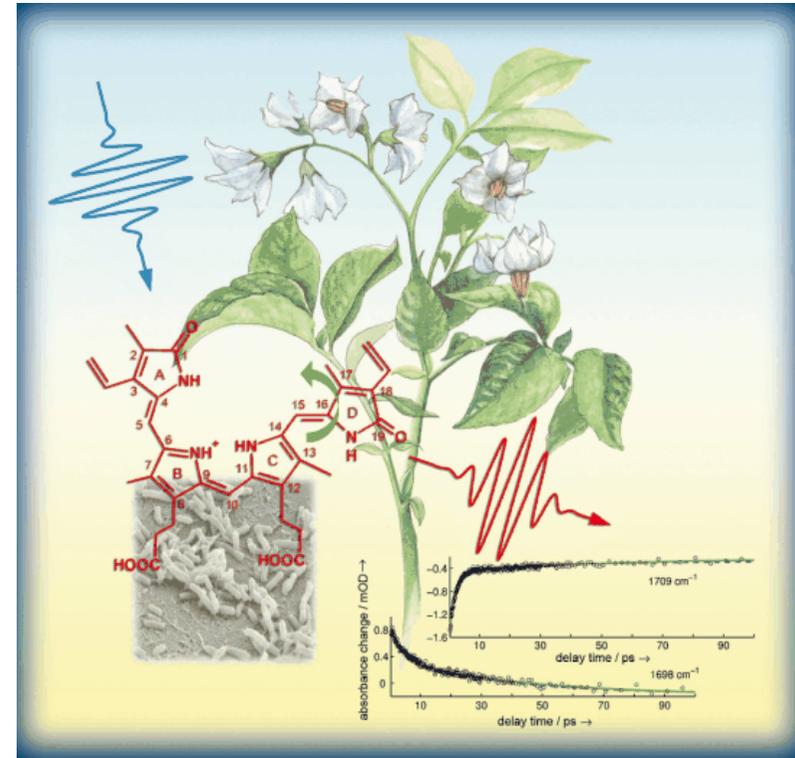




Der Photorezeptor Phytochrom

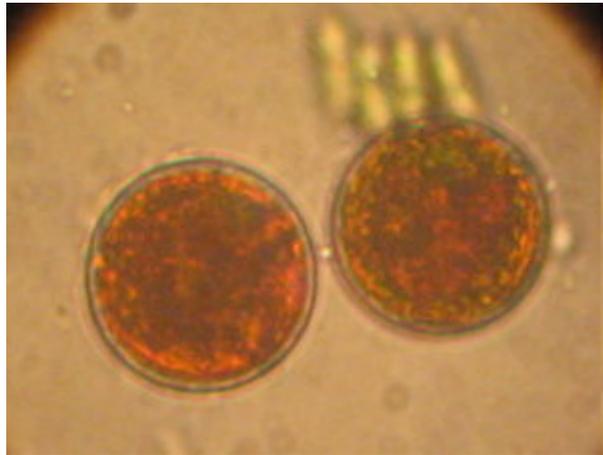
- Steuert zahlreiche Effekte bei Pflanzen, z.B. Ergrünung
- Biophysikalische Studien zur Aktivierung



Chemphyschem. 2007; **8**: 1657-6



Microalgen-Photosynthese für Biomasse Produktion





Biokraftstoffe aus Landpflanzen



Raps



Mais



Jatropha

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



Vergleich Landpflanze / Microalge

- Landpflanzen: Blätter sind photosynthetisch aktiv, andere Organe (Wurzel, Blüte, Stamm) nicht
- Microalgen: einzelne Zellen, alle sind photosynthetisch aktiv



Bio-Kraftstoffe aus Landpflanzen und Algen

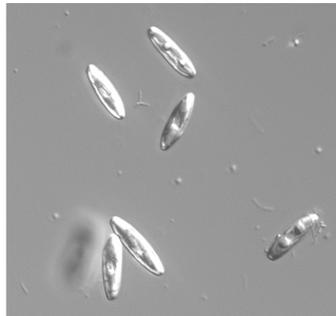
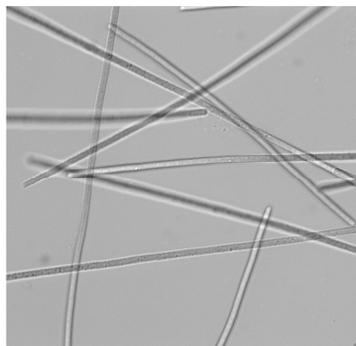
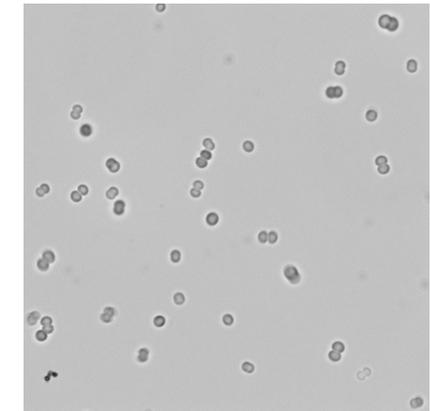


Table 1
Comparison of some sources of biodiesel

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.

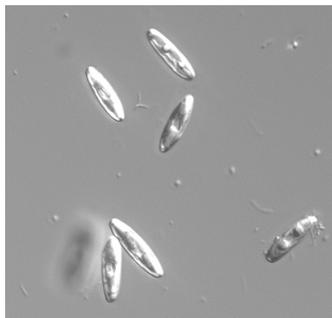
Chisti Y (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* **25**: 294–306



Microalgen vs. Landpflanzen

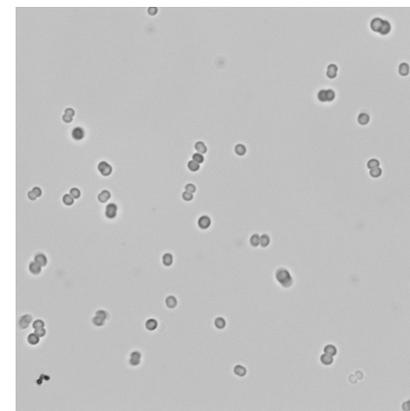
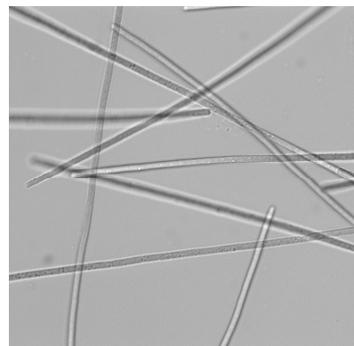
Vorteile:

- Effektive Photosynthese
- Meerwasser möglich
- Ungenutzte Flächen (Wüste)



Nachteile:

- Hohe Investitionskosten (Bioreaktor)
- Nährstoff-Zufuhr
- Wenig Forschung





Screening nach Microalgen

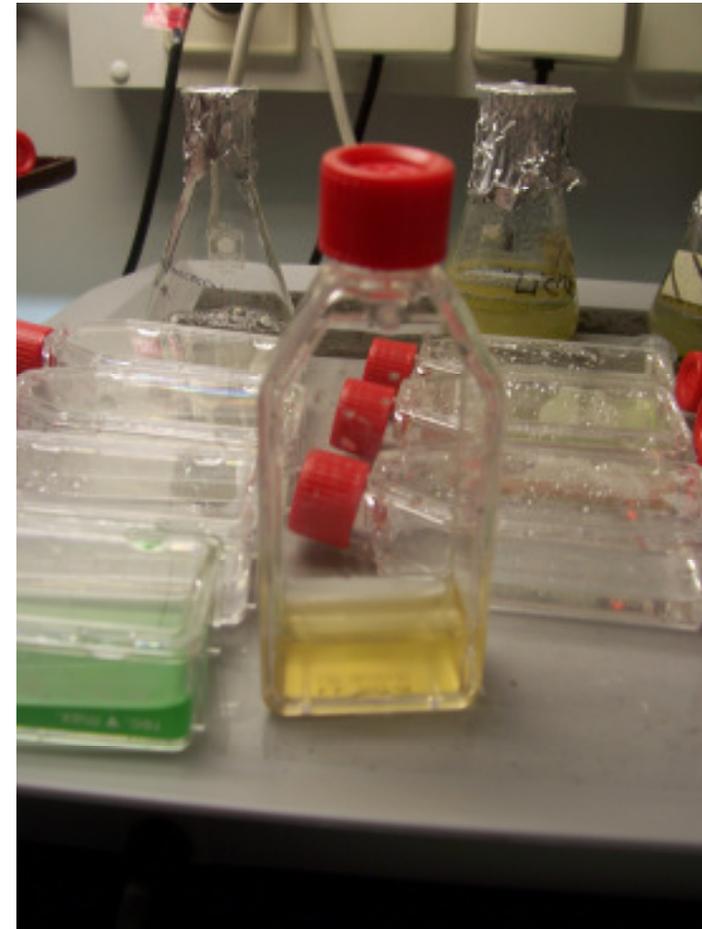
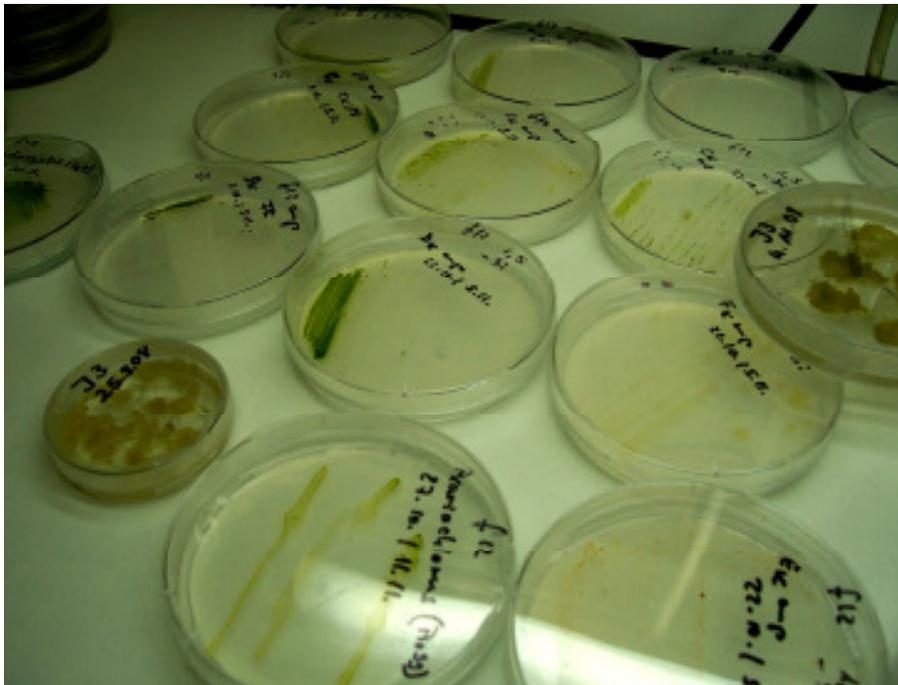


Proben aus Helgoland
(Nordsee) und
Giglio (Mittelmeer)



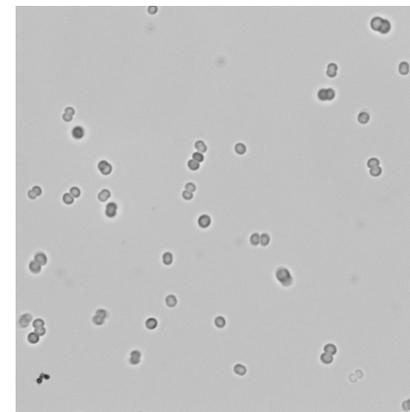
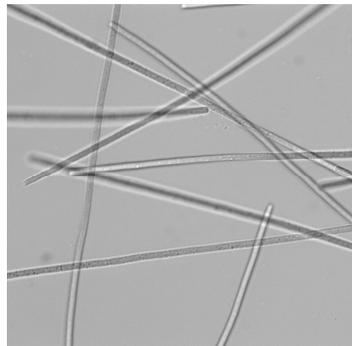
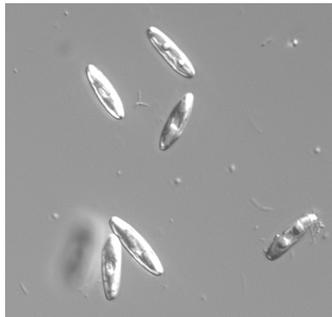
Screening nach Microalgen

Vom Freiland ins Labor



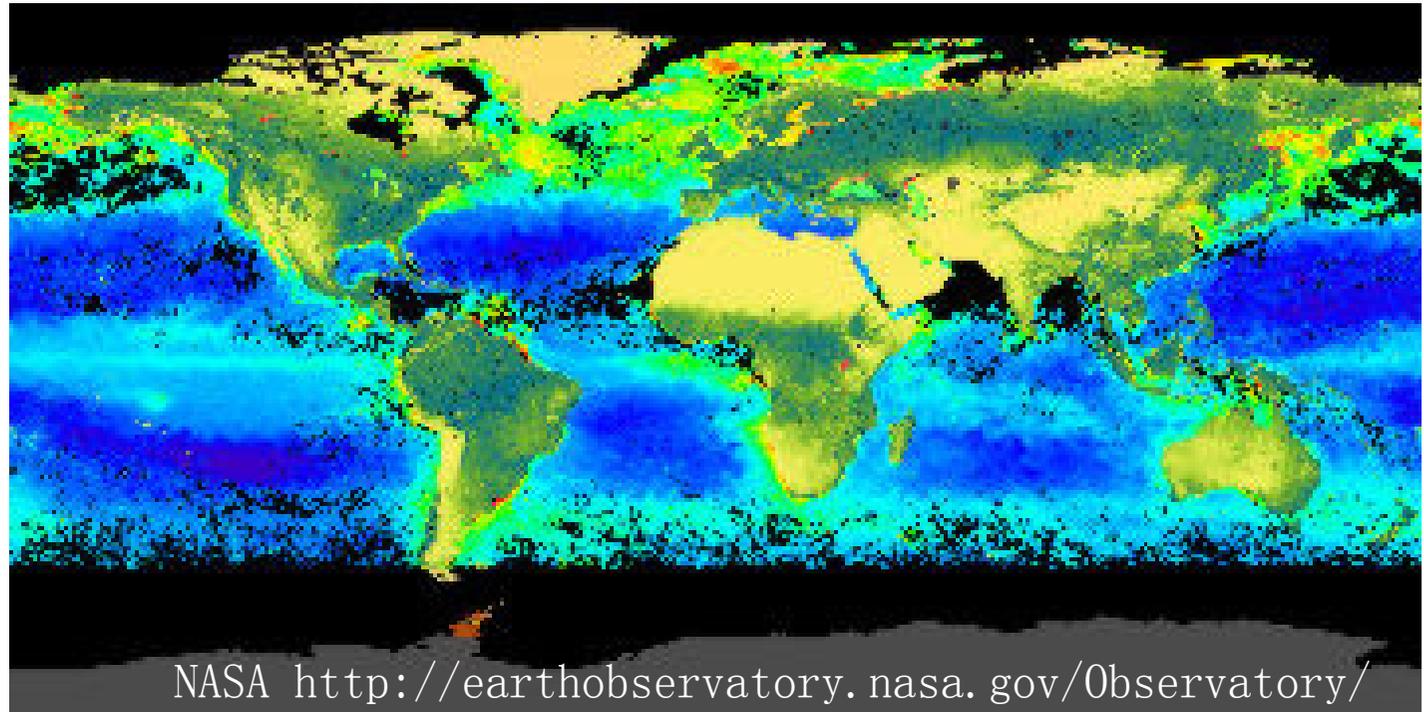
Microalgen

- **Biologie:** was sind Microalgen, woher kommen sie, welche Gruppen gibt es ?
- Möglichkeiten zur Energie-Nutzung
- Bio-Reaktoren
- Firmen in USA und Deutschland





Chlorophyll auf der Erde



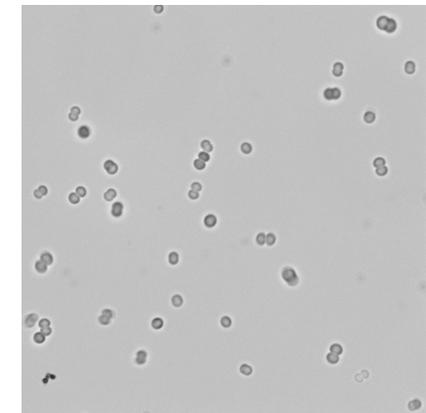
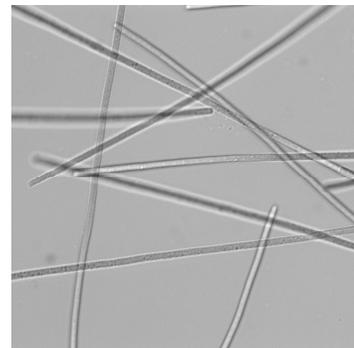
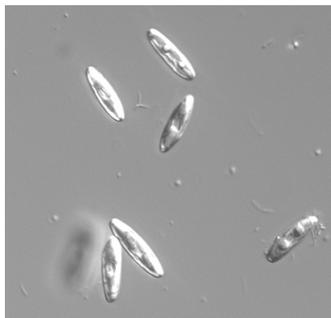
- Photosynthese an Land: Samenpflanzen
- Photosynthese im Meer: Microalgen
 - vor allem Cyanobakterien, Diatomeen, Dinoflagellaten



Primärproduktion durch Photosynthese

	Ozeane	Land
Fläche	361 Mio km ²	149 Mio km ²
Primärprod. pro Jahr	49 Mrd Tonnen Kohlenstoff	56 Mrd Tonnen Kohlenstoff

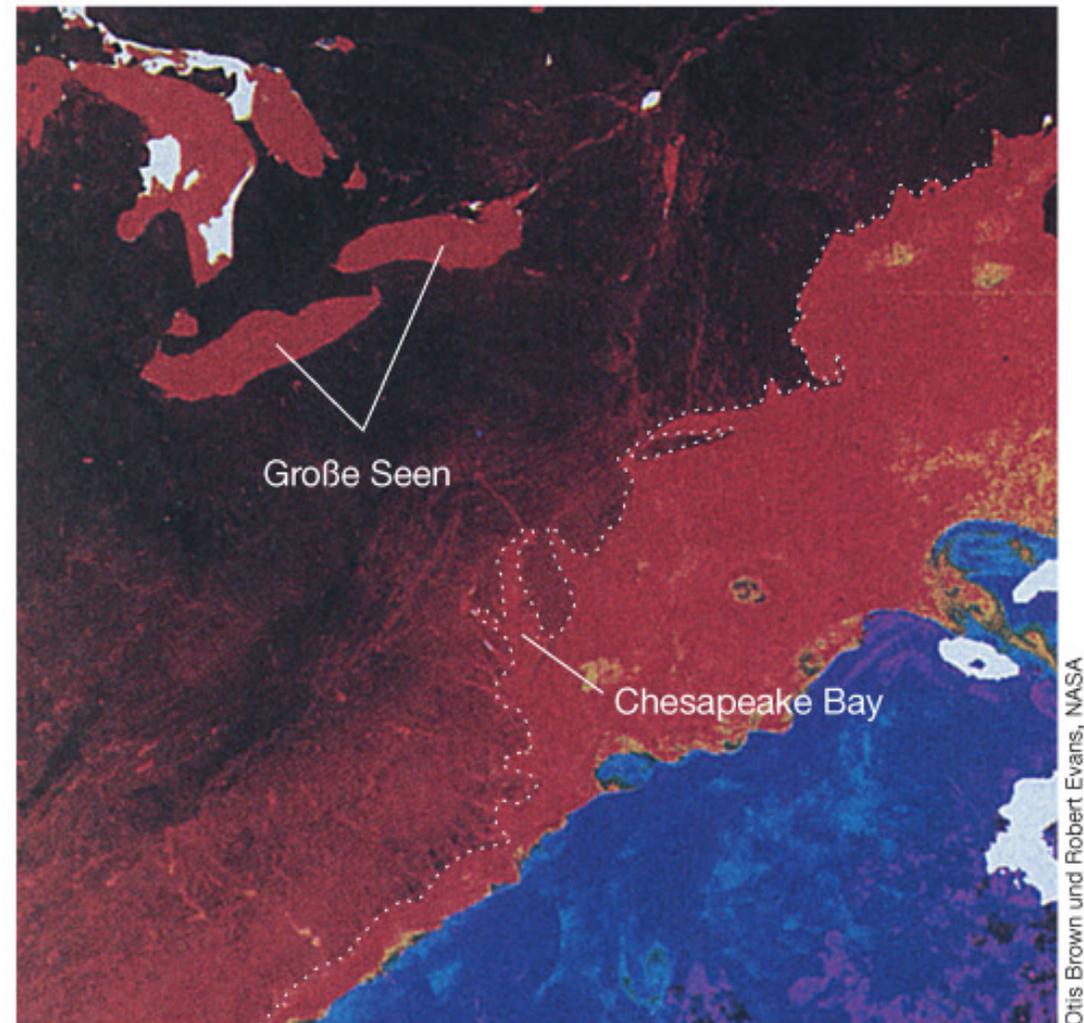
Gesamt: 105 Mrd Tonnen Kohlenstoff, ca. 10% des atmosphärischen CO₂



Science 1998: 281, 237 - 240

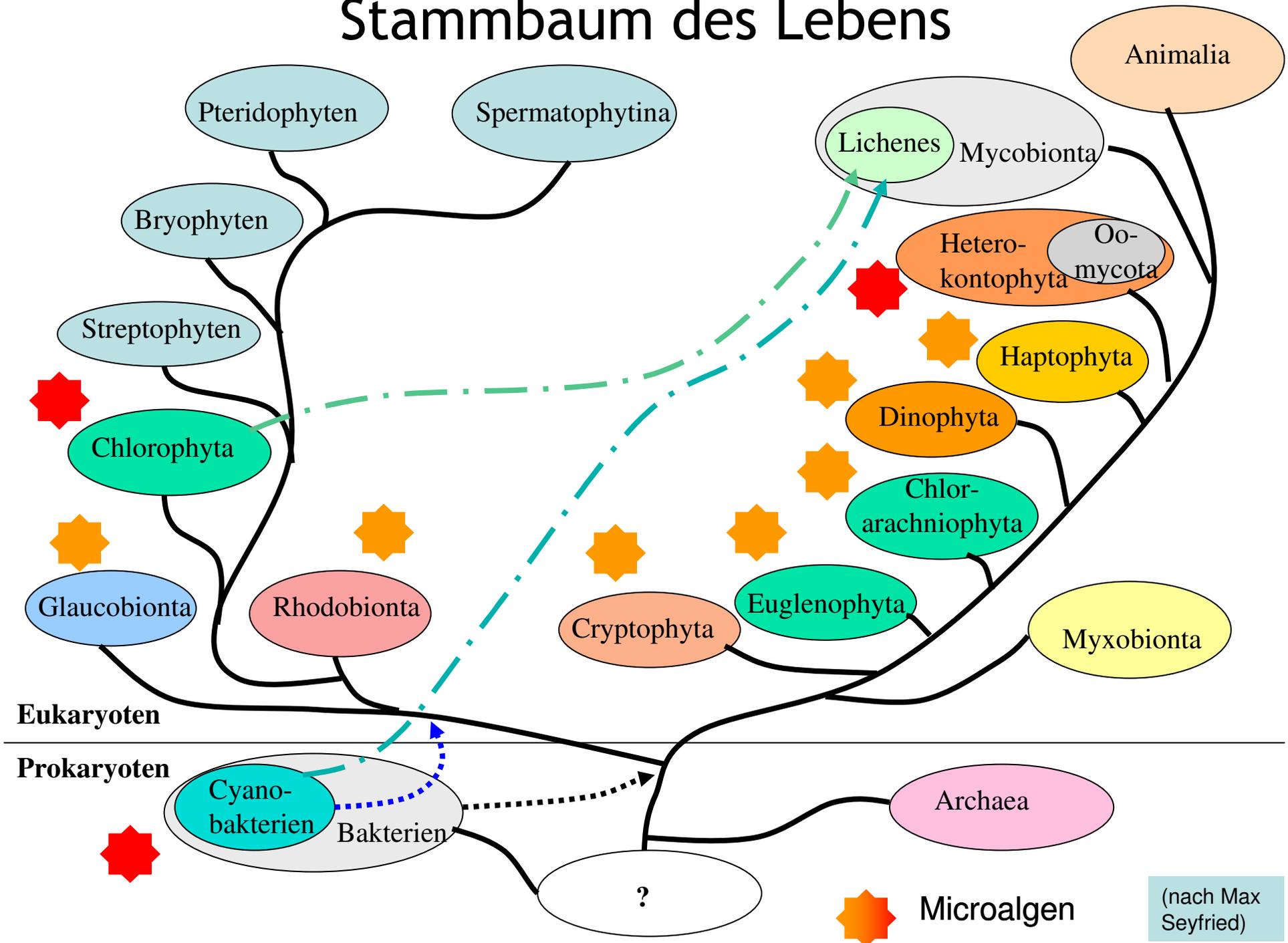
Chlorophyll an der Küste

- Hohe Photosyntheserate in den Küstengewässern
- Geringe Raten im offenen Meer wegen Nährstoff-Mangel



Chlorophyll im westlichen Nordatlantik. Ostküste der Vereinigten Staaten von Amerika von Maine im Norden bis Mittelflorida im Süden. Die Küstenlinie ist als gepunktete Linie eingezeichnet. Rot: $> 1 \text{ mg Chlorophyll/m}^3 \text{ Wasser}$, blauen und $< 0,01 \text{ mg/m}^3 \text{ Wasser}$. Aus: Brock, Mikrobiologie

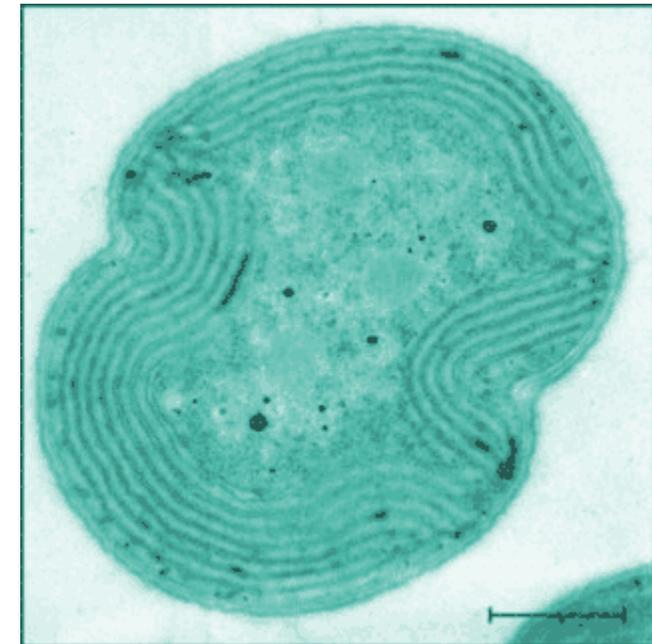
Stammbaum des Lebens





Cyanobakterien oder Blaualgen

- Prokaryonten
- Vor ca. 3 Mrd. Jahren entstanden
- Oxygene Photosynthese
- besitzen Chlorophyll a (manche b)
- Andere Bakterien können nur anoxygene Photosynthese
- Ca. 40% der Primärproduktion der Meere



Synechocystis

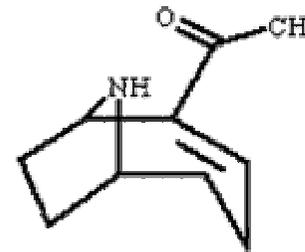


Massenvermehrung von Cyanobakterien

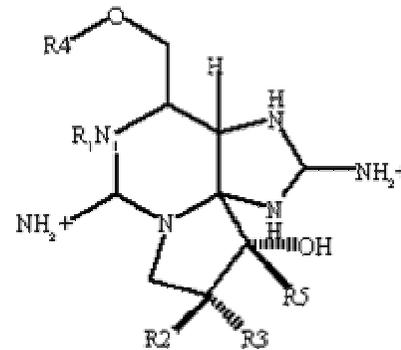
Können Toxine produzieren:

- Anatoxin und Saxitoxin (neurotoxische Alkaloide)
- Microcystin, Leber-Toxin

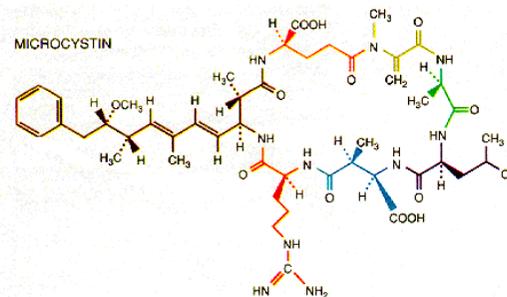
Cyanobakterien



ANATOXIN-A



SAXITOXIN - GENERAL STRUCTURE





Cyanobakterien



Spirulina, filamentöses
Cyanobacterium



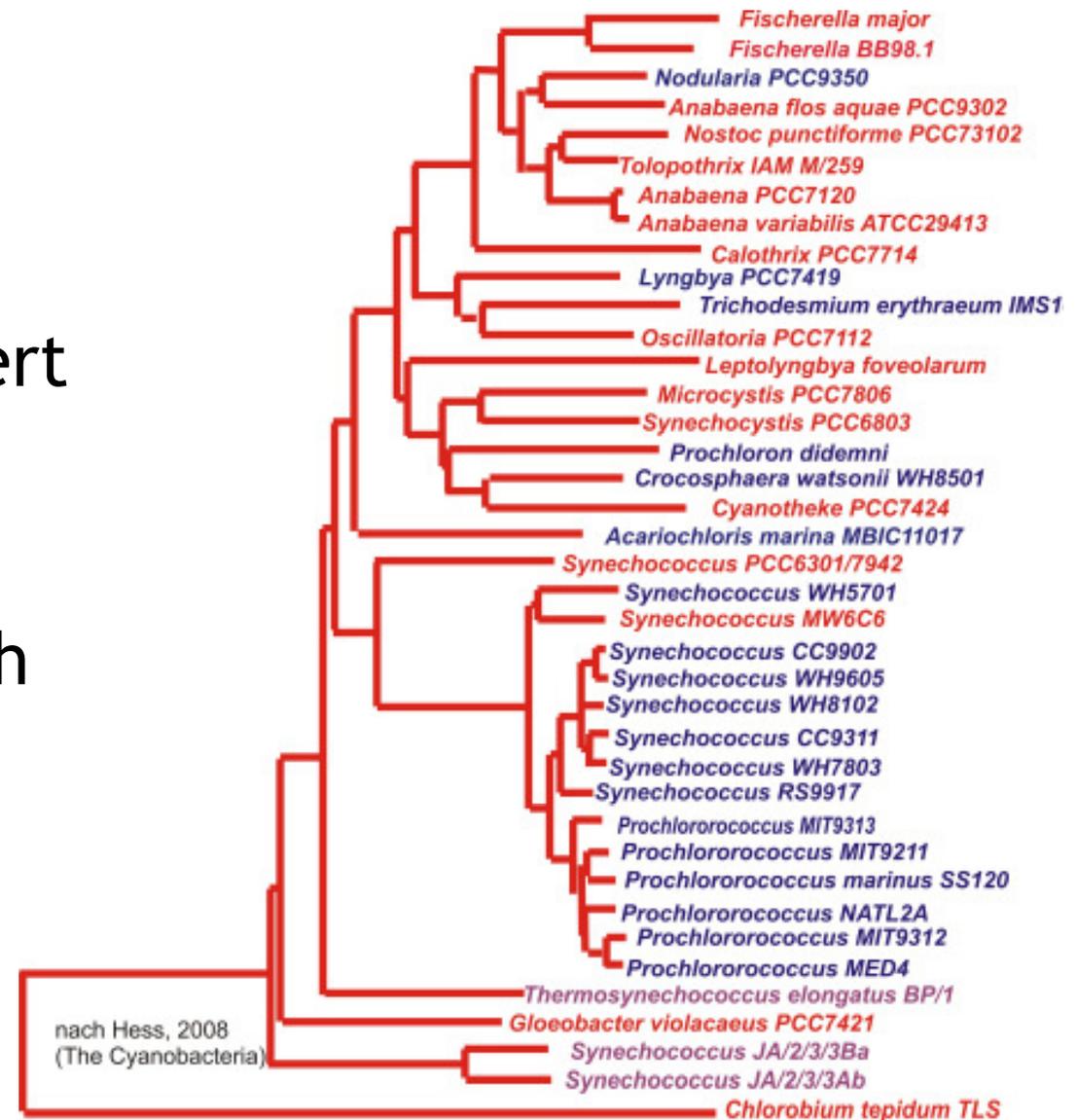
Spirulina Farm in Kalifornien,
Firma Earthrise



Verwendung als Nahrungs-
Ergänzungsmittel, in
Kosmetik, Fischfutter

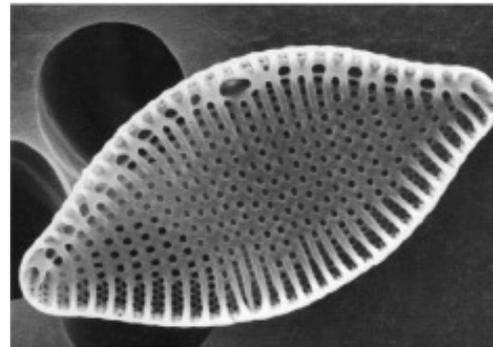
Cyanobacterien

- Kleines Genom
- >35 Arten sequenziert
(blau: marine Cyanobacterien)
- Genetische Modifikation möglich

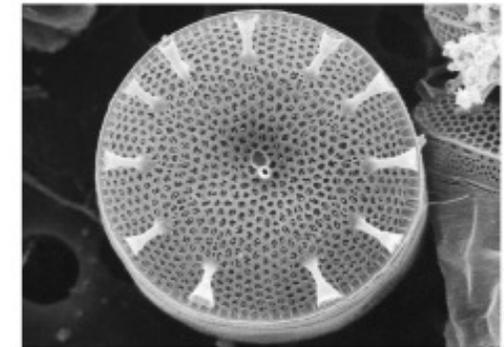


Diatomeen, Kieselalgen

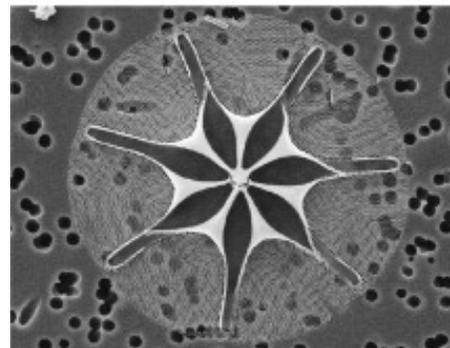
- Etwa 40% der Primärproduktion der Meere
- Vermutlich mehr als 100 000 Arten
- Größe 5 bis 50 μm
- Vor 200 Mio Jahren entstanden
- Zellwand aus Siliziumoxid (Schale, Frustel)
- Mit Braunalgen verwandt
- Einzellige, fädige oder Kolonie-bildende Formen



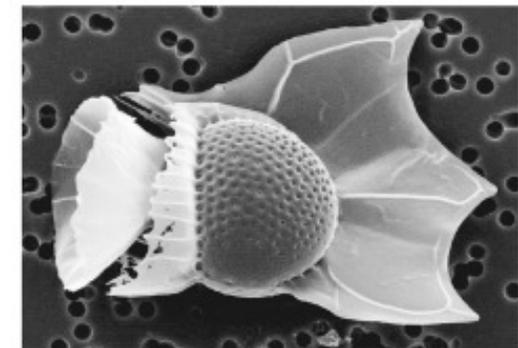
(c)



(d)



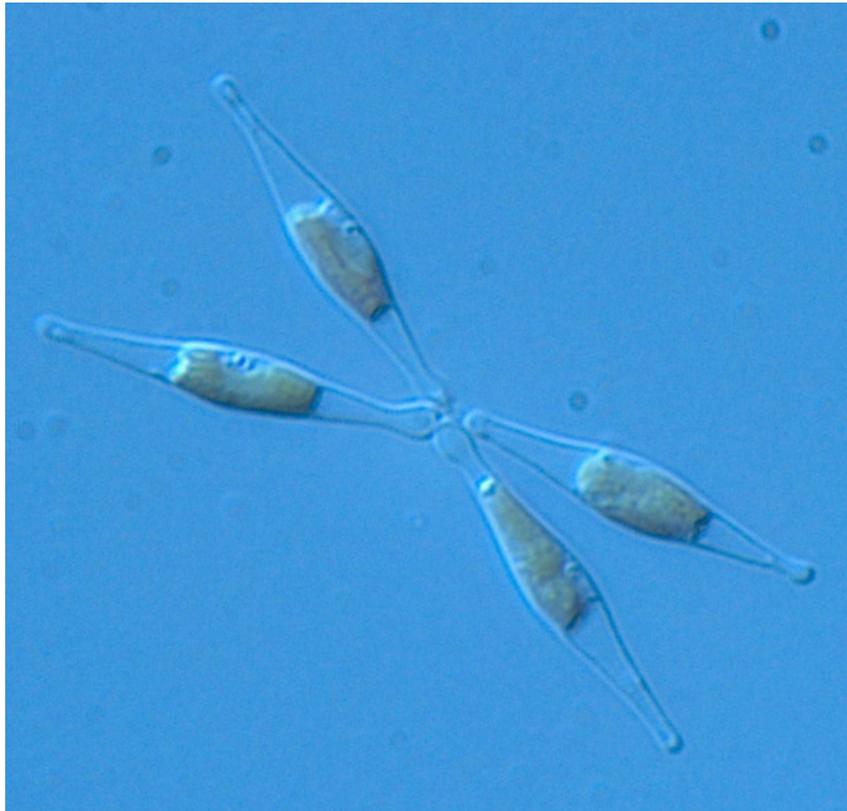
(e)



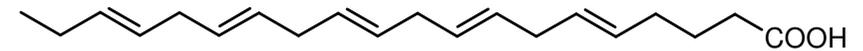
(f)



Diatomeen



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



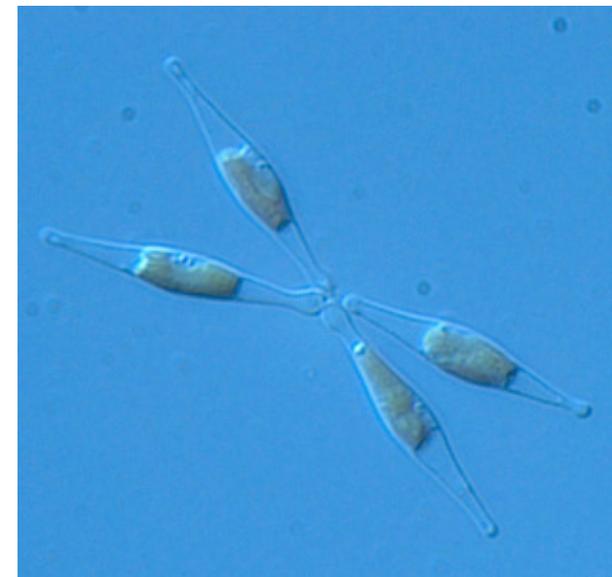
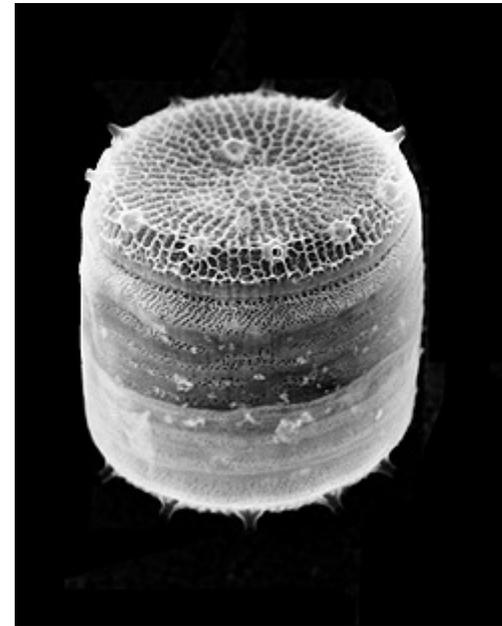
EPA



Diatomeen

Abgeschlossene Genom
Sequenzierungen:

- *Thalassiosira pseudonana* (central)
- *Phaeodactylum tricornutum* (pennat)



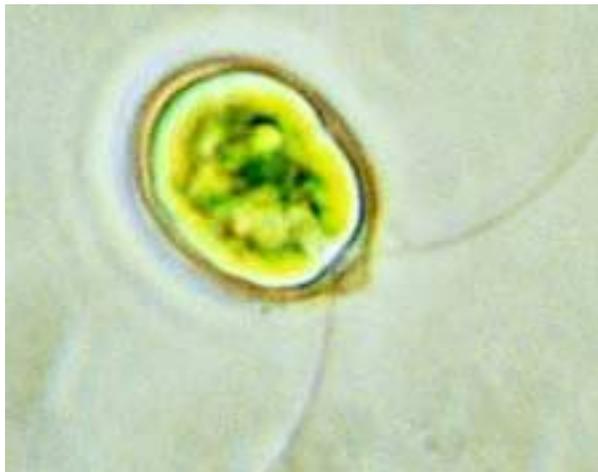


Grünalgen

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



Ulva



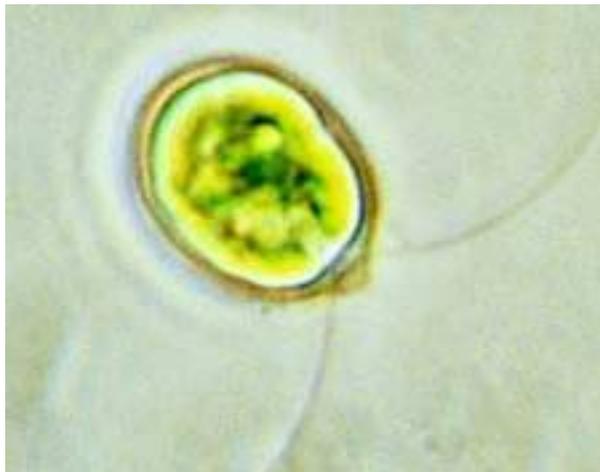
Chlamydomonas



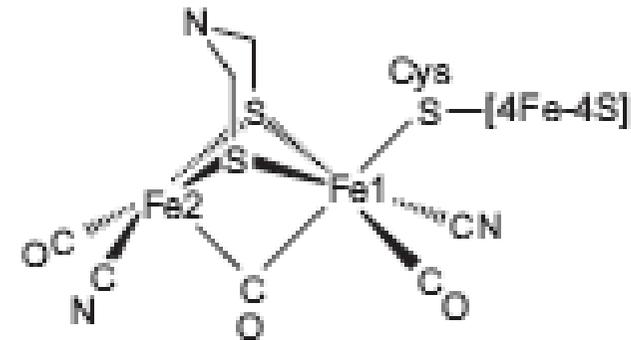
Grünalgen

Chlamydomonas reinhardtii

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



Chlamydomonas reinhardtii

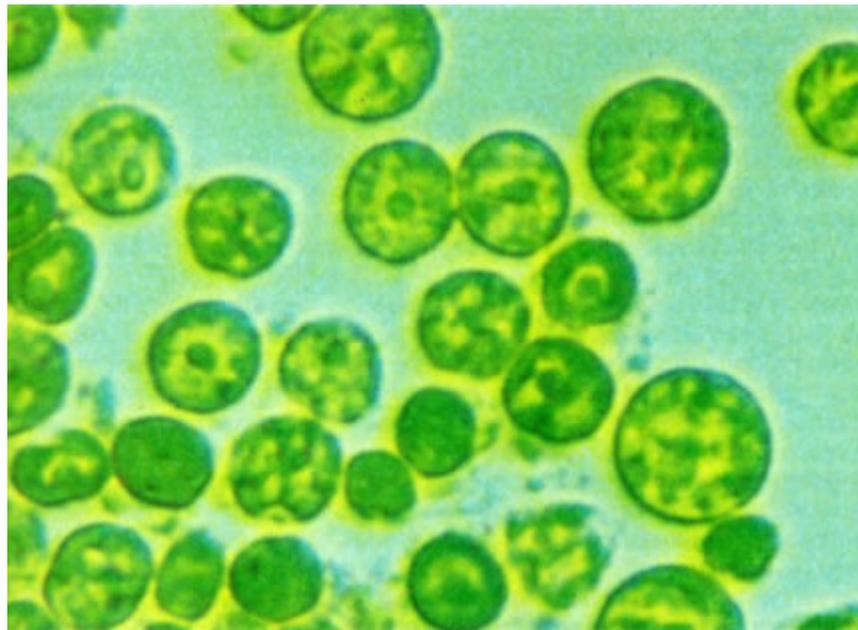


Aktives Zentrum der FeFe
Hydrogenase (Ghirardi et al.
Annual Reviews Plant Biol 2007)



Grünalgen

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



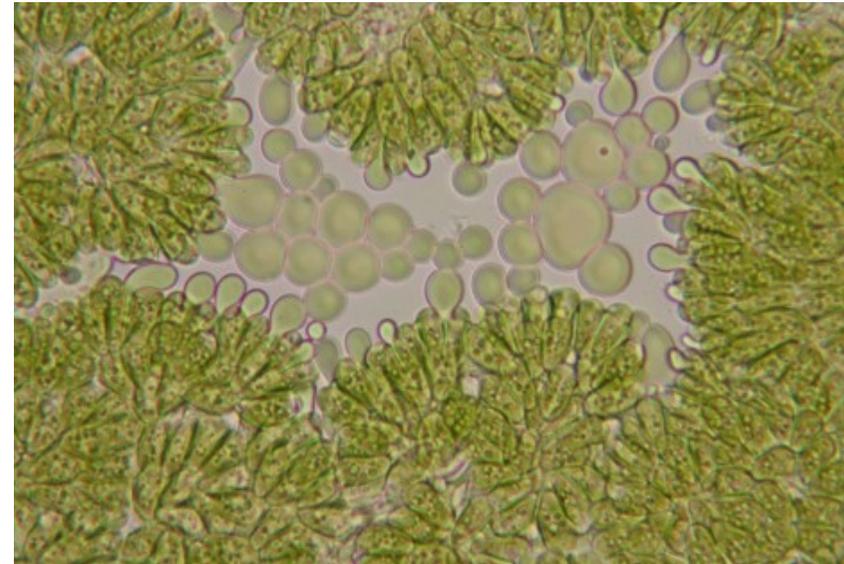
Chlorella





Grünalgen

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



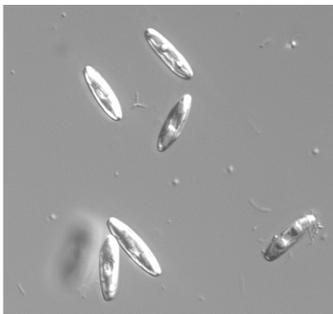
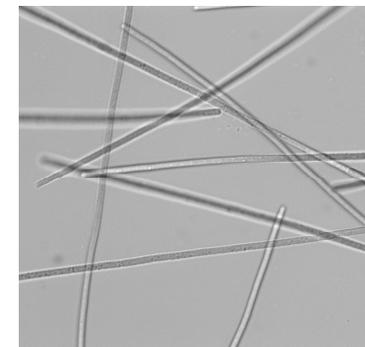
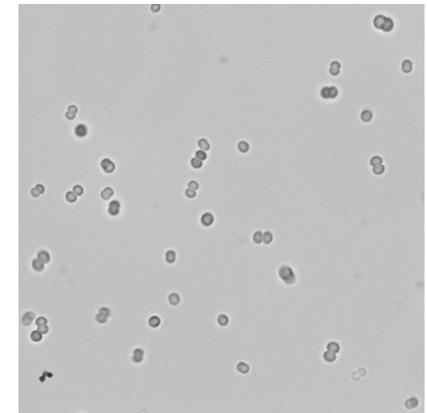
Botryococcus braunii





Microalgen

- Biologie: was sind Microalgen, woher kommen sie, welche Gruppen gibt es ?
- Möglichkeiten zur Energie-Nutzung:
 - Produktion von H_2
 - Produktion von Ethanol
 - Produktion von Lipiden
 - Einsatz beim CO_2 Recycling in Kohlekraftwerken
- Bio-Reaktoren
- Firmen in USA und Deutschland

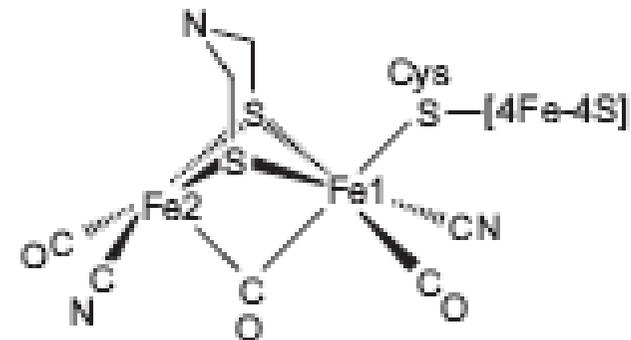


Wasserstoff

- *Chlamydomonas reinhardtii* und andere Grünalgen
- enthält eine FeFe Hydrogenase, die H₂ produziert
- O₂ sensitiv, nur unter anaeroben Bedingungen exprimiert
- Wachstum S-Armut, hier PS II Aktivität unterdrückt

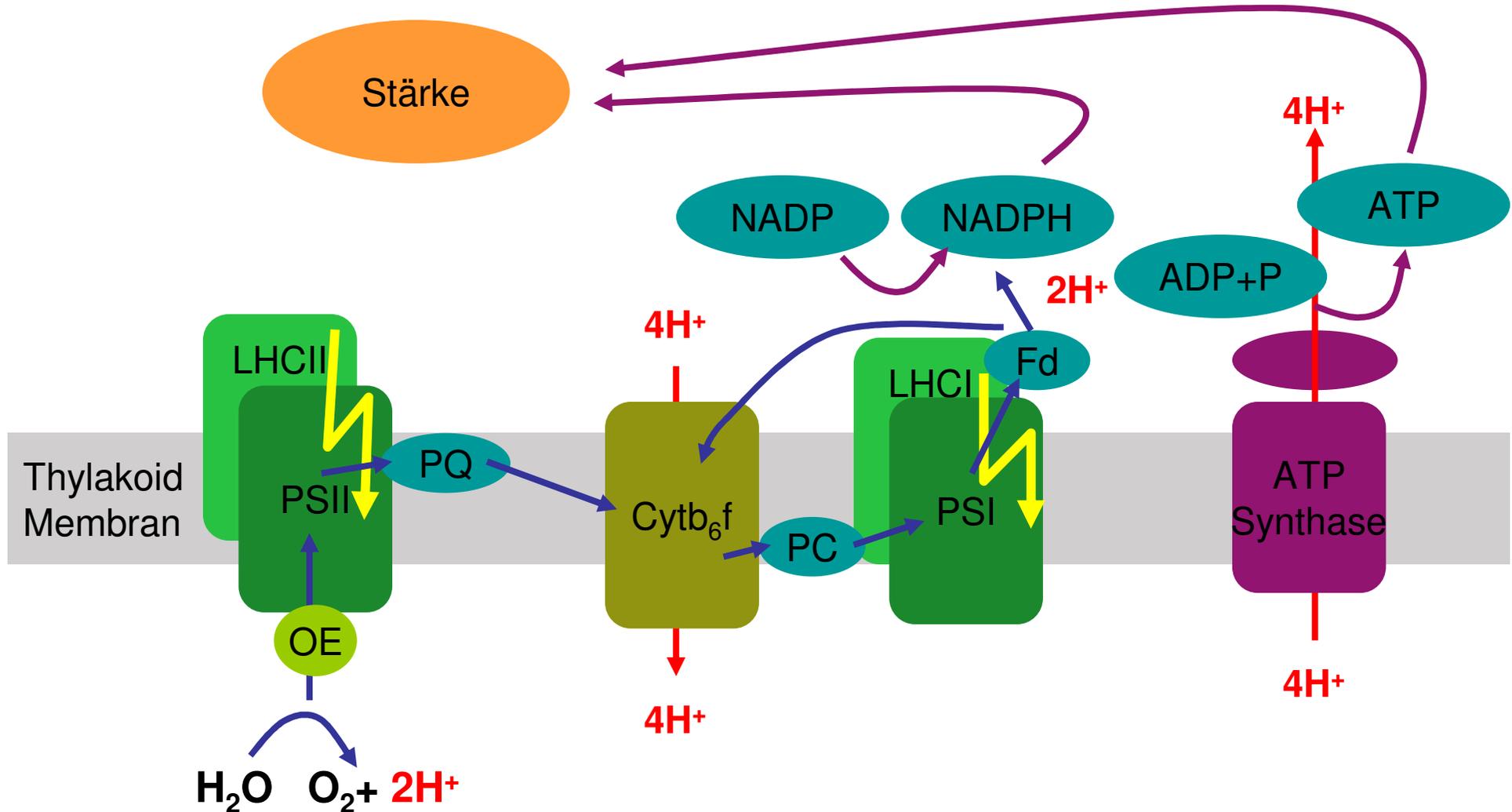


Chlamydomonas



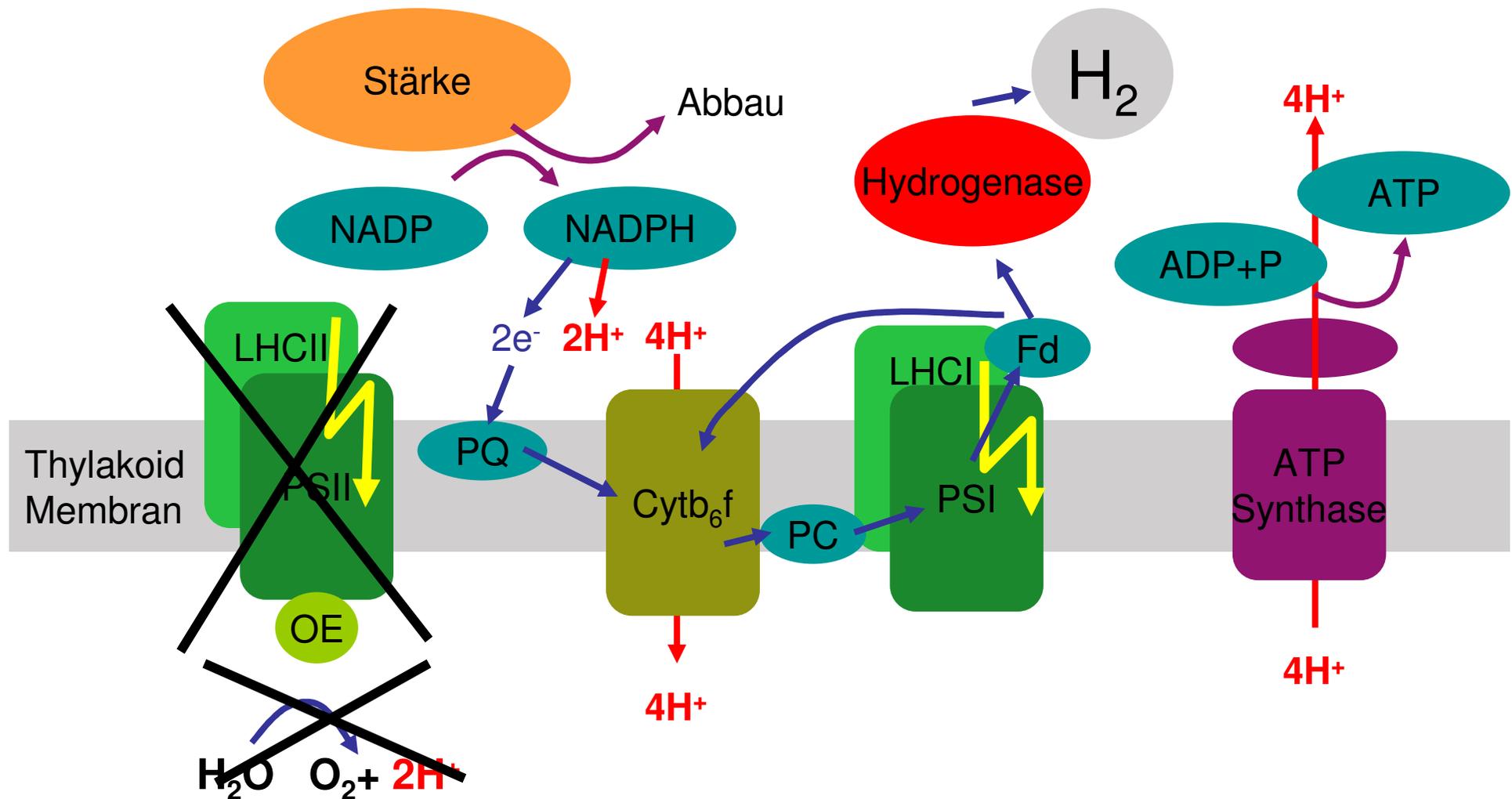
Aktives Zentrum der FeFe Hydrogenase (Ghirardi et al. Annual Reviews Plant Biol 2007)

Photosynthese



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

Photosynthese unter S-Mangel



Schwefel Mangel: PSII defekt, keine Wasserspaltung, O_2 geht zurück
 Unter anaeroben Bedingungen wird Hydrogenase aktiviert, Elektronen aus Abbau von Stärke für Wasserstoff Synthese. Nach Hankamer et al. 2007 Physiol Plant



Wasserstoff

Wechsel zwischen
normalem Medium
(Wachstum und Stärke
Synthese) und
schwefelarmem Medium
(H₂ Produktion)

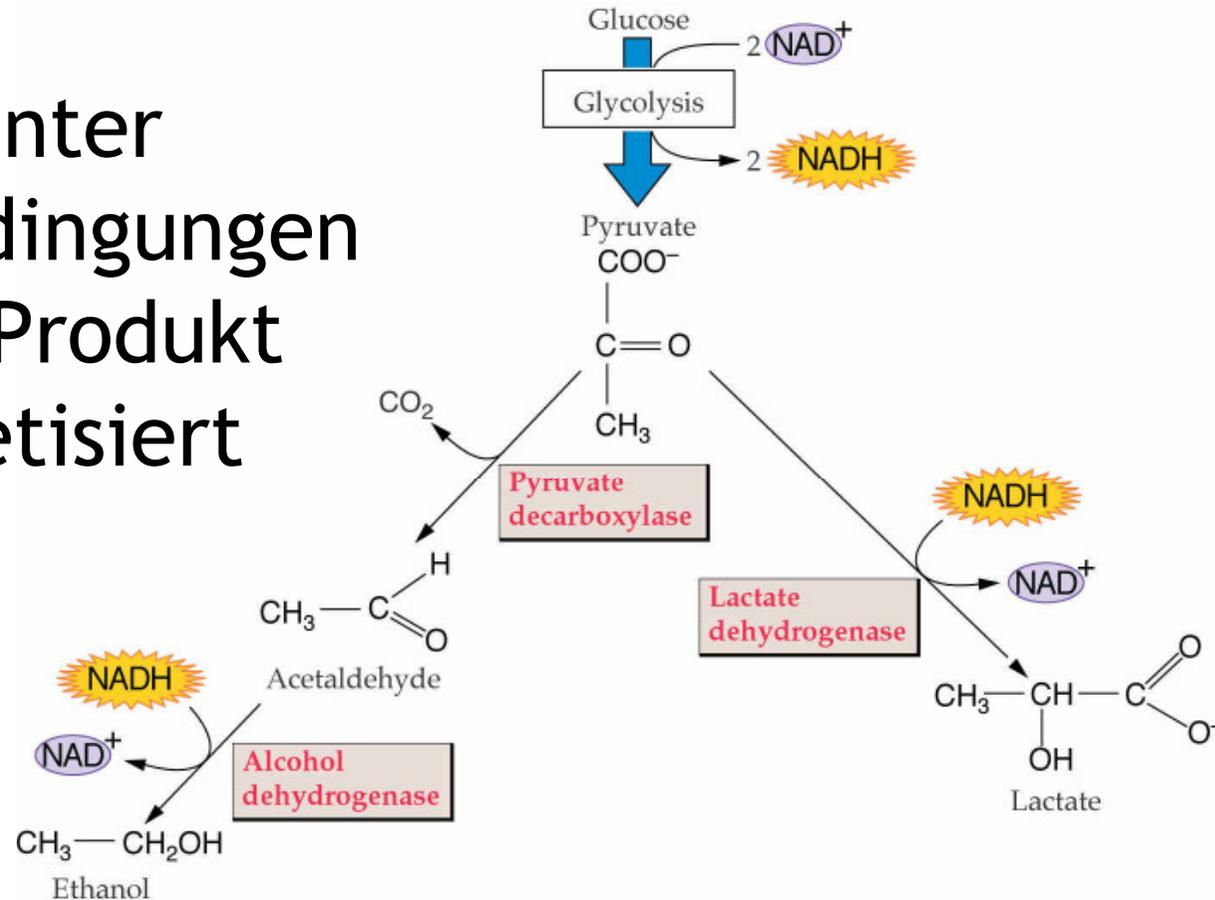


Chlamydomonas



Ethanol

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

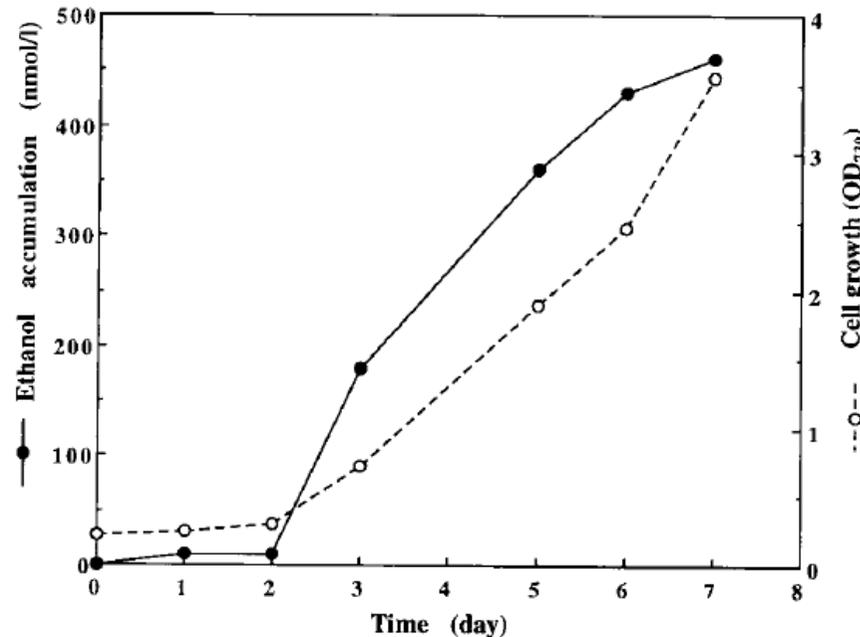
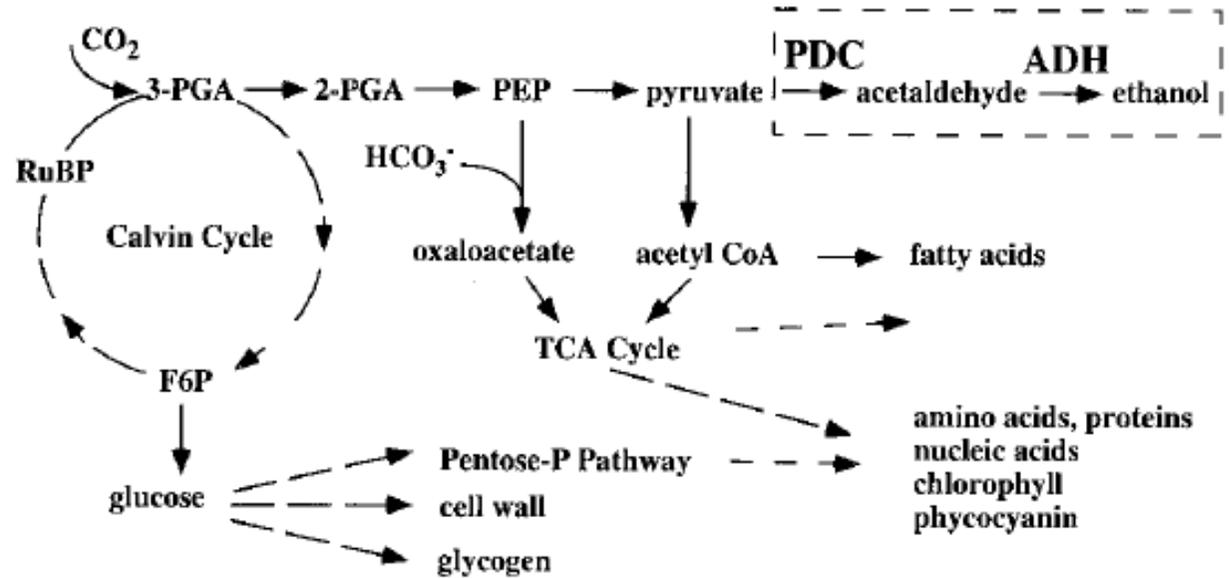


Buchanan

Ethanol

• Ethanol kann auch in kleinen Mengen in der Photosynthese entstehen

• Pyruvat Decarboxylase und Alkohol Dehydrogenase überexprimiert in *Synechococcus* PCC 7942: mehr Ethanol

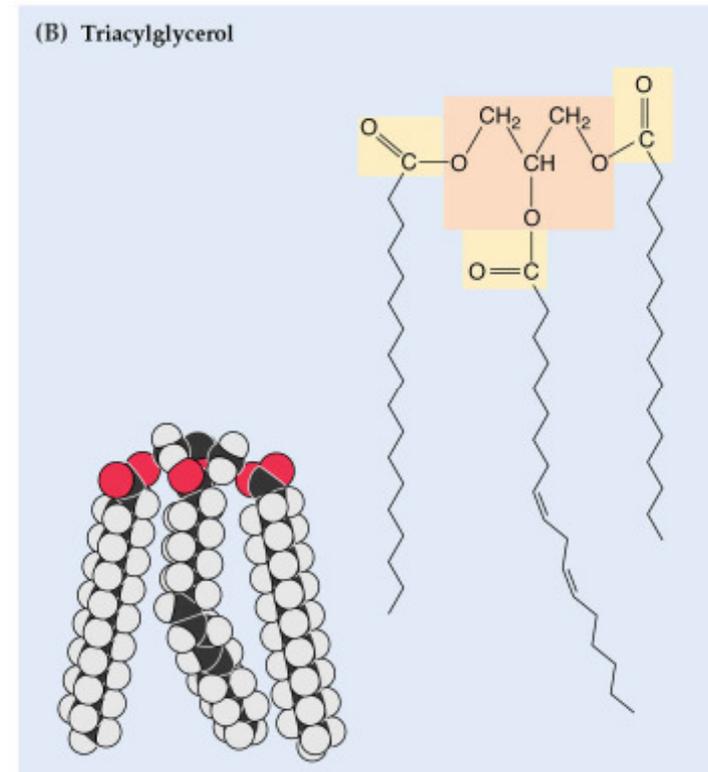


Deng Coleman Applied and Environmental Microbiology 1999



Öl aus Microalgen

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





Öl aus Microalgen

Microalgen
weisen oft
einen hohen
Ölgehalt auf

Oil content of some microalgae

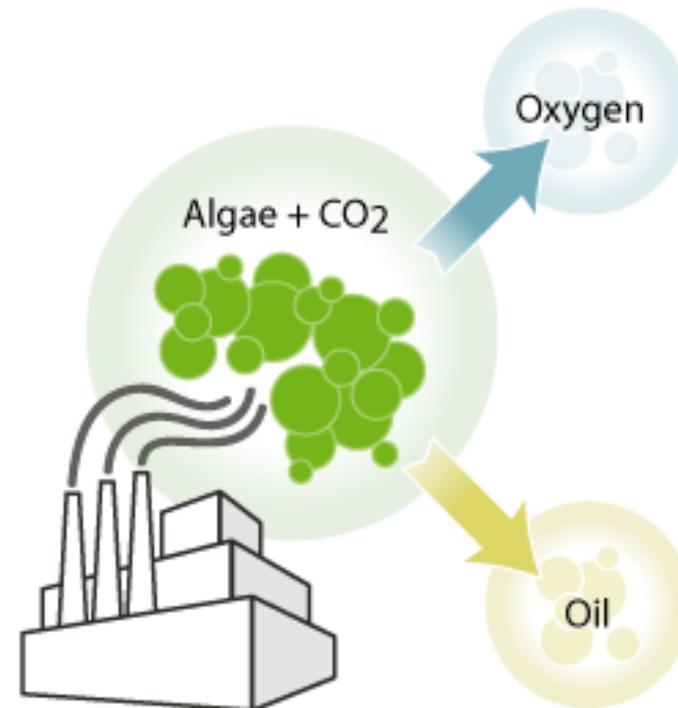
Microalga	Oil content (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella</i> sp.	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> 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)



Filterieren von CO₂ aus Kohle- oder Erdgaskraftwerken

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

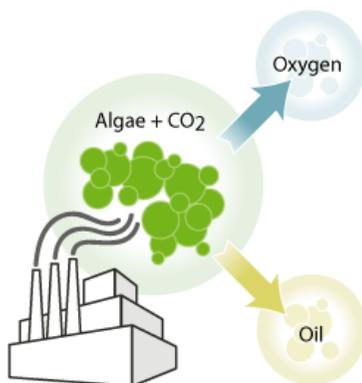
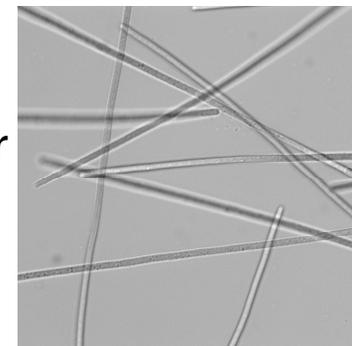
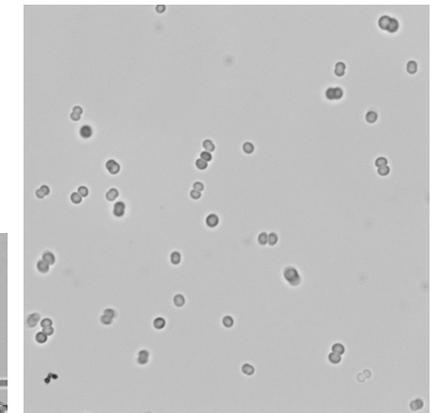
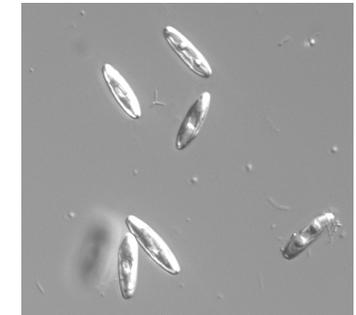




Kohlekraftwerke in der BRD

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)

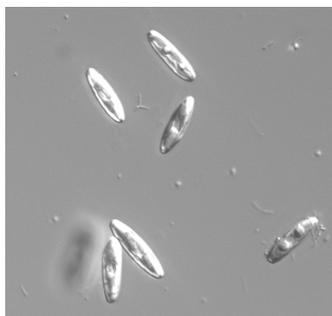
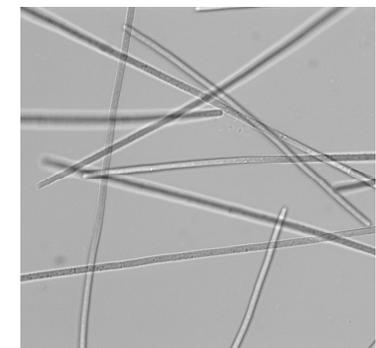
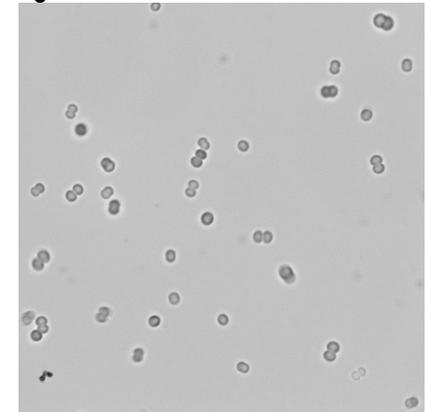


(Daten von Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Sierra et al 2008, Subitec)



Microalgen

- Biologie: was sind Microalgen, woher kommen sie, welche Gruppen gibt es ?
- 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)

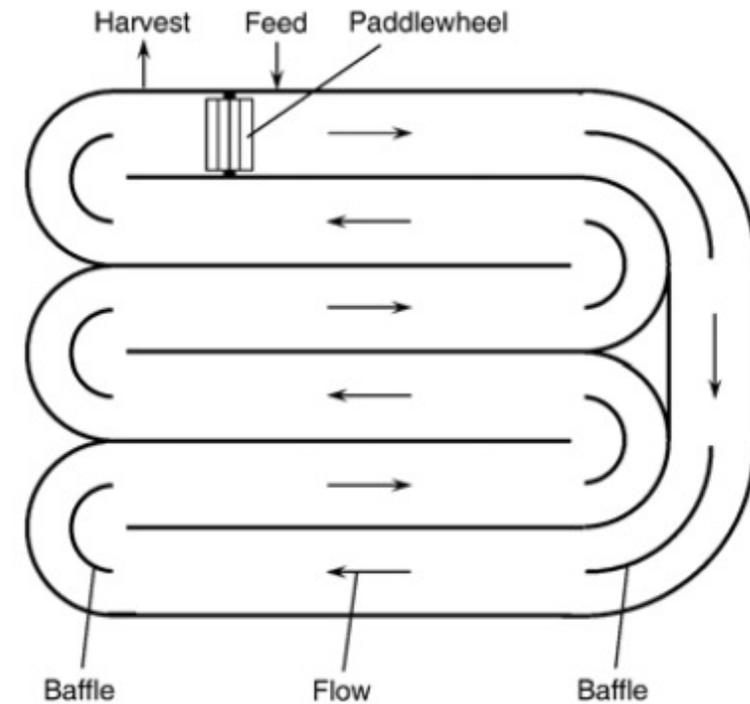


Fig. 1. Arial view of a raceway pond.

Spirulina bei Earthrise

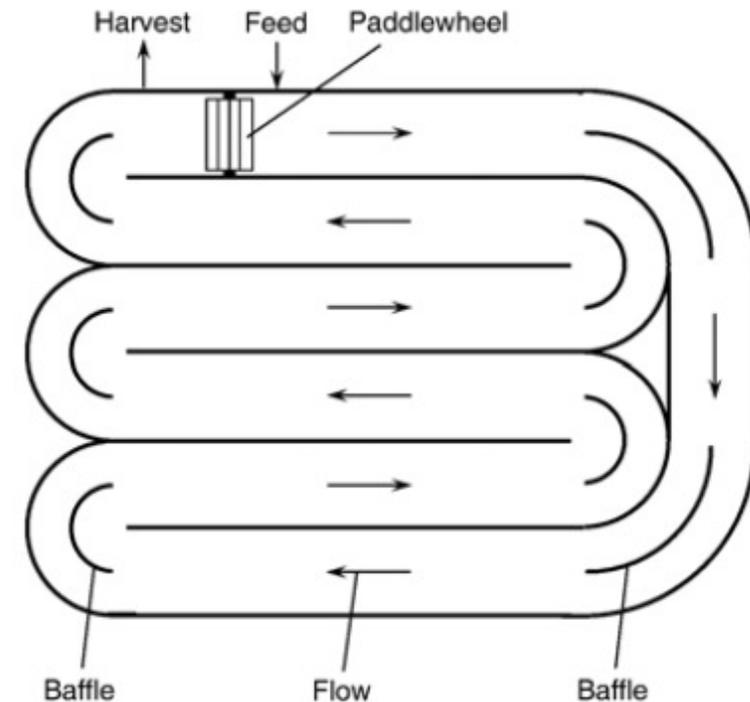
Raceway Pond

Vorteile

- geringe Investitionskosten
- Erfahrung in der Praxis

Nachteile

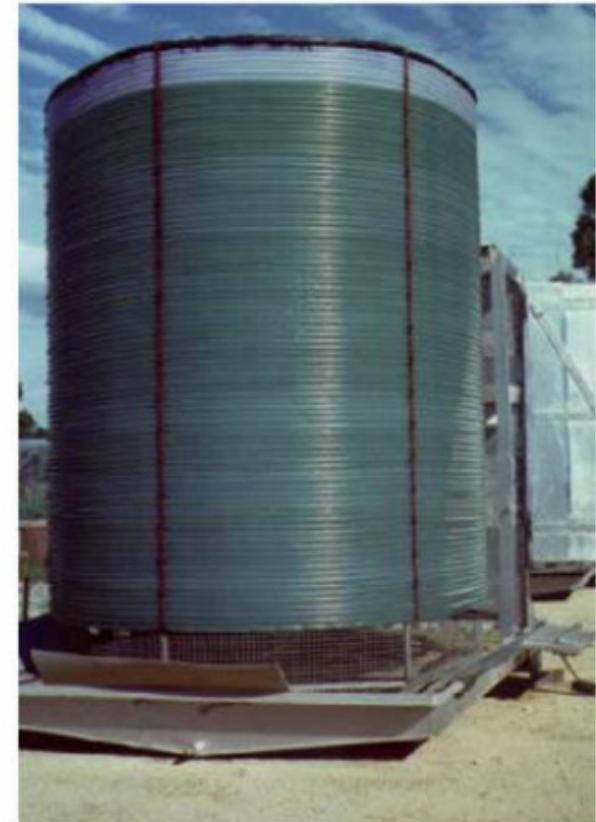
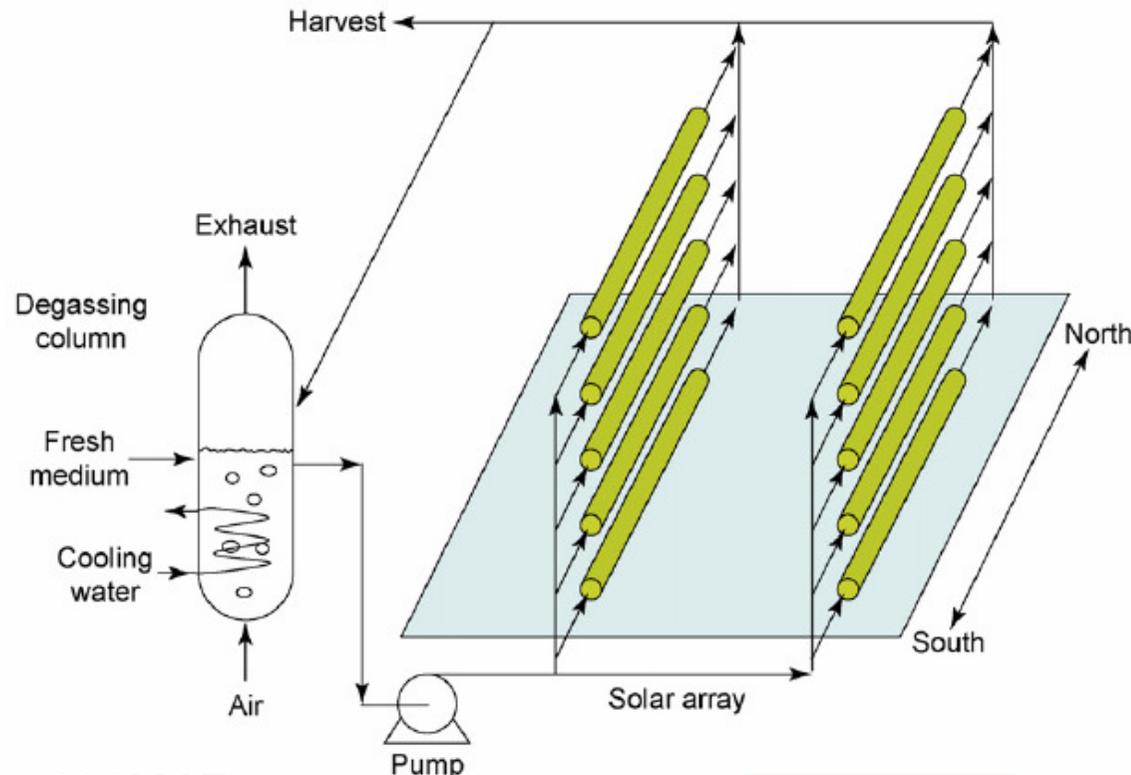
- Niedrige Zelldichte
- Kontamination





Röhren-Bioreaktor

- Geschlossenes System
- Relativ hoher Energieaufwand für Umwälzung



M. Borowitzka, Murdoch University Australia,



Folien-Reaktoren

- Geschlossenes System
- Günstige Herstellungskosten

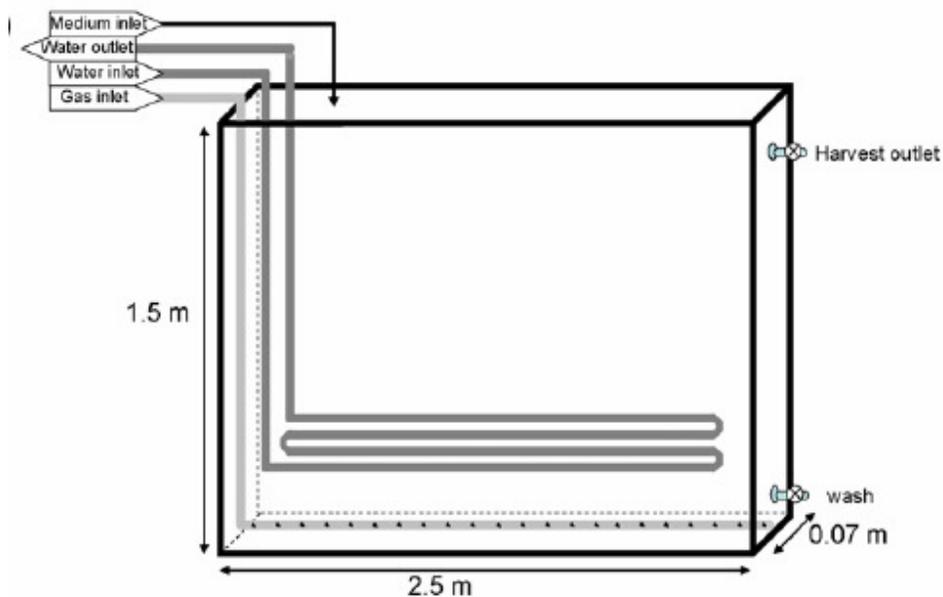


Firma Novagreen, Vechta-Langförden



Flachbett-(flat panel) Bioreaktor

- Geschlossenes System
- Relativ geringer Energieaufwand für Umwälzung



Sierra et al. 2008



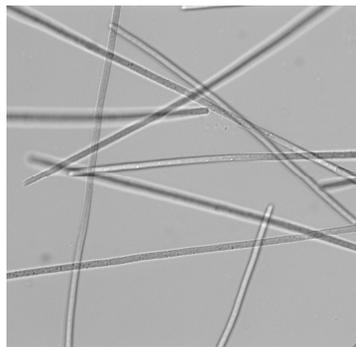
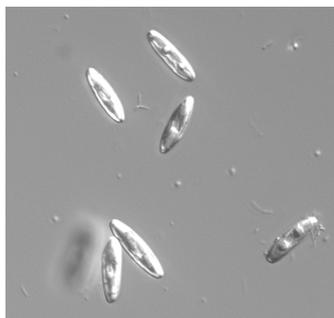
Firma Subitec, Stuttgart



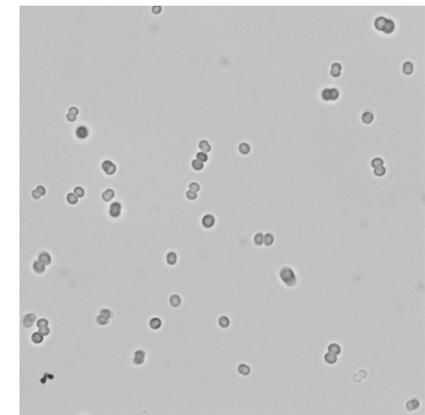
Bioreaktoren, Vergleich der Systeme

	Energie- verbrauch 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)





Microalgen

- Biologie: was sind Microalgen, woher kommen sie, welche Gruppen gibt es ?
- Möglichkeiten zur Energie-Nutzung
- Bio-Reaktoren
- Firmen in USA und Deutschland
 - Greenfuel
 - Solix
 - Cyano Fuels
 - Subitec
 - Novagreen



Greenfuel (Arizona, USA)

- Pilotprojekt mit 1000 MW Gasturbinen Kraftwerk bei Phoenix (Arizona)
- 100 ha Anlage in Spanien

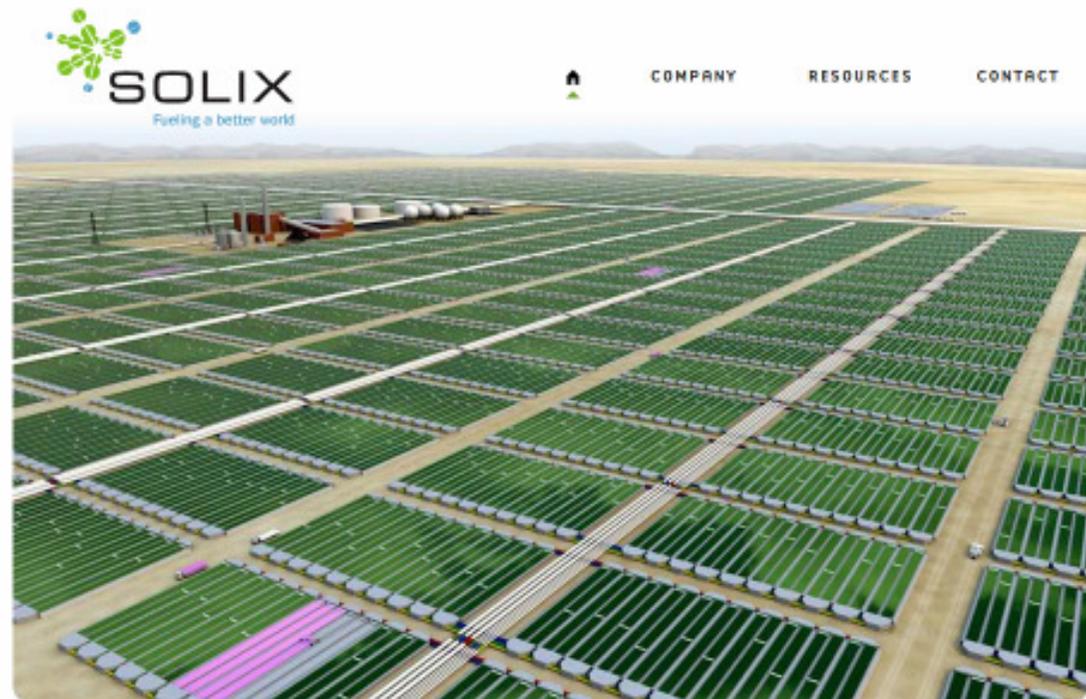


<http://www.greenfuelonline.com>



Solix, USA

- Spin off des DOE Aquatic Species Program (seit 2006)
- Microalgen Biokraftstoff / Rohstoff Anlage in Durango, Colorado geplant (4 ha)





Cyano Biofuels, Berlin

Cyanobakterien für Ethanol Produktion

The screenshot shows the Cyano Biofuels website. On the left, a diagram illustrates the production process: Sun + CO₂ + H₂O + Cyanobacteria (labeled 'Our playground') leads to Ethanol (EtOH) + Biomass + O₂. The text 'There is plenty of it' is written above the sun and CO₂. The website navigation includes: HOME, RESEARCH & DEVELOPMENT, INVESTOR RELATIONS, CAREERS. The main content lists: SCREENING / CULTIVATION / PHYSIOLOGY (Over 20 years of experience in handling cyanobacteria), METABOLIC ENGINEERING (Outstanding abilities to ENHANCE cyanobacteria), ANALYTICS (In-House cutting edge technology), and 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). At the bottom right, there is a microscopic image of cyanobacteria and the text 'CONTACT | © 2007-2009 Cyano Biofuels GmbH'.



Novagreen, Verda-Langförden

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

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





Photosynthese von Microalgen für Biomasse Produktion

+

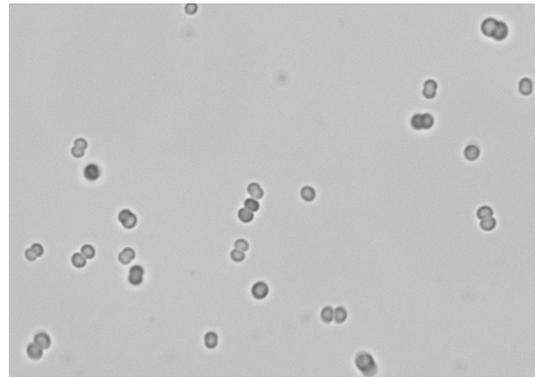
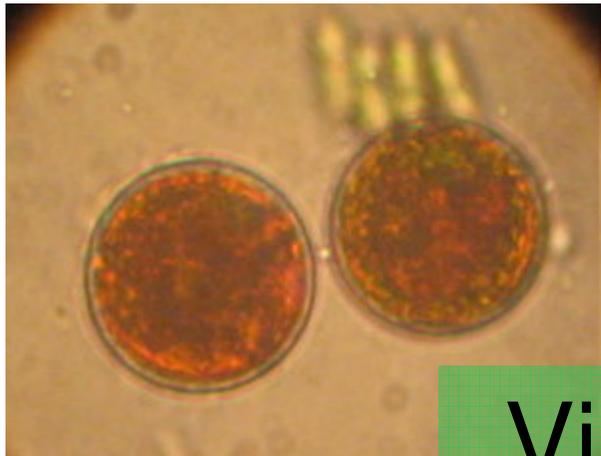
- Höhere Produktivität möglich als mit Samenpflanzen
- Verwendung von Wüsten-Flächen denkbar
- Einsatz von Meerwasser möglich
- Photosynthese zur Synthese von z.B. Öl oder Carotinoiden

-

- Bioreaktoren nötig
- Energie Verbrauch für Umwälzung
- Hohe Investitionskosten
- Nährstoffe müssen zugeführt werden
- Kultivierung und Aufarbeitung der Microalgen muss weiter optimiert werden



Microalgen-Photosynthese für Biomasse Produktion



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !

