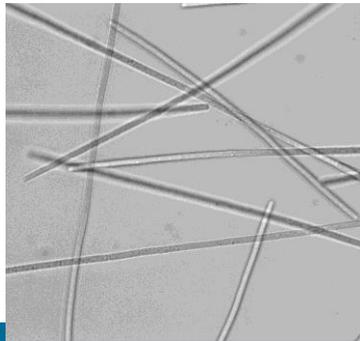
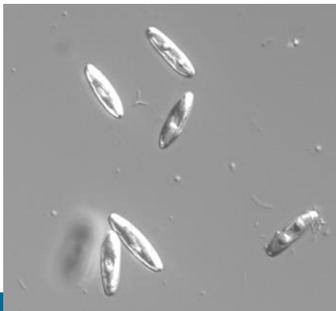
Firma Subitec, Stuttgart

Bioreaktoren, Vergleich der Systeme

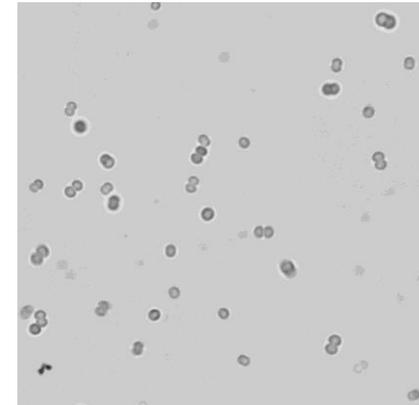
	Energieverbrauch W/m ³	Algenproduktion g Trockensubstanz pro Tag pro m ³	(g TS)/kJ	kJ/(g TS)
Raceway pond	10	100	0.12	8.64
Röhren-Reaktor	2000	1000	0.01	172.8
Flachbett-Reaktor	50	1000	0.23	4.32

Physiologischer Brennwert von Fett: 39 kJ / g

Physiologischer Brennwert von Kohlehydraten: 17,2 kJ / g



(Daten von Sierra et al 2008,
Subitec, DOE ASP report 1998,
Andersen - Algae Culturing
Techniques 2005)



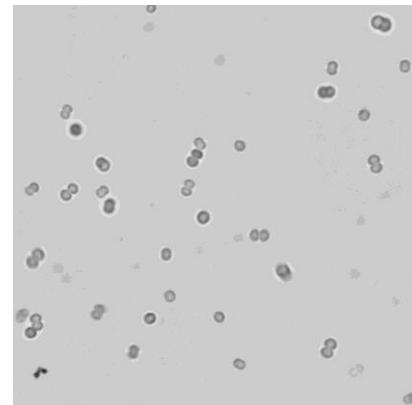
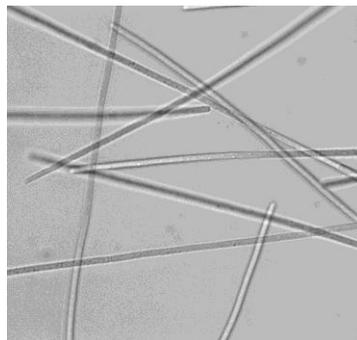
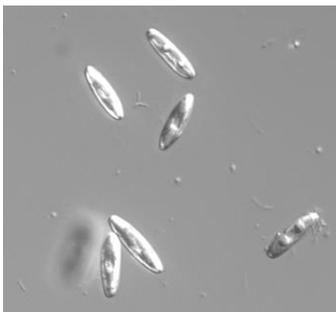
Screening nach Microalgen



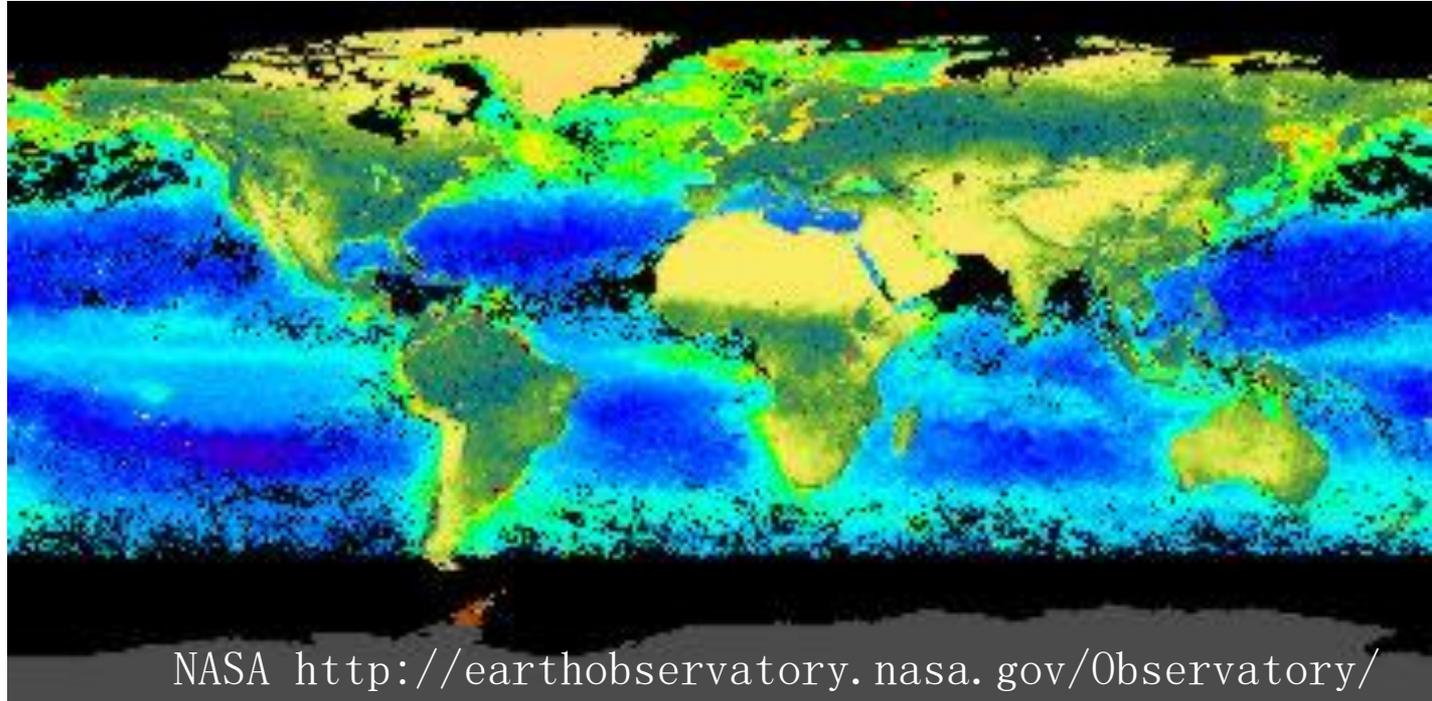
Proben aus Helgoland
(Nordsee) und
Giglio (Mittelmeer)

Microalgen

- Einige Beispiele für den Einsatz von Microalgen
- Möglichkeiten zur Energie-Nutzung
- Bio-Reaktoren
- Firmen in USA und Deutschland



Chlorophyll auf der Erde



- Photosynthese an Land: Samenpflanzen
- Photosynthese im Meer: Microalgen
vor allem Cyanobakterien, Diatomeen,
Dinoflagellaten

Beispiel für Cyanobakterien



Spirulina, filamentöses
Cyanobacterium

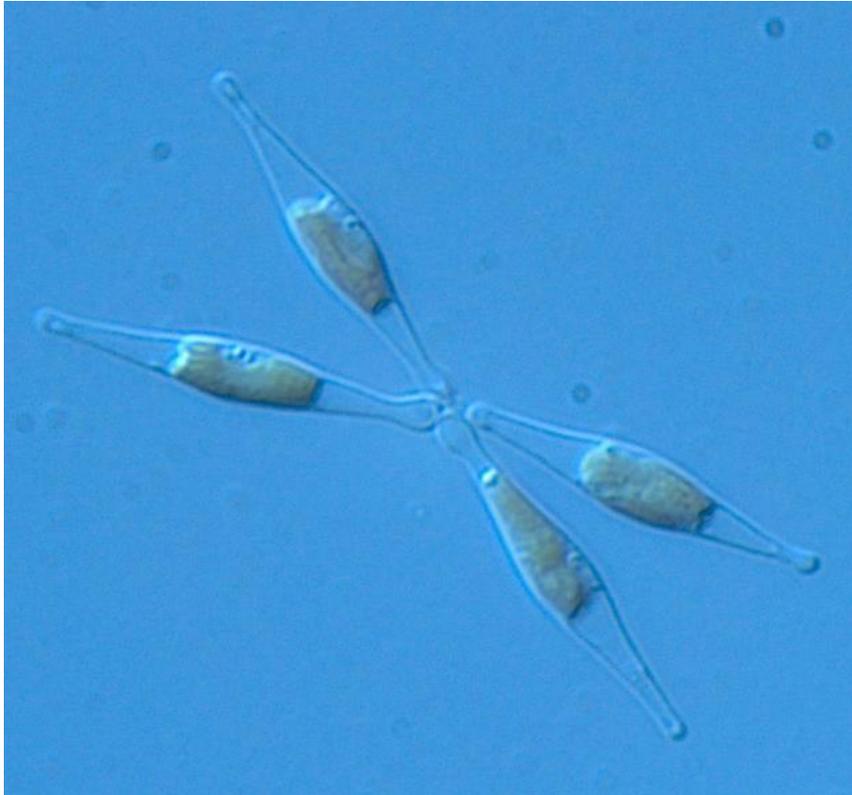


Verwendung als Nahrungs-
Ergänzungsmittel, in
Kosmetik, Fischfutter

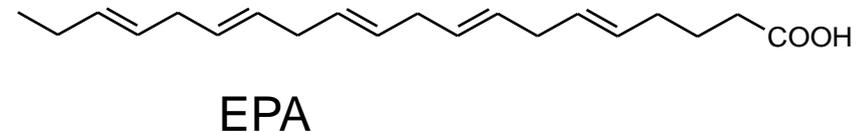


Spirulina Farm in Kalifornien,
Firma Earthrise

Beispiel für Diatomeen

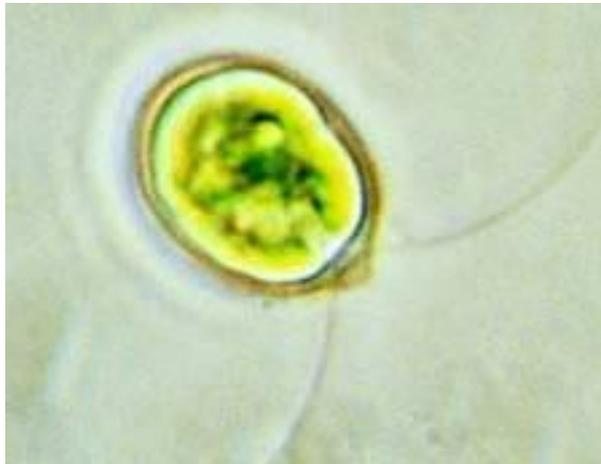


*Phaeodactylum
tricornutum* für die
Produktion von
Eicopentaensäure EPA
(für Aquaorganismen)



Grünalgen

- Enthalten Chlorophyll a und b (wie Samenpflanzen)
- Zellwand mit Cellulose
- Einzellige Arten und komplex aufgebaute Arten
- Viele Grünalgen werden biotechnisch eingesetzt



Chlamydomonas

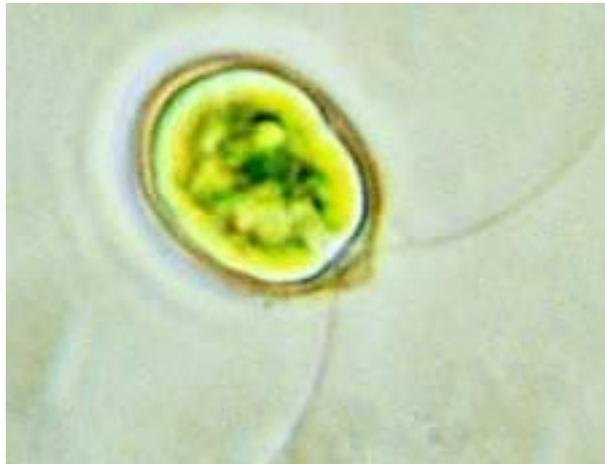


Ulva

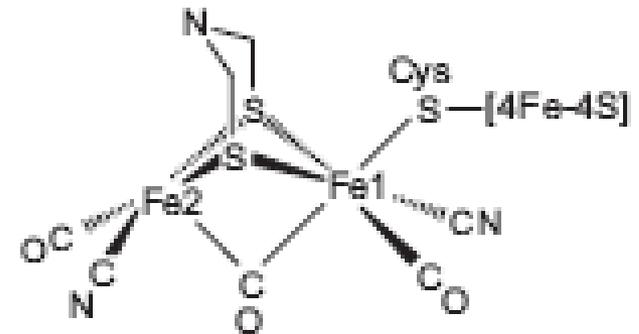
Grünalgen

Chlamydomonas reinhardtii

- Für die Synthese von Wasserstoff
- Einzige Grünalge mit sequenziertem Genom

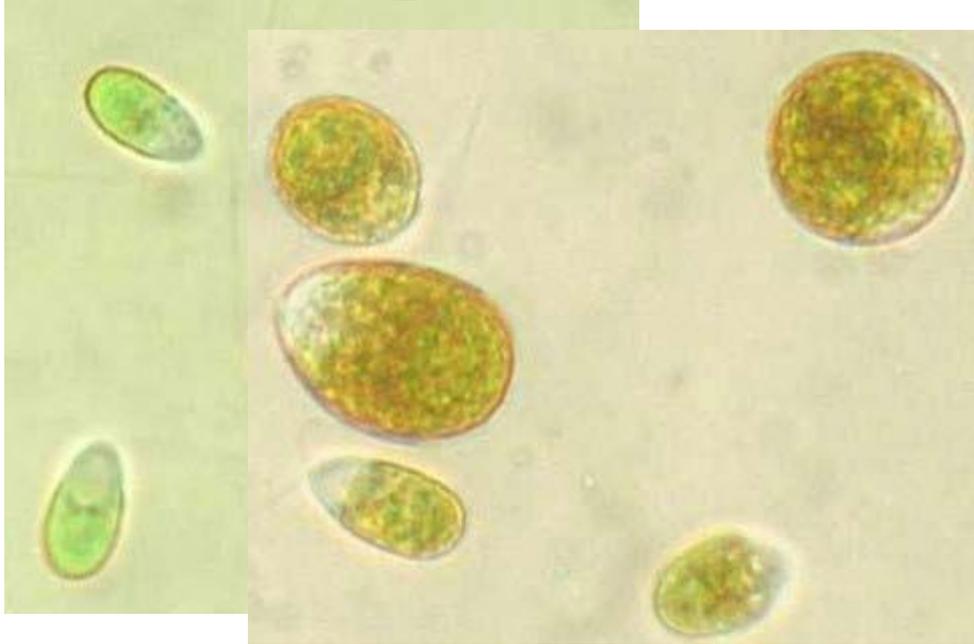


Chlamydomonas reinhardtii



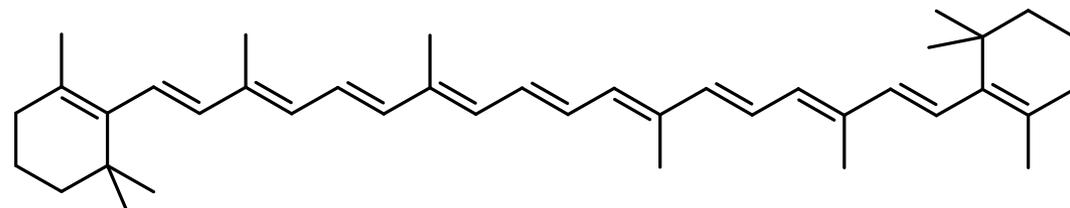
Aktives Zentrum der FeFe
Hydrogenase (Ghirardi et al.
Annual Reviews Plant Biol 2007)

Grünalgen



© M. Dyal-Smith, see http://www.microbiol.unimelb.edu.au/staff/mds/lab_pics

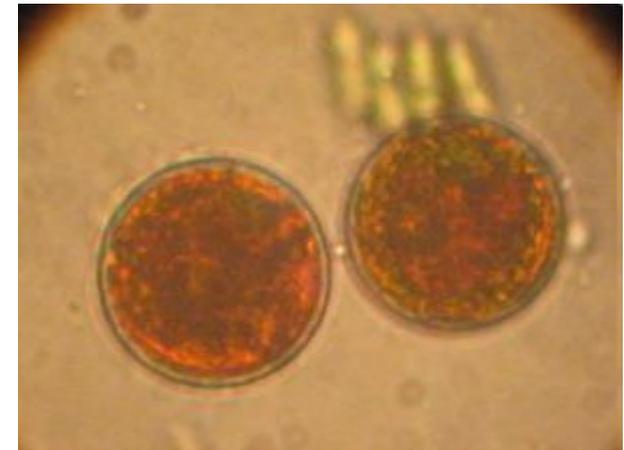
- *Dunaliella salina*
- wächst in hohen Salzkonzentrationen
- produziert Glycerin und β -Carotin



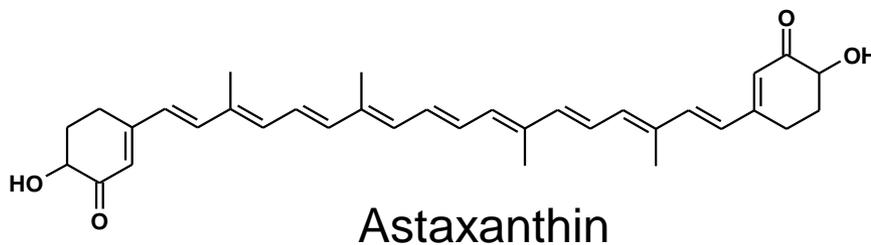
β -Carotin

Grünalgen

- *Haematococcus pluvialis* produziert Astaxanthin
- Rote Farbe bei Krebsen
- Intensivierung Pigmente bei Fischen

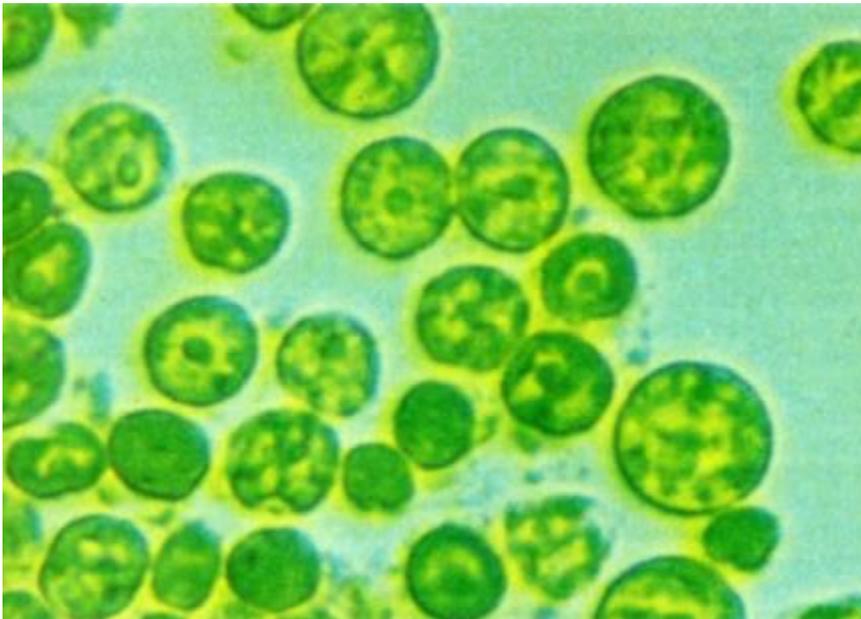


Haematococcus pluvialis



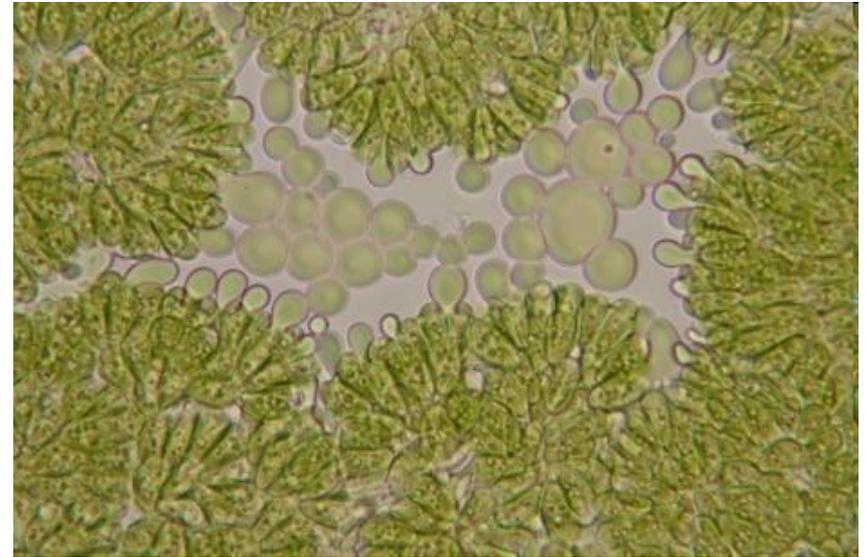
Grünalgen

- *Chlorella* wird in großen Mengen in z.B. Japan produziert
- Nahrungsmittel-Zusatz



Grünalgen

Botryococcus braunii
25-75% Öl, für
Produktion von
Biodiesel



Botryococcus braunii



Microalgen

- Einige Beispiele für den Einsatz von Microalgen
- Möglichkeiten zur Energie-Nutzung
- Bio-Reaktoren
- Firmen in USA und Deutschland
 - Greenfuel
 - Solix
 - Cyano Fuels
 - Subitec
 - Novagreen

Cyano Biofuels, Berlin

Cyanobakterien für Ethanol Produktion



CYANO BIOFUELS
 There is plenty of it
 $\text{Sun} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cyanobacteria}$
 Our playground
 $\rightarrow \text{EtOH} + \text{Biomass} + \text{O}_2$

HOME | **RESEARCH & DEVELOPMENT** | INVESTOR RELATIONS | CAREERS

SCREENING / CULTIVATION / PHYSIOLOGY
 Over 20 years of experience in handling cyanobacteria

METABOLIC ENGINEERING
 Outstanding abilities to ENHANCE cyanobacteria

ANALYTICS
 In-House cutting edge technology

ACADEMIC ADVISORY BOARD
 Prof. Dr. Thomas Börner, Humboldt-Universität zu Berlin
 Prof. Dr. Wolfgang Lockau, Humboldt-Universität zu Berlin
 Prof. Dr. Annegret Wilde, Universität Gießen

CONTACT | © 2007-2009 Cyano Biofuels GmbH

<http://www.cyano-biofuels.com/>

Novagreen, Verda-Langförden

- Folien-Reaktoren für verschiedene Anwendungen
- Geplant: Herstellung von rekombinanten Proteinen (Antikörper) in Microalgen

<http://www.novagreen-microalgae.com/>

