

# Nährstoffrecycling und Energieproduktion mit Mikroalgen – eine Lebenszyklusanalyse

A.Weiss, A. Patyk, L. Schebek

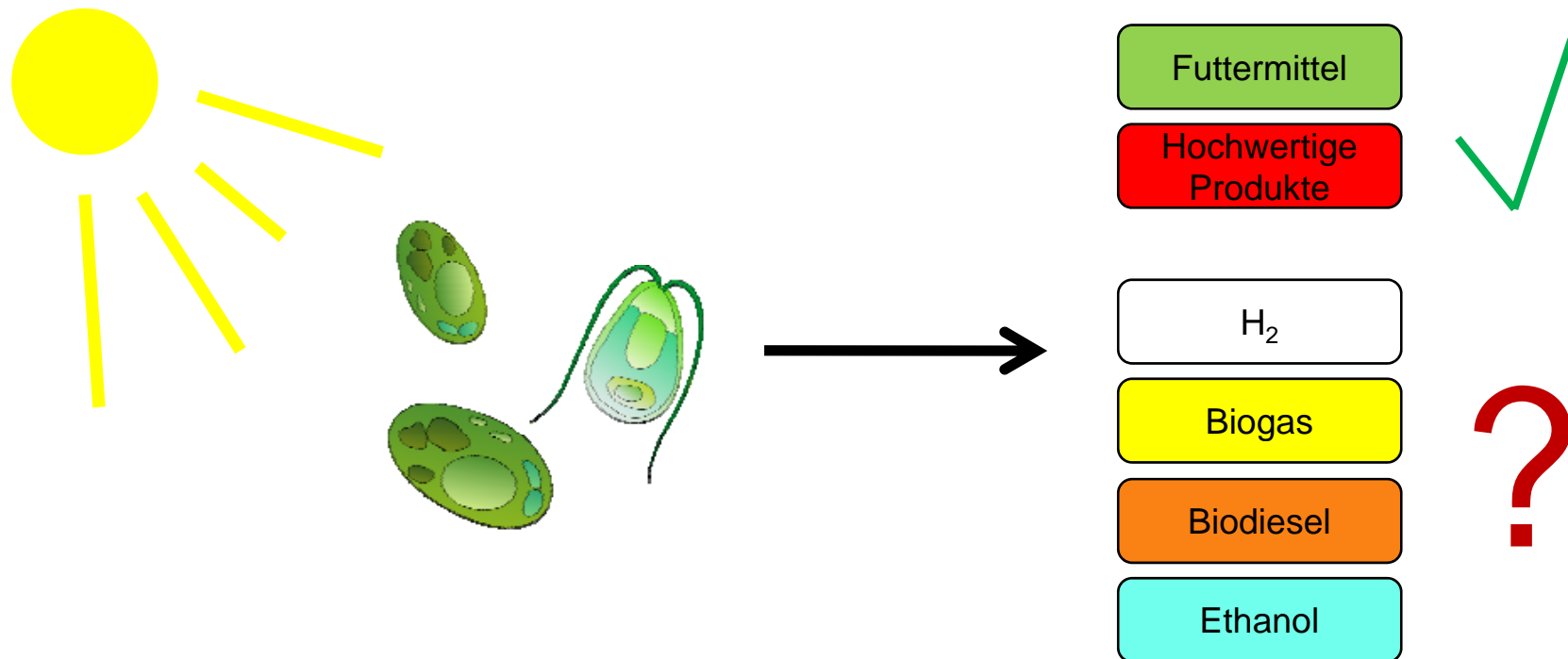
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT AND SYSTEMS ANALYSIS (ITAS)

Vortrag auf dem internationalen Symposium Re-Water  
Braunschweig, 21.11. – 22.11.2011

Wiederverwertung: Energie, Wasser und Nährstoffe

# Bioenergie-Erzeugung mit Mikroalgen

- Sonnenenergie → chemische Energie (Biomasse) durch Photosynthese



- Forschung seit den 60er Jahren (z.B. Oswald Golueke (1960): "Biological Transformation of Solar Energy"), **Boom während Ölkrise**

## Warum Mikroalgen?

- Hohe Wachstumsraten
- Die ganze Zelle kann geerntet werden, potentiell hoher Ölgehalt
- (Benötigen konzentriertes CO<sub>2</sub> zum Wachstum)
- Kultivierung in geschlossenen Systemen auf unfruchtbarem Boden
- Wachstum in Salz- oder Brauchwasser
- Gentechnisch leicht veränderbar

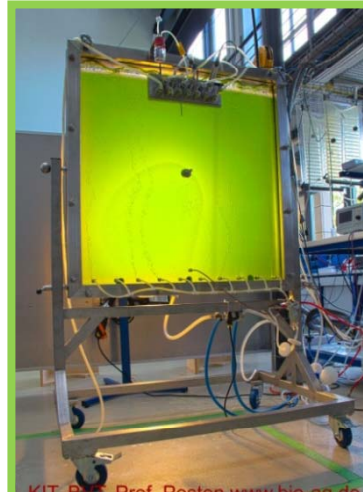
# Algen-Kultivierungssysteme

Offene Becken (ponds)



<http://www.makebiofuel.co.uk/biofuel-from-algae>

Geschlossene Photobioreaktoren



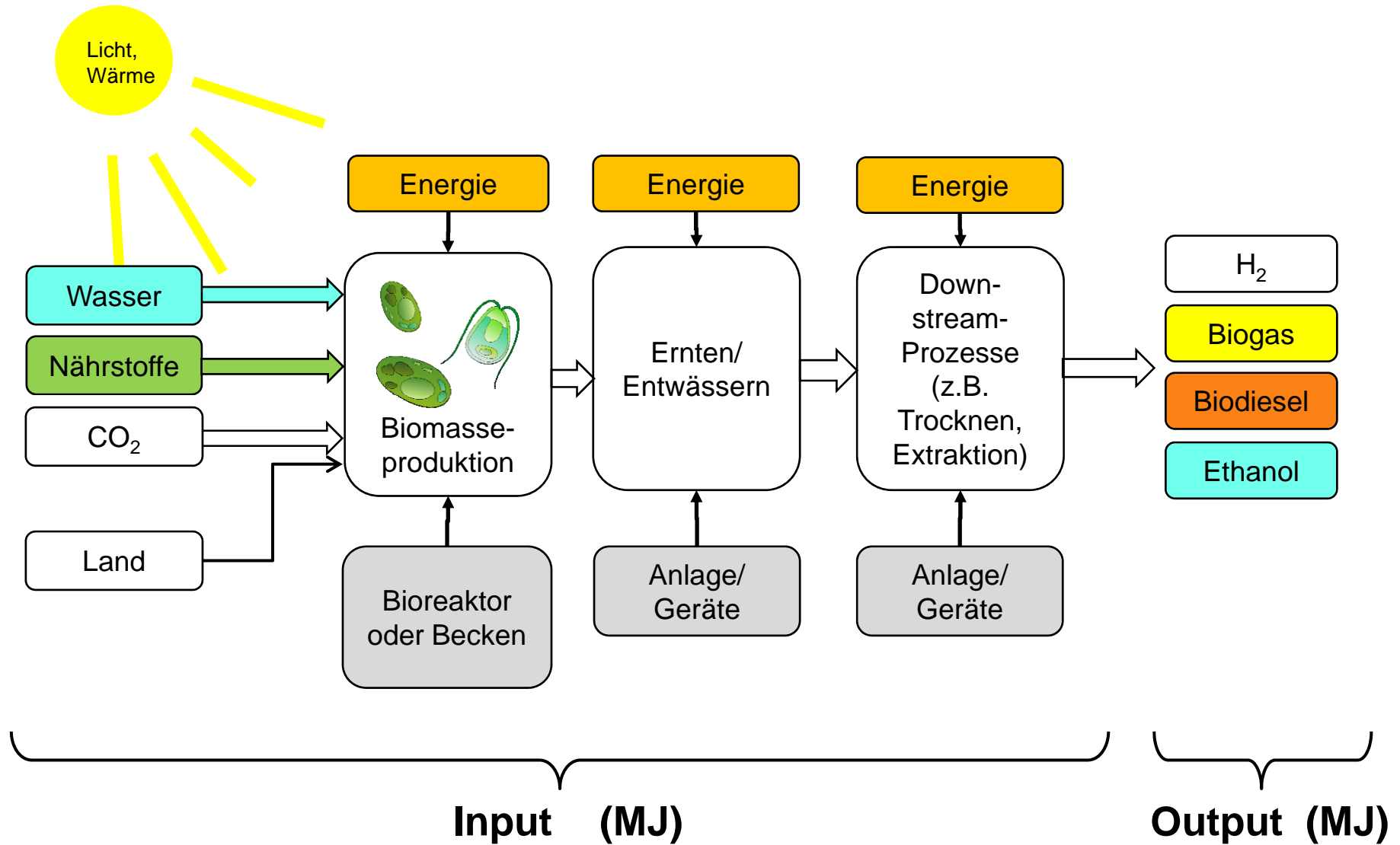
KIT, BVT, Prof. Posten [www.bio-ag.de](http://www.bio-ag.de)



KIT, BVT, Prof. Posten [www.bio-ag.de](http://www.bio-ag.de)

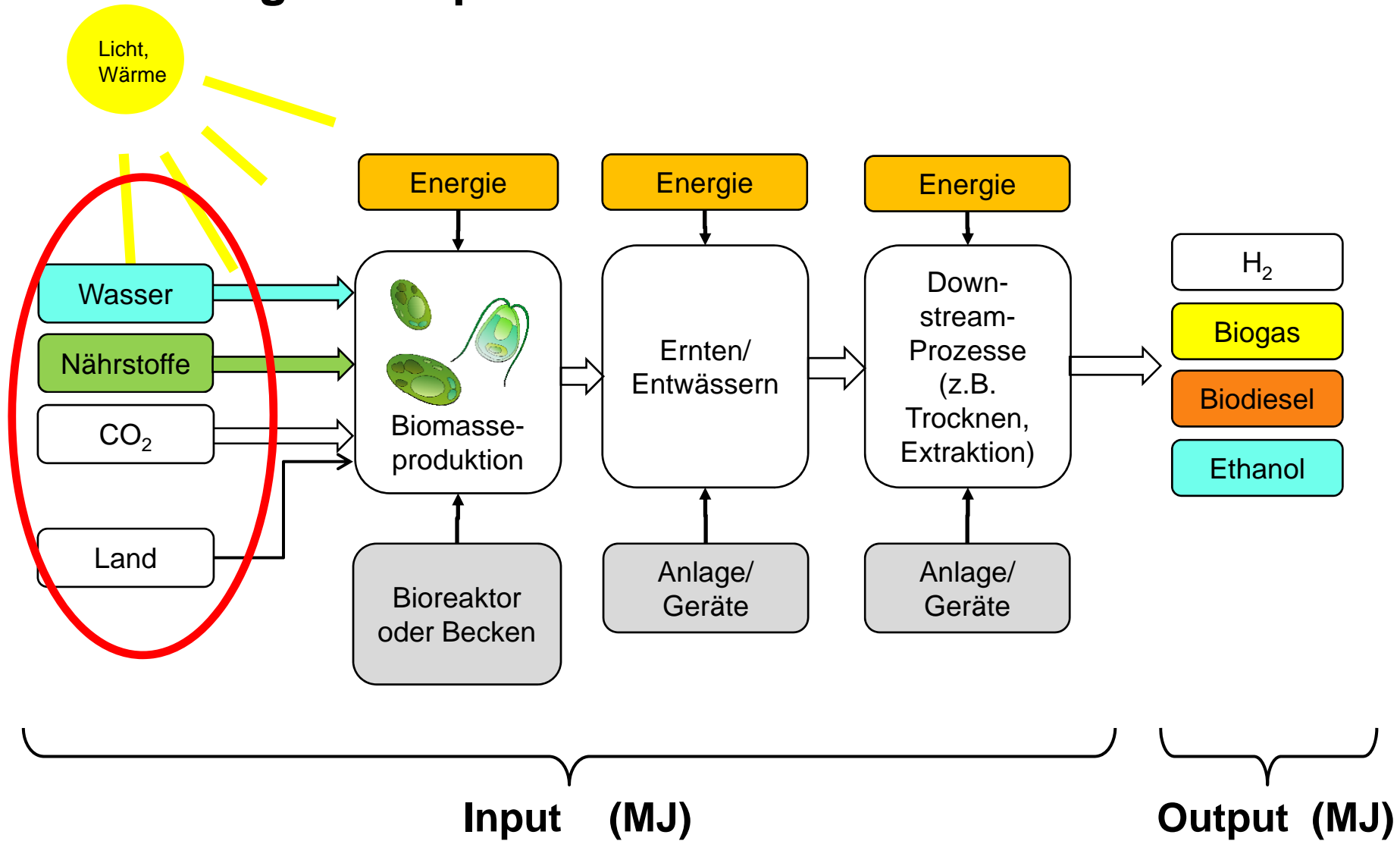
	Becken	Photobioreaktoren
Energie und Kosten zur Konstruktion	+	-
Mischenergie	+	-
Oberfläche/Volumen Verhältnis → Wachstumsrate und Produktivität	-	+
Kontrollierte Umweltbedingungen/ Kontamination	-	+

# Bioenergie-Erzeugung mit Mikroalgen – Modell



# Bioenergie-Erzeugung mit Mikroalgen

## Nachhaltigkeitsaspekte



## Nachhaltigkeitsaspekte

Rechenbeispiel (Wijffels and Barbosa 2010)

- Transportsektor in Europa: 370 Mrd Liter Diesel/Jahr  
→ Biodiesel aus Algen?
- Mit 3% Umwandlungseffizienz der Globalstrahlung:  
→ 9,25 Mio ha Flächenbedarf, ~ **Portugal**
- Algen: ~ 7% Stickstoff, ~ 1% Phosphor (w/w)  
→ ~ 25 Mio Tonnen Stickstoffbedarf  
→ ~ 4 Mio Tonnen Phosphorbedarf  
→ = **2 x** derzeit in Europa **produzierter Dünger**
- Wasser: 1,5 L/ 1 L Biodiesel (ohne Kühlung, Verdunstung, etc.)  
→ 550 Mrd L Wasser  
→ **Nährstoffrecycling/**  
→ **Abwasserreinigung?**

# Bioenergie-Erzeugung mit Mikroalgen

## Schwachstellen, energetisch (Literatur)

- **Biomasseproduktion**

“wasted energy from captured photons” (Williams and Laurens 2010)

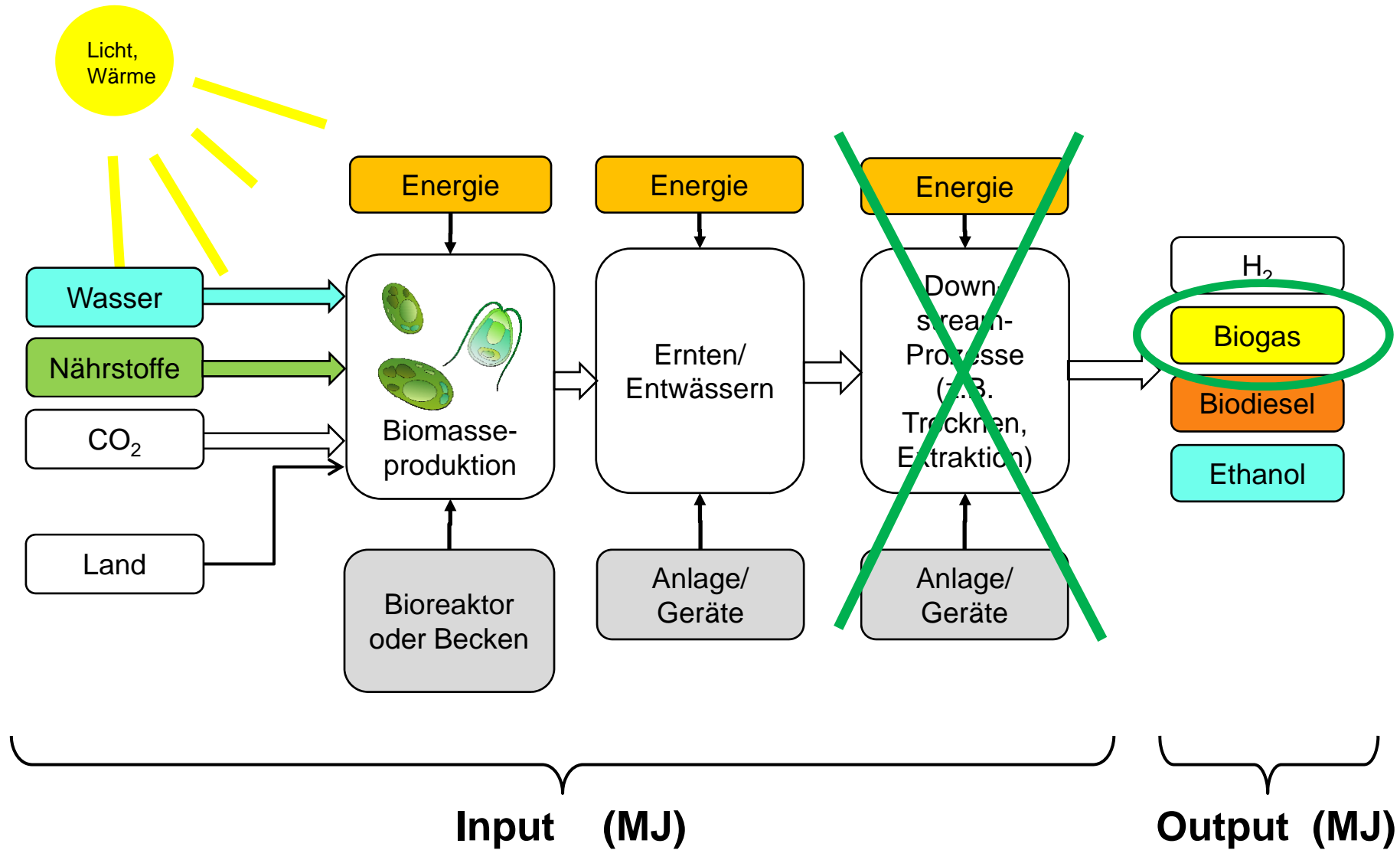
- **Reaktordesign**

”Turbulence requires high energy input and therefore is not suitable for large-scale production of biofuels from microalgae” (Wijffels and Barbosa 2010)

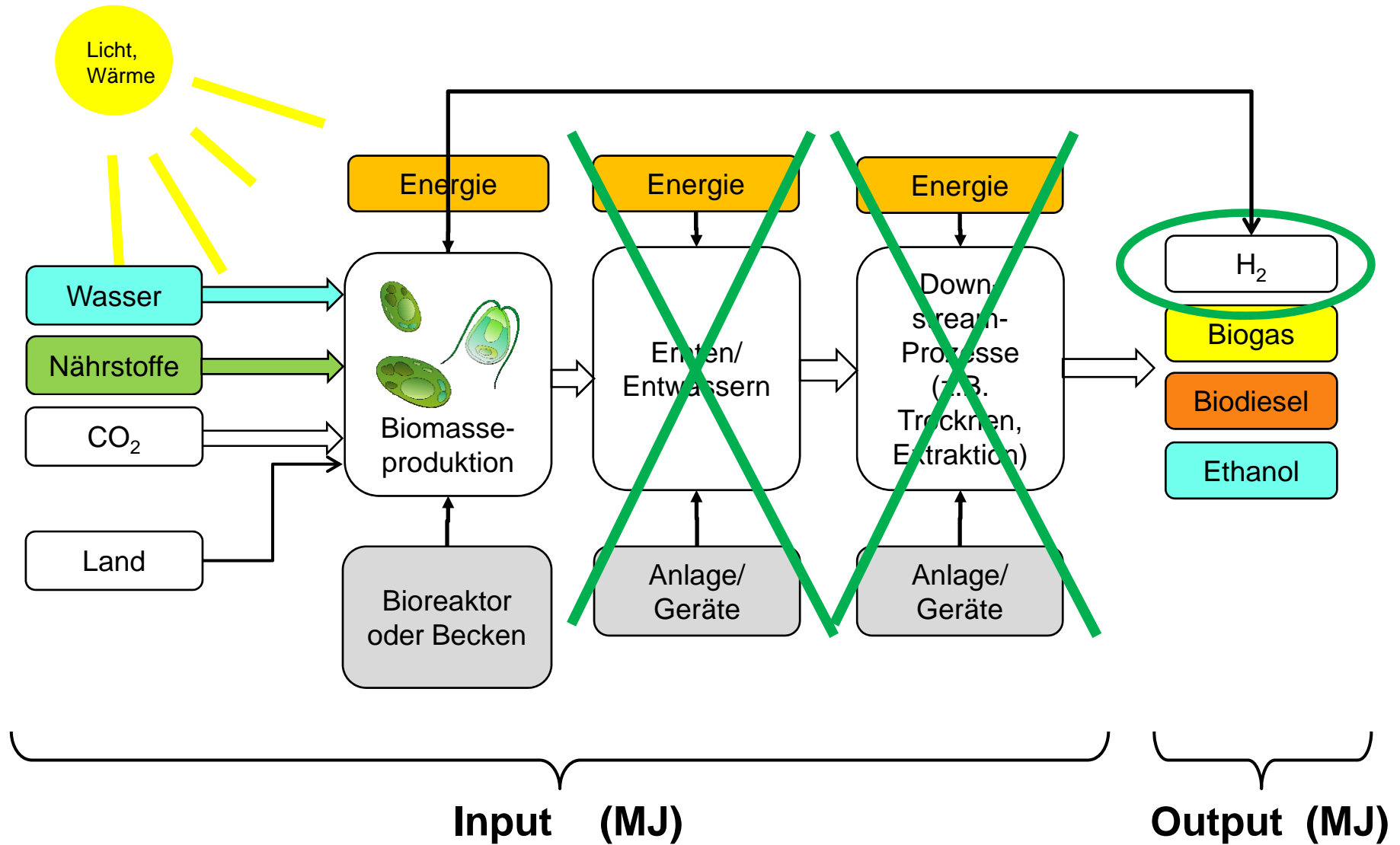
- **Downstream-Prozesse** (Ernte, Trocknung )  
(Williams and Laurens 2010)



# Bioenergie-Erzeugung mit Mikroalgen – Modell



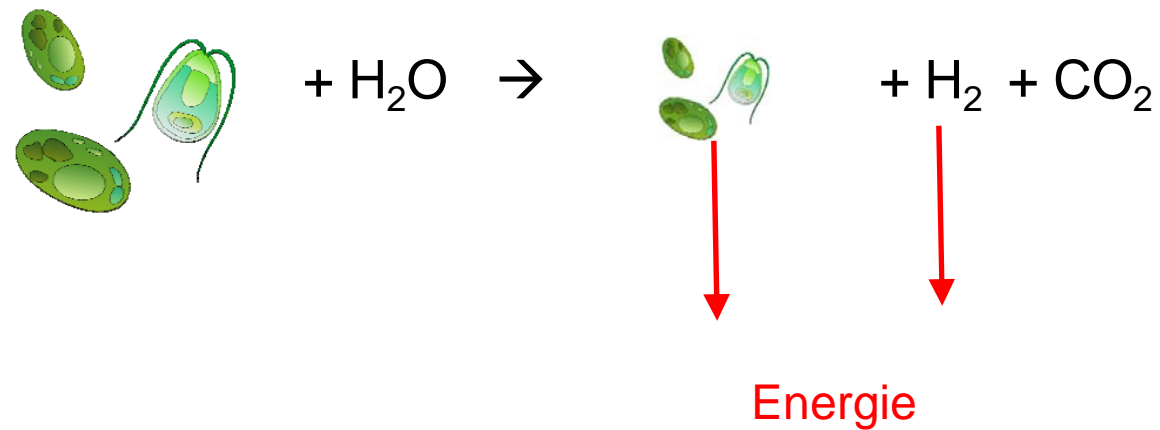
# Bioenergie-Erzeugung mit Mikroalgen – Modell



# Wasserstoff-Produktion

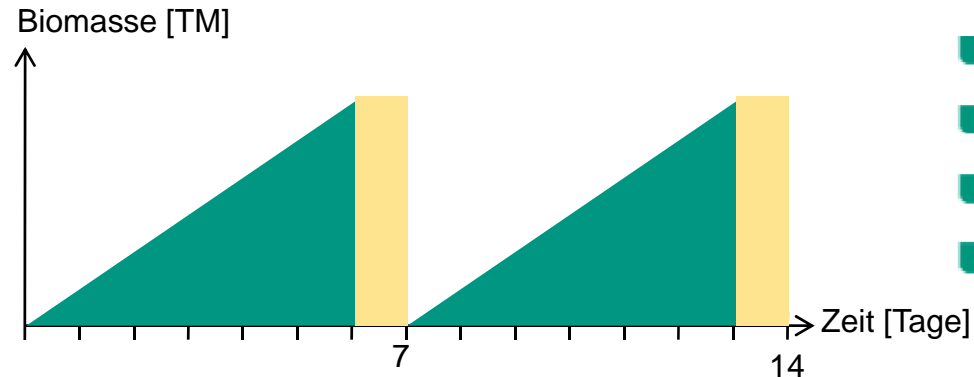
Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*

- Indirekte zweistufige Biophotolyse:



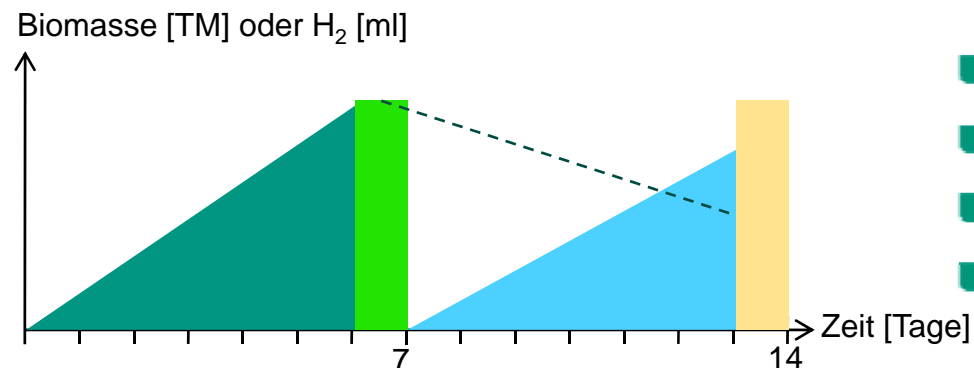
# Vergleich zweier Verfahrensweisen, Beispiel

## a) Biomasse-Produktion in 14 Tagen



- Biomasse-Produktion (6 Tage)
- Reinigung (1Tag)
- Biomasse Produktion (6 Tage)
- Reinigung (1Tag)

## b) Biomasse- und H<sub>2</sub>-produktion in 14 Tagen



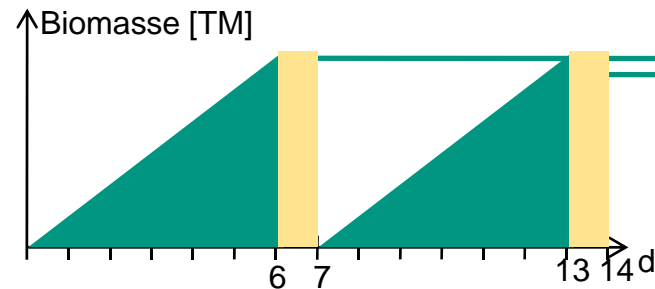
- Biomasse-Produktion (6 Tage)
- Adaption an anaerobe Bed. (1Tag)
- H<sub>2</sub>-Produktion (6 Tage)
- Reinigung (1Tag)

Wenn H<sub>2</sub> produziert wird, entsteht 1. zunächst weniger Biomasse pro Zeit und wird 2. ein Teil der Biomasse in Wasserstoff umgewandelt.

# Vergleich zweier Verfahrensweisen, Beispiel

a) Biomasseproduktion, 14 Tage

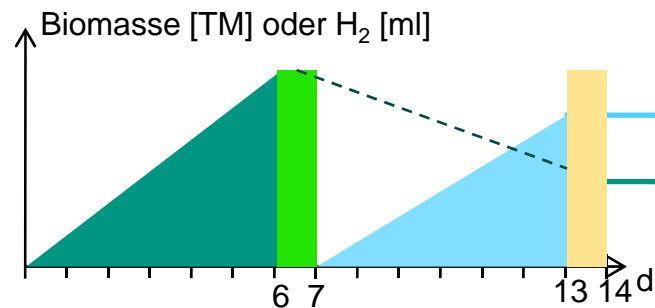
$\mu = 0.03 \text{ h}^{-1}$ , Anfangskonz. = 0.1 g Biomasse/L



6g Biomasse/L \* 2 Durchläufe  
= 12 g Biomasse/L

→ Umwandlung in Biogas → **~0.20 MJ**

b) Biomasse- und H<sub>2</sub>-Produktion, 14 Tage



6 g Biomasse/L \* 2 ml H<sub>2</sub> /g Biomasse/h  
aus H<sub>2</sub> → ~0.01 MJ

3g Biomasse/L übrig

→ Umwandlung in Biogas → ~0.05 MJ

**→ ~0.06 MJ**

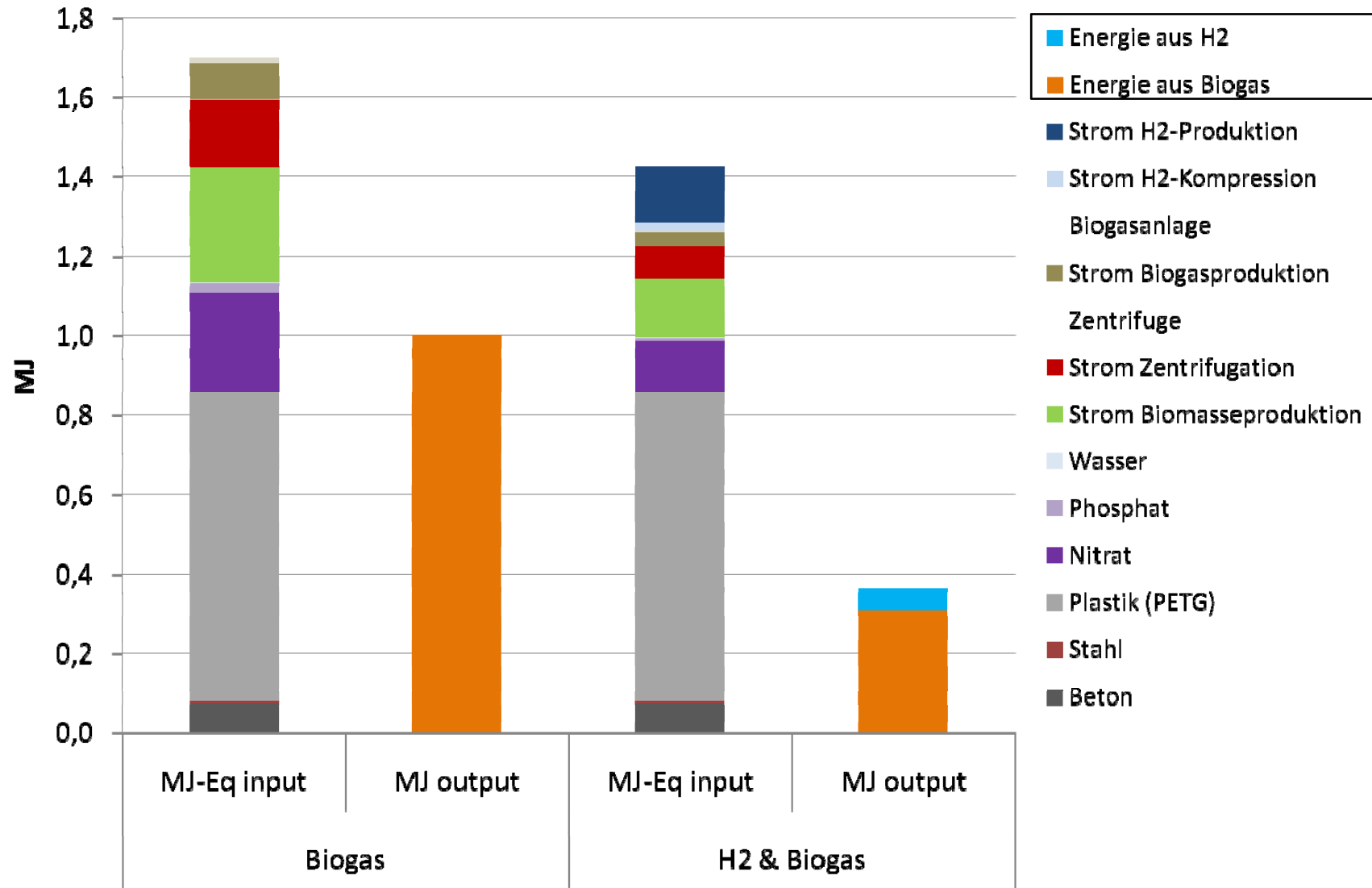
Die H<sub>2</sub>-Produktion müsste erheblich steigen, um mit dem Energieertrag aus der Biogasproduktion konkurrieren zu können.

## Daten für die Energiebilanz eines Photobioreaktors mit *C. reinhardtii*

	Biogas	H <sub>2</sub> & Biogas
Durchläufe im Jahr	36	18
Gesamtlaufzeit pro Jahr	252 Tage	
Reaktorvolumen	25 L m <sup>-2</sup>	
Mischenergie Photobioreaktor	30 W m <sup>-3</sup>	
Lebensdauer Photobioreaktor	10 Jahre	

Daten für Hilfs- und Betriebsstoffe: Datenbank ecoinvent

# Energiebilanz Photobioreaktor



## Ergebnisse der Energiebilanz

- Mit **Biogasproduktion** erhält man mit den vorliegenden Daten einen höheren Energieertrag als mit Wasserstoff- und Biogasproduktion.
- **Materialbedarf** und **Mischenergie** des Bioreaktors haben den größten Anteil am Energieinput, gefolgt von den **Nährstoffen**.
- Um Energie aus Algen zu gewinnen, muss man sowohl die Algenstämme, als auch die Technologie **maßgeblich weiterentwickeln**.
- Beim derzeitigen Stand der Technik müssen **zusätzlich Produkte aus Algen** gewonnen werden (“Gutschriften”).

→ **Nährstoffrecycling** und/oder Abwasserreinigung?  
Produkt “sauberes Wasser”



# Nährstoffrecycling

## a) Direktrecycling im Prozess

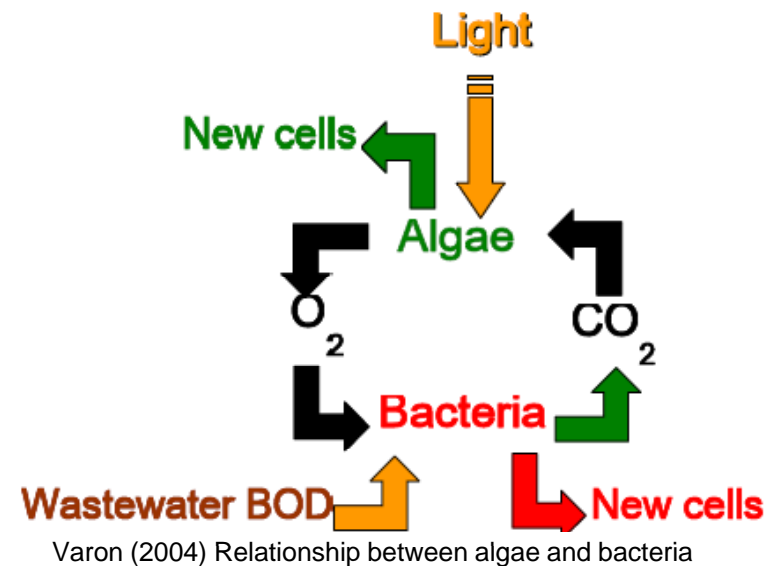
- Je nach Prozessführung bis zu 85% (P) oder 71% (N) Recycling möglich, Höchste Verluste: Ausgasung von Ammoniak (N), Unvollständige Verarbeitung der Biomasse (P) (Wegerer, 2010)
- Technologie zur Reinigung des Kulturmediums/Energieaufwand?

## b) Nährstoffrecycling durch Nutzen von Abwasser:

- Papierfabrik, Pulp
- Kommunale Abwässer
  - Größte Mengen
- Viehzucht
  - N und P Gehalte hoch, Verdünnung nötig, es fehlen andere Spurenelemente
- Fischzucht, Aquakulturen

# Nährstoffrecycling durch Abwasserreinigung

## ■ Synergie:



## ■ Unterschiedliche Ziele

- Abwasserreinigung: Entfernung Pathogene
- Energieerzeugung: Maximieren der Biomasse

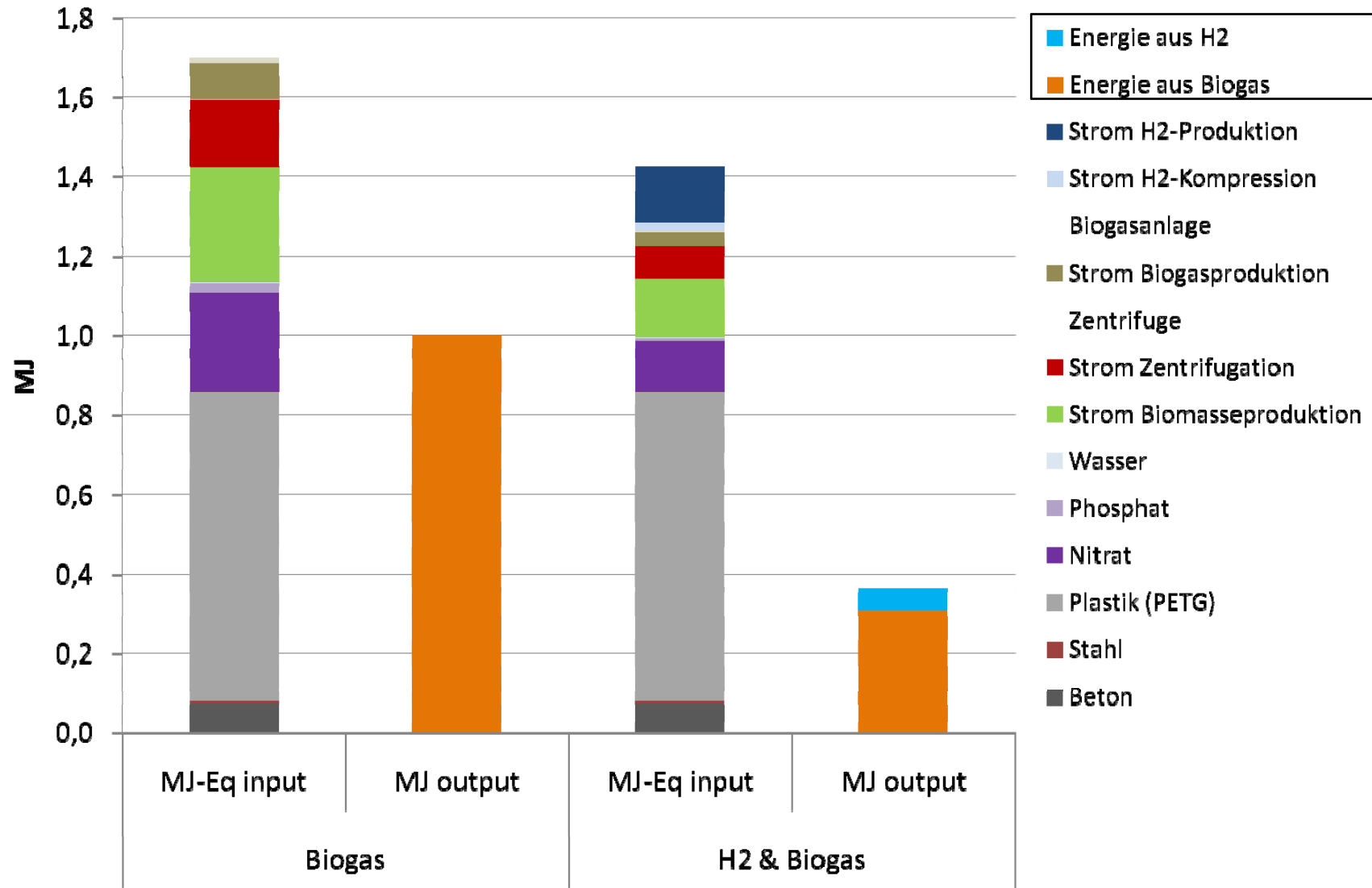
# Nährstoffrecycling durch Abwasserreinigung

## Mögliche Probleme

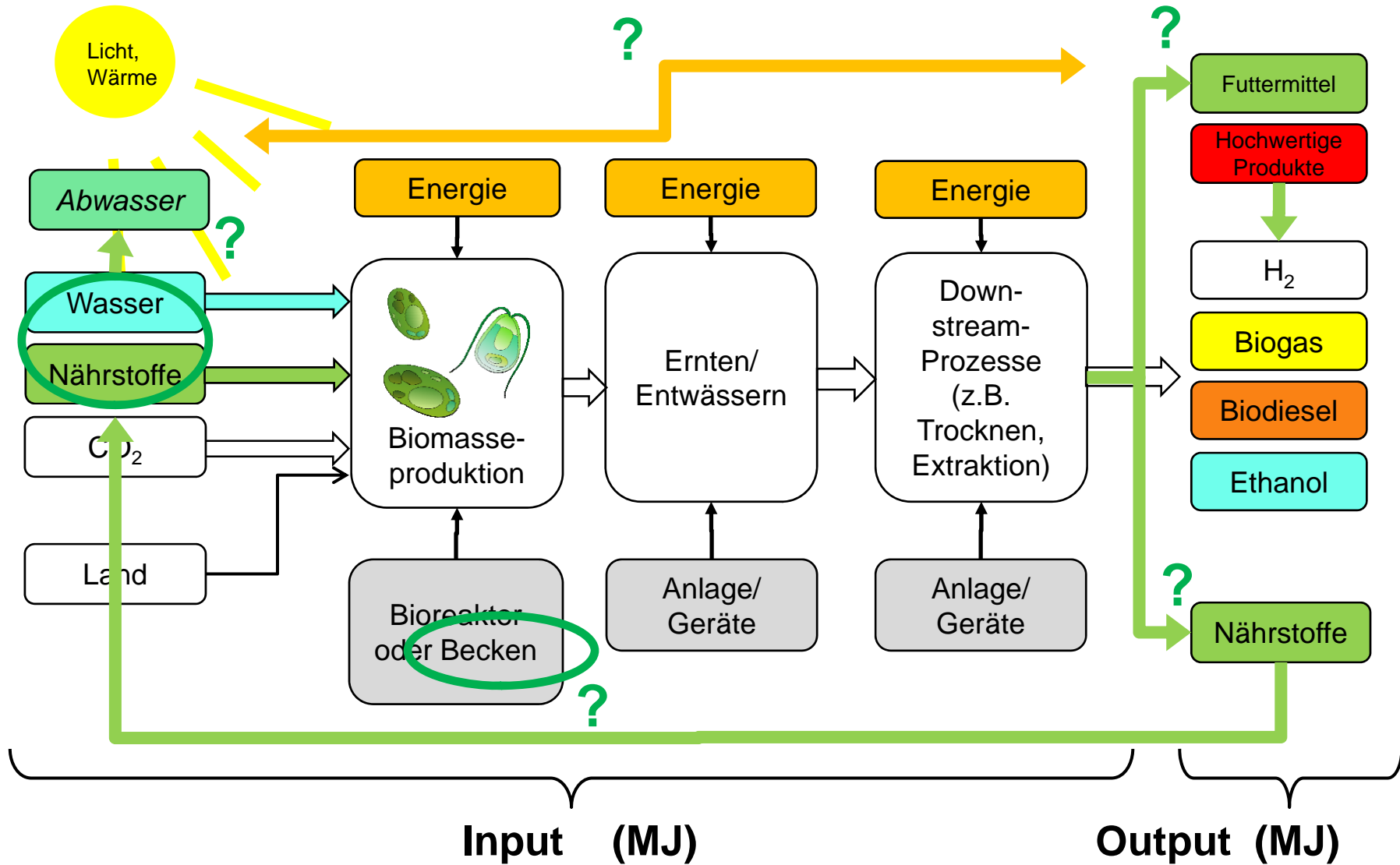
- Pathogene (Pilze, Viren, Bakterien)
- Fressfeinde (Protozoen,...)
- Variierende Nährstoffkonzentrationen
- Schwermetalle
- Trübung
  - Vermindertes Wachstum?
  - Abwägung Aufwand/Nutzen durch LCA?
  
- Verfügbarkeit/Nutzungskonkurrenz?
- Kosten?
- Akzeptanzproblem Produkte aus Abwässern?



# Energiebilanz Photobioreaktor



# Ausblick



# Projekteinbindung

- “Wasserstoff aus Mikroalgen – mit Zell- und Reaktordesign zu einer ökonomischen Produktion” (HydroMicPro)  
Gefördert vom BMBF, Rahmenprogramm Grundlagenforschung  
Energie 2020+

SPONSORED BY THE



Federal Ministry  
of Education  
and Research

- “Energetic Algae” Programm in Nord-West-Europa,  
Gefördert von der Europäischen Union  
[www.enalgae.eu](http://www.enalgae.eu)



# Literatur

- Williams, P.J.B. and L.M.L. Laurens (2010), Microalgae as biodiesel & biomass feedstocks: Review & analysis of the biochemistry, energetics & economics. *Energy & Environmental Science*, Vol. 3, No. 5, pp. 554-590.
- Wijffels, R.H. and M.J. Barbosa (2010), An Outlook on Microalgal Biofuels. *Science*, Vol. 329, No. 5993, pp. 796-799.
- Varón, M.P. and D. Mara, Waste Stabilisation Ponds, I.I.W.a.S. Centre, Editor.
- Wegerer, N. (2010), Nitrogen and Phosphorus Balancing for Biodiesel from Microalgae and Identification of secondary Nutrient Sources: Diplomarbeit.
- Pittman, J.K., A.P. Dean, and O. Osundeko (2011), The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources: Special Issue: Biofuels - II: Algal Biofuels and Microbial Fuel Cells. *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 1, pp. 17-25.
- Oswald, William J.; Golueke, Claence G. (1960): Biological Transformation of Solar Energy. In: Wayne W. Umbreit (Hg.): *Advances in Applied Microbiology*: Academic Press, Volume 2, S. 223–262.
- Morweiser, M., Kruse, O., Hankamer, B., Posten, C. (2010): Developments and perspectives of photobioreactors for biofuel production. In: *Applied Microbiology and Biotechnology*, Jg. 87, H. 4, S. 1291–1301.

## Vergleich verschiedener LCAs zu Energie aus Mikroalgen:

- Xu, D. Slade R. Bauen A. (2011): Lifecycle assessment and environmental assessment. Deliverables 3.3 and 3.5 of the proposal: Algae and aquatic biomass for a sustainable production of 2nd generation biofuels (AquaFUELS). Cooperation, Theme 5 Energy  
[http://www.aquafuels.eu/attachments/076\\_08%20-%20R.Slade%20-%20LCA,%20environmental%20&%20economic%20assessment.pdf](http://www.aquafuels.eu/attachments/076_08%20-%20R.Slade%20-%20LCA,%20environmental%20&%20economic%20assessment.pdf)