



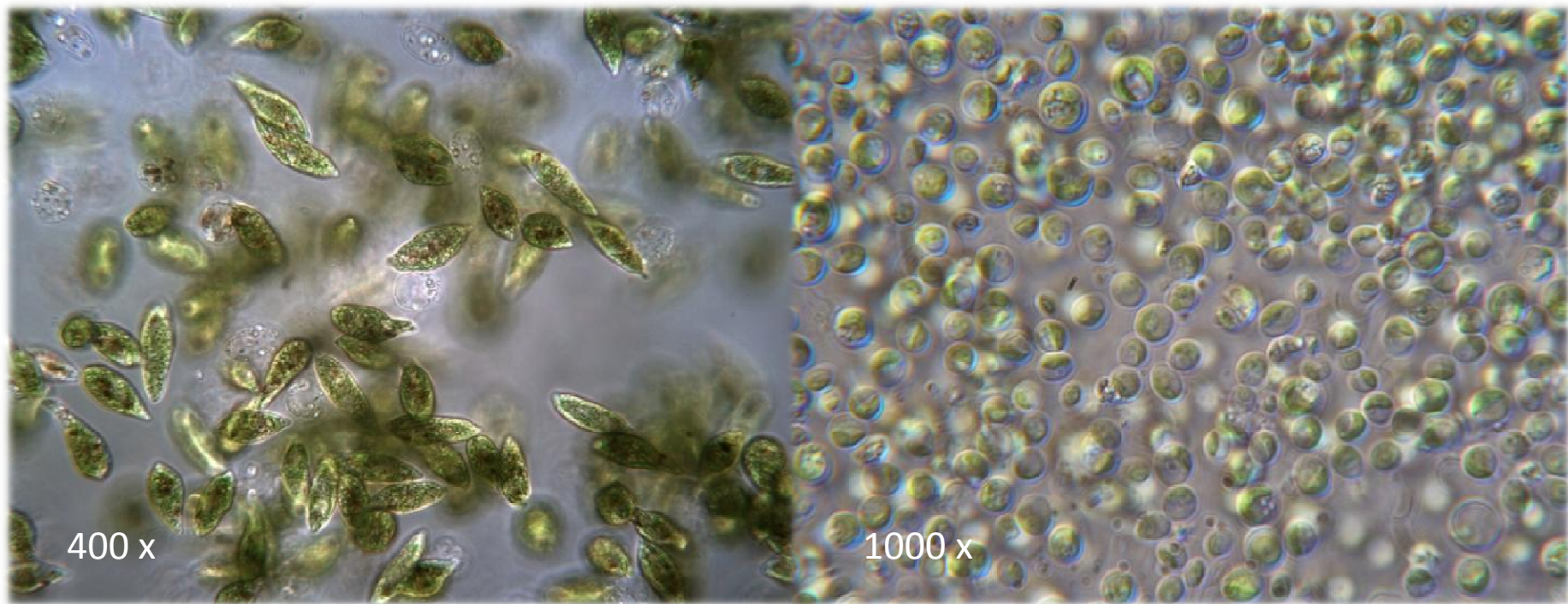
Wie effizient kann die Photosynthese der Algen genutzt werden, um damit auf alternativen Wegen Energie oder Biokraftstoffe zu gewinnen?

Prof. Dr. Dieter Hanelt (Biozentrum Klein Flottbek, Abt. Zellbiologie/Phykologie)



Mikroalgen

(Wenigzellige Organismen mit Zellkern, die Photosynthese betreiben können)



Euglena (Flagelat)
(Teilung, 2x)
aktiv beweglich

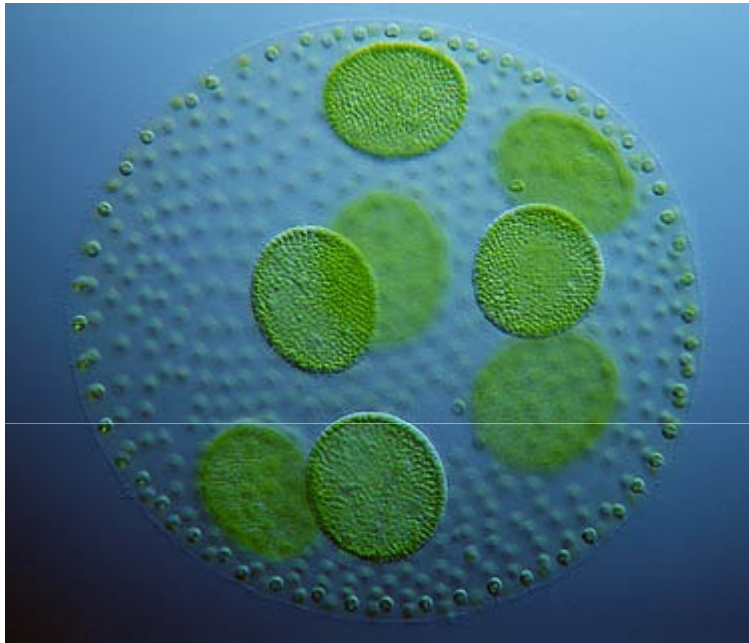
Chlorella (coccal)
(Autosporen, 8-16 x)
unbeweglich, sehr klein

Algen als Nutzpflanzen



- Algen als Nahrungsmittel (Nori, Kombu, Tiernahrung)
- Zur Düngung und als Bodenverbesserer
- Phykokolloide: Gele, Stabilisatoren, Bindemittel
- Mikroalgen: Vitamine, Farbstoffe, seltene Aminosäuren, Proteine, Fettsäuren
- Mikroalgen als CO₂-Filter, zur Biodieselproduktion oder zur Fermentation, Klärung von Abwässern (Nährstoffentzug)

First Algae Biodiesel Plant Goes Online: April 1, 2008



In:

gas2.0 biofuels, oil, a revolution

PetroSun has announced it will begin operation of its commercial algae-to-biofuels facility on April 1st, 2008.

The facility, located in Rio Hondo Texas, will produce an estimated 4.4 million gallons of algal oil and 110 million lbs. of biomass per year off a series of saltwater ponds spanning 1,100 acres. Twenty of those acres will be reserved for the experimental production of a renewable JP8 jet-fuel.

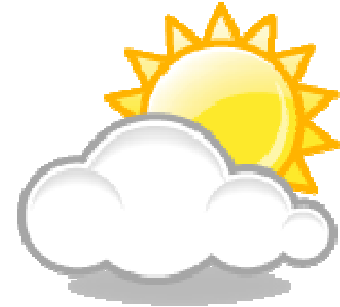
$$4.4 \cdot 10^6 \text{ gal} \times 4.5 = 19.8 \cdot 10^6 \text{ Liter Öl}$$

$$110 \cdot 10^6 \text{ lbs} \times 0.4536 = 49.9 \cdot 10^3 \text{ Tonnen Biomasse}$$

$$\text{Ca. } 113 \text{ to/a} \cdot \text{hektar oder } 46 \cdot 10^3 \text{ l/a} \cdot \text{hektar} \\ \approx 37 \text{ t Öl/a} \cdot \text{hektar}$$

Ca. 33% Öl bei einer Dichte von 0.8kg/l

Was spricht dafür ?

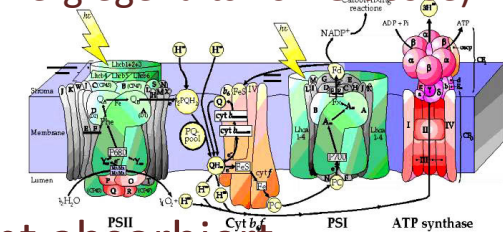


- Lichtausbeute zur Biomassegewinnung durch Mikroalgen 10 x höher als Pflanzen in der effektivsten Landwirtschaft, 30 x höher als die der normale natürliche Vegetation
- Genutzte Bestrahlungsstärke im Photobioreaktor ca. 10-20 fach höher als auf dem Feld, da Mikroalgen nur photosynthetisch aktive Zellen besitzen
- In geschlossenen Photobioreaktoren können Bedingungen so kontrollierte und eingestellt werden, dass interessante, definierte Zellinhaltsstoffen synthetisiert werden.

Nach Krassen Dimitrov (2007)

Effizienz der photosynthetischen Energie-Umwandlung:

- 1) - Photosynthese ca. 8 Photonen pro fixiertem Moleküle CO_2 nötig
 - Pro Mol CO_2 -Fixierung sind ca. 477kJ notwendig (1/6 des Energiegehalts von Glucose)
 - Die Energie von 8 mol Photonen PAR $\approx$ ca. 1700kJ
 - > **28% Maximal-Effizienz zur CO_2 Fixierung**

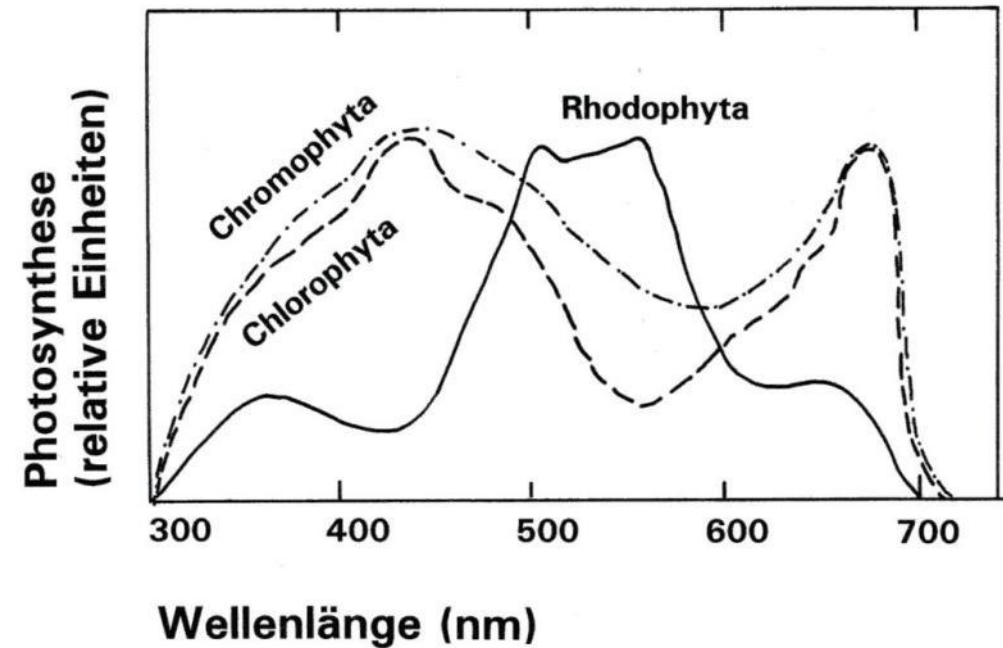
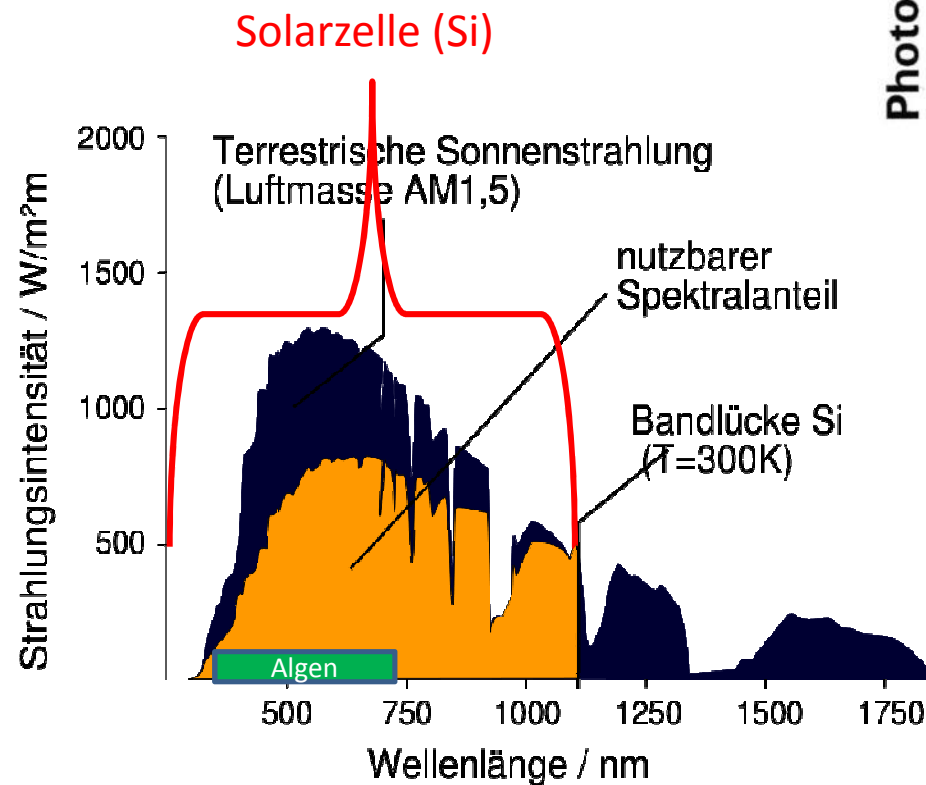


- 2) Nicht der gesamte Strahlungsbereich wird gleich effizient absorbiert, sondern nur zu ca. 45% (PAR) -> Effizienz $45\% * 28\% = 12,6\%$
- 3) Quantenausbeute liegt max. bei ca. 0.85 -> **10,7 %** (Verluste im Photosystem)
- 4) Respiratorischer Verbrauch ca. 30% -> ca. **7,5% Effizienz**

D.h. monokristalline **Solarzellen**, heute ca. **15-20 %** Energieumwandlung der Strahlung in elektr. Strom -> Mehr als doppelt so wirksam

Aber: Der Organismus wandelt die absorbierte Strahlungsenergie in einen organischen Wertstoff um, der mit diesem Wirkungsgrad nicht durch die chemische Industrie erreicht werden kann !

Wirkungsspektren von Si-Solarzelle und Photosynthese im Vergleich



Biodiesel aus Algen ?



→ Dann müssen Algen Öle produzieren!!

Öl-Gehalt in verschiedenen Mikroalgen (EPOBIO-Report 2007)

B = Bacillariophyceae
C = Chlorophyta
CC = Chlorococcales
P = Prymnesiophyceae
V = Volvocales

Species	Oil content (% dw)	Reference
Ankistrodesmus TR-87 (CC)	28-40	Ben-Amotz and Tornabene (1985)
Botryococcus braunii (CC)	29-75	Sheehan et al. (1998); Banerjee et al. (2002); Metzger and Largeau (2005)
Chlorella sp. (CC)	29	Sheehan et al. (1998)
Chlorella protothecoides (autotrophic/ heterotrophic)	15-55	Xu et al. (2006)
Cyclotella DI-35 (B)	42	Sheehan et al. (1998)
Dunaliella tertiolecta (V)	36-42	Kishimoto et al. (1994); Tsukahara and Sawayama (2005)
Hantzschia DI-160 (B)	66	Sheehan et al. (1998)
Isochrysis sp. (P)	7-33	Sheehan et al. (1998); Valenzuela-Espinoza et al. (2002)
Nannochloris (CC)	31 (6-63)	Ben-Amotz and Tornabene (1985); Negoro et al. (1991); Sheehan et al. (1998)
Nannochloropsis (CC)	46 (31-68)	Sheehan et al. (1998); Hu et al. (2006)
Nitzschia TR-114 (B)	28-50	Kyle DJ, Gladue RM (1991) Eicosapentaenoic acids and methods for their production. International Patent Application, Patent Cooperation Treaty Publication WO 91/14427, 3 October 1991.
Phaeodactylum tricornutum (B)	31	Sheehan et al. (1998)
Scenedesmus TR-84 (CC)	45	Sheehan et al. (1998)
Stichococcus (C)	33 (9-59)	Sheehan et al. (1998)
Tetraselmis suecica (C)	15-32	Sheehan et al. (1998); Zittelli et al. (2006); Chisti (2007)
Thalassiosira pseudonana (B)	(21-31)	Brown et al. (1996)



Ufop 2009: Brassica napus (Raps) ~42,9% FG (1,8t Öl pro Hektar) / PetroSun Ertrag 20x

Wie sieht die Zukunft aus?



Biodiesel aus Algen – Deutschland hätte genug Platz

Fuel demand Germany in 2010: ca. 50 mio t/a
Gasoline 19 mio t, Diesel 31 mio t

Assumption: Replace all with Algae-Biodiesel

Space requirement Germany

33% oil content $50 \text{ mio t} / 7.0 \text{ l/m}^2 = 0.8 \text{ mio ha}$

66% oil content $50 \text{ mio t} / 10.4 \text{ l/m}^2 = 0.6 \text{ mio ha}$



For comparison, in Germany rape seed is grown on **1.3 mio ha**
total agriculture area is **17 mio ha**

(Nach Dr. Ulrich Steiner, Bayer Technologie Service)

→ Bei einem Ölgehalt von 33% und einer Produktion von 100t Biomasse/ha•a wäre eine Fläche von $1,5 \cdot 10^6 \text{ ha}$ ($\approx$ Rapsanbau 2009) zur Produktion notwendig.

Verschiedene Reaktortypen und Effektivität

(R. Wijffels 2007)

Race way ponds:

Algenbiomasse $< 0,5\text{g/l}$

$20\text{t ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ Algenbiomasse

Sprudelsäule:

Biomasse ca. 4 x

Röhrenreaktor:

Biomasse ca. 6 x

Flachbettreaktor:

Biomasse erhofft 30 x ?

(eher $150\text{t ha}^{-1} \text{y}^{-1}$

Algenbiomasse)

Teurer,
aufwendiger
Betrieb,
dafür aber
leistungs-
fähiger



Raceway ponds,
Calipatria Kalifornien



Uni. Hamburg



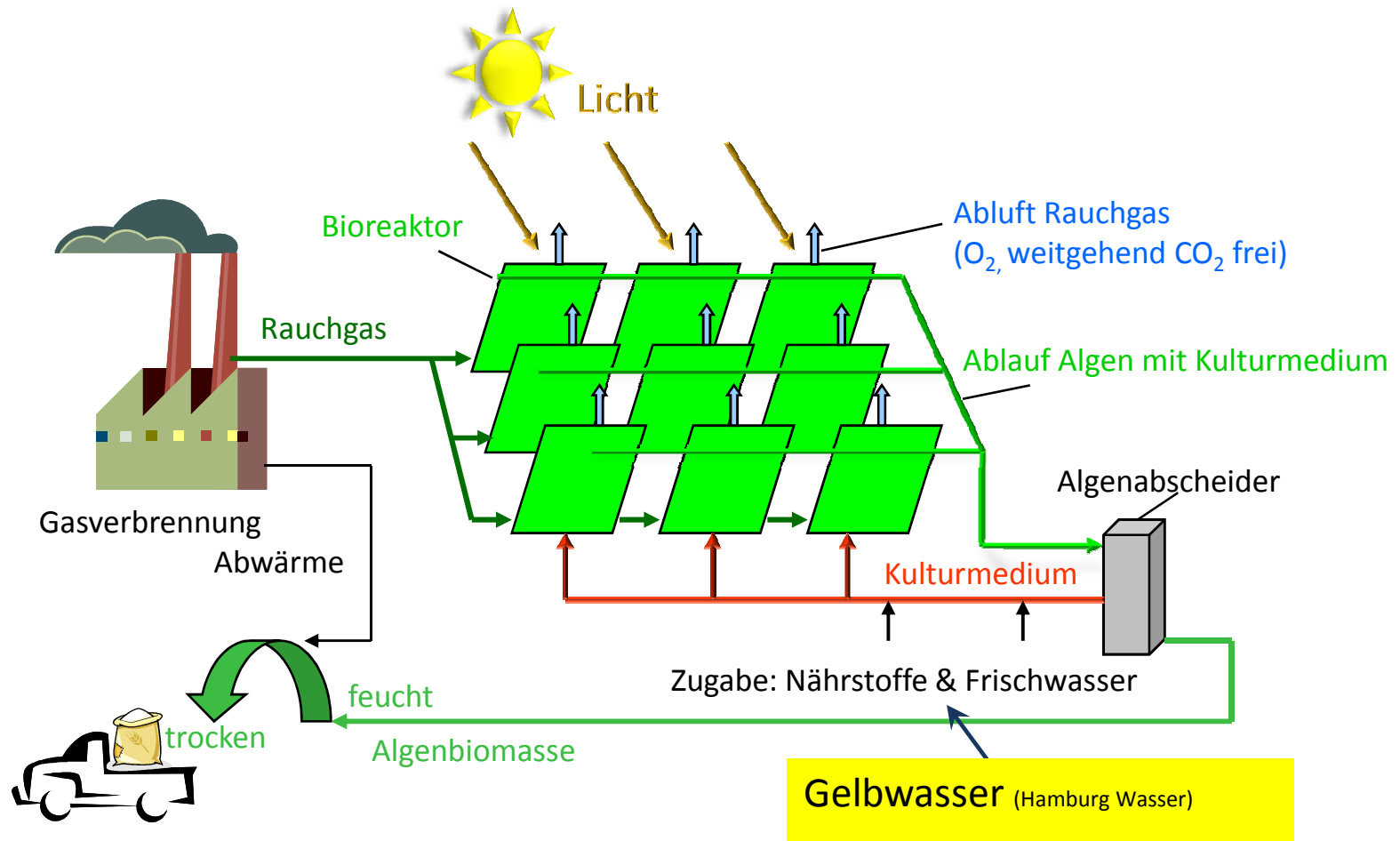
Bioproducte Steinberg, Klötze



TERM, Reitbrook

Prinzip der Pilotanlage zur Forschung in Reitbrook

Kopplung von Mikroalgenproduktion in Bioreaktoren und
Elimination von CO₂ aus Rauchgas einer Gasverbrennung



TERM Photobioreaktoren

(Technologie zur Erforschung der Ressource Mikroalge)

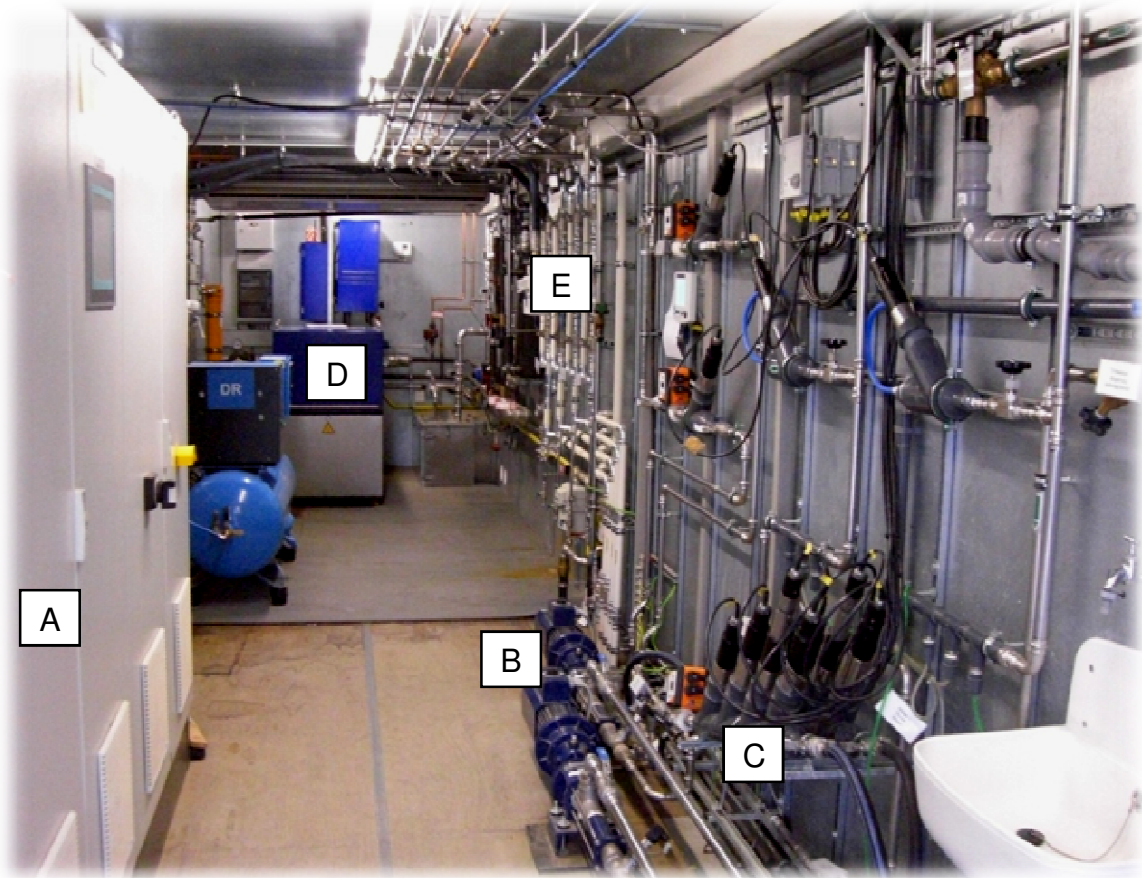


Photobioreaktoren

Kraftwerk und Steuerung :



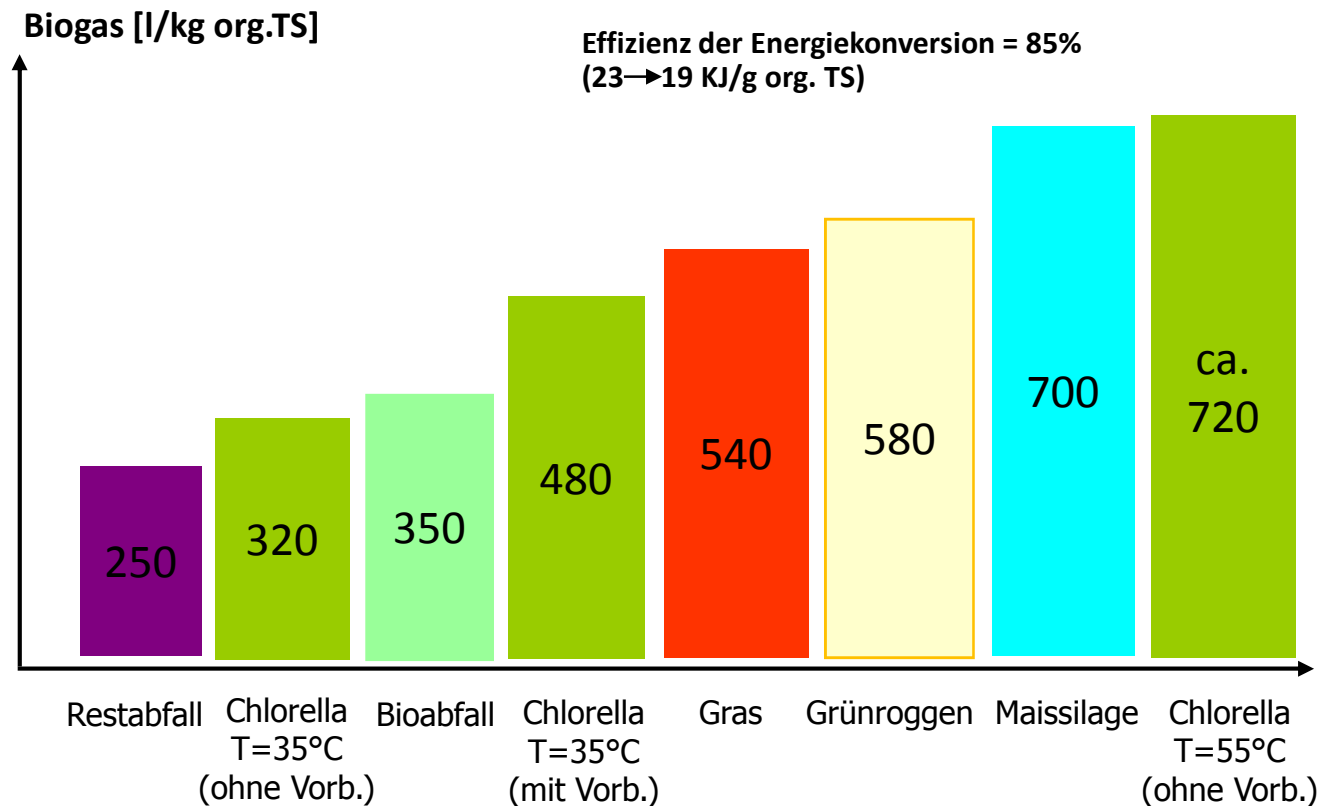
BHKW plus Anlagensteuerung



Steuerzentrale der TERM-Anlage:

(A) SPS, (B) Pumpen, (C) Messeinrichtung, (D) BHKW, (E) Wärmetauscher.

Energetische Verwertung: Methanproduktion mit Mikroalgen



J. Heerenklage, I. Körner, TUHH Institut für
Umwelttechnik und Energiewirtschaft
Gruppe Biokonversion und Emissionsminderung

Kann man den CO₂-Ausstoß von Kraftwerke deutlich verringert ?

Kraftwerk Niederaußem (RWE)

30,4 Mio t/a CO₂ (laut Carma), 3.800 MW brutto (RWE)

Daten im Überblick (pro Tag, 1999):

Stromerzeugung:

- bei Volllast: 65.000.000 kWh

Kraftwerksverbrauch:

- Rohkohleeinsatz: 70.000 t
(810kg/s verfeuert)

Rohwasser: 150.000 Kubikmeter

- Kalk: 380 t

- Strom (Eigenbedarf): 4.700.000 kWh (7,2%)

Entsorgung:

- Kessel- und Filterasche: 4.200 t

- Gips: 733 t



Kann man den CO₂-Ausstoß von Kraftwerke deutlich verringern ?

Verfeuert 50-250kg Kohle/s

-> 50kg/s = 185kg CO₂/s (44g/mol CO₂/12g/mol C)

entspricht 5,8 Mega t/a CO₂ (mittleres Kraftwerk 600MegaWatt)



Angestrebte Biomasse-Produktion von 100 t/ha a (1-3g TG/l)

-> Bei Chlorella ca. 53% C in der Biomasse

-> 1 t CO₂ wird umgewandelt in 0,52 t Biomasse

⇒ 194 t CO₂/ha a fixiert entspricht ca. 0,003% des obigen CO₂-Ausstoßes d.h. 30.000 hektar = 300 km² Fläche wäre zur vollständigen Entfernung notwendig (Hamburg ca. 755 km²).



Signifikante CO₂-Entfernung aus Kraftwerken ist nicht möglich

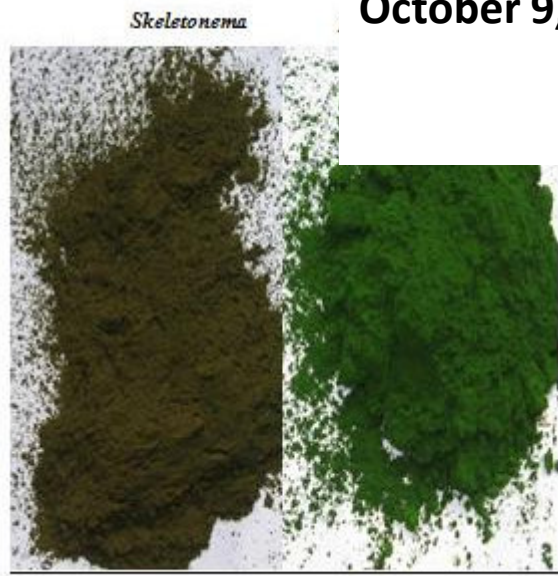
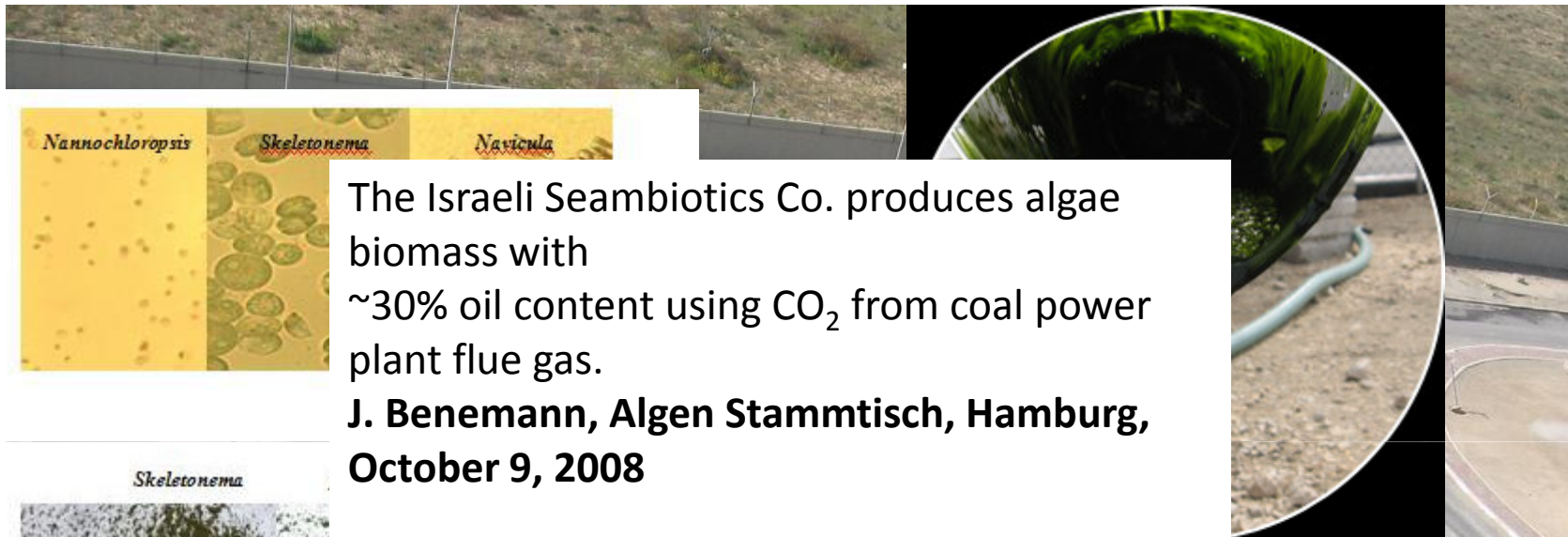
Aber: Kohlendioxid steht kostenfrei zur Verfügung,

- es wird die Rauchgas-Emission verringert

- es werden damit Wertstoffe produziert, für die keine fossilen Rohstoffe und Energie verwendet werden muss

- das führt zur Reduzierung von Treibhausgasen

Seambiotic (Israel)



Vorteil von Chlorophyceen zum Anlagenbetrieb z.B. Chlorella vulgaris

- Mikroalgen sind Eukaryonten, können jedoch mit mikrobiologischen Standardtechniken behandelt werden
- Sie sind nicht pathogen
- Sie sind einfach zu kultivieren, wachsen als photosynthetische oder auch als heterotrophe Organismen. In Kombination mit der einfachen Anzucht und der hohen Wachstumsrate stellen sie gut geeignete Systeme für unterschiedliche Studien dar.
- hohe Zellteilungsrate (Chlorella z.B. alle 7h , Bakterien (E. coli 30 min))



Nachteil:

- Einige coccale Algen können schnell die verschiedensten Oberflächen besiedeln und haften dort sehr gut (Chlorella vulgaris ist aber planktisch)
- Durch die geringe Größe ist ein Abernten schwierig (Filtern) oder energieaufwendig (Zentrifugation)

Probleme die es zu bewältigen gilt:



- Nicht ausreichende Effizienz in der CO₂ Elimination & Biomasseproduktion (Optimierung der Lichtnutzung, Wachstumstemperatur, Nährstoffversorgung)
- Hoher Flächenbedarf
- Saisonale Produktionsschwankungen (Winter/Sommer),
(aber Auswahl von entsprechend temperaturangepassten Arten)
- Bewuchs der Reaktoroberflächen (Biofouling, ist aber noch zu testen, wird durch Turbulenz und Strömung aber verringert)
- Hohe Kosten für den Bau der Anlagen (hochtechnisiert)
- Hoher Energieeinsatz für Ernte und Betrieb der Anlage
(besonders die Ernte der ca. 10µm großen Organismen bereitet Probleme)
- Fehlende großtechnische Verfahren; nur 1 ha Anlage in Klötze mit einer Produktionskapazität von ca. 130 t Trockenbiomasse y⁻¹

Erinnerung: Deutschlands erste Eisenbahn



Der Adler auf dem Weg von Nürnberg nach Fürth

Der “Adler” war die erste Eisenbahn in Deutschland. Die kurze Bahnstrecke von Nürnberg nach Fürth gilt rückblickend als Signal für den Aufbruch in eine ganz neue Qualität und Quantität menschlicher Mobilität.

Bürger und Politik standen den neuen und unbekannten Erfindungen recht ängstlich gegenüber:

So warnten Ärzte allen Ernstes vor Schwindsucht und Tod bei den “hohen Geschwindigkeiten” von mehr als 30 km/h.

Und was ist mit den Algen?

