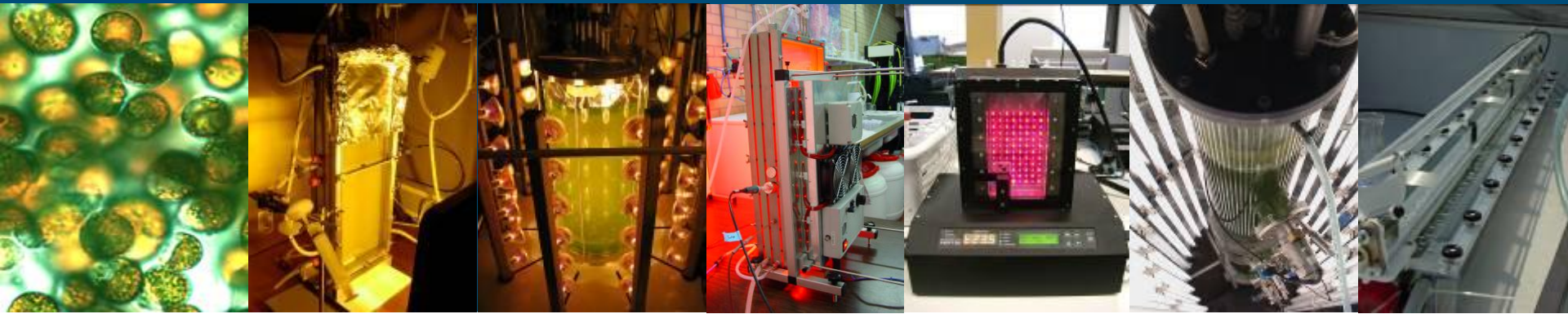


Technasium opdracht:

De algenreactor

Packo Lamers

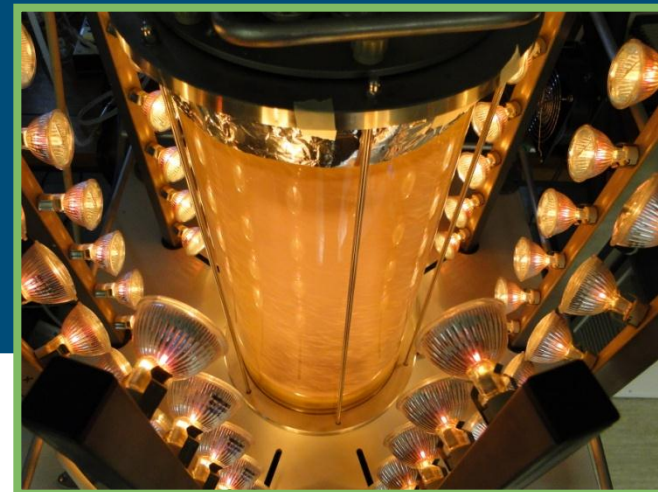
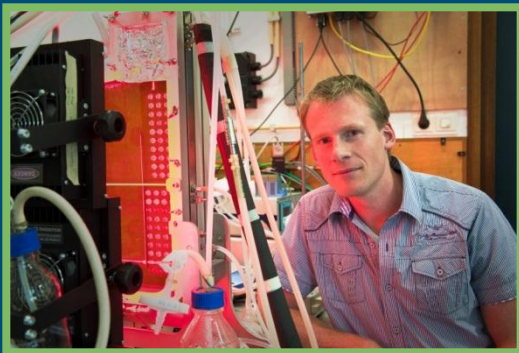
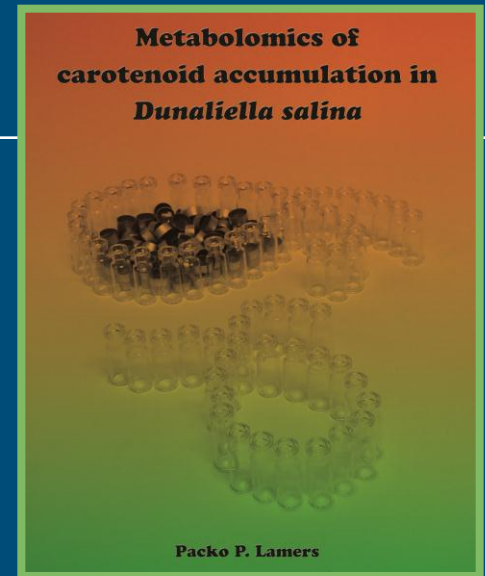
5 November 2012



AGROTECHNOLOGY &
FOOD SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

Even voorstellen:

- VWO in Veenendaal (CLV)
- Toen naar Wageningen:
 - *5 jr Studie Bio(proces)technologie*
 - *4 jr Promotieonderzoek (pigmentproductie met algen)*
 - *2 jr PostDoc (algen)*
 - *Nu Universitair Docent Biotechnologie (algen)*



Programma:

- 13.15 – 14.00 Opdracht & openingslezing
- 14.00 – 15.30 KCC -> AlgaePARC
Candea, Merlet, Rythovius -> Brainstorm (P635)
- 15.30 – 16.30 v.v.

Technasium opdracht:

■ Achtergrond

- Algen-practicum voor middelbare scholen
- Kweekstelsel nodig waarin algen snel groeien

■ Opdracht

- Ontwerp, bouw en test een fotobioreactor

■ Randvoorwaarden

- Zo goedkoop mogelijk
- Op school
- Algenproductie in 1 week
- Veilig



Technasium opdracht:

- Start
 - Plan van aanpak
- Afronding
 - Presentatie van ontwerp
 - Evaluatie door 'algenieurs' uit Wageningen
 - Beste ontwerp wint prijs
- Extra info
 - Bij begeleiders van school
 - Goed opletten vandaag ;-)



De toekomst...een 'biobased economy'?



- Wat is dat precies?

5%

- 80% positief over biobased economy
- 40% overweegt carrière / opleiding

De wereld groeit...

World population development

Billio

MTOE

10

10,000

8

8,000

6

6,000

4

4,000

3

3,000

2

2,000

1

1,000

0

0

17

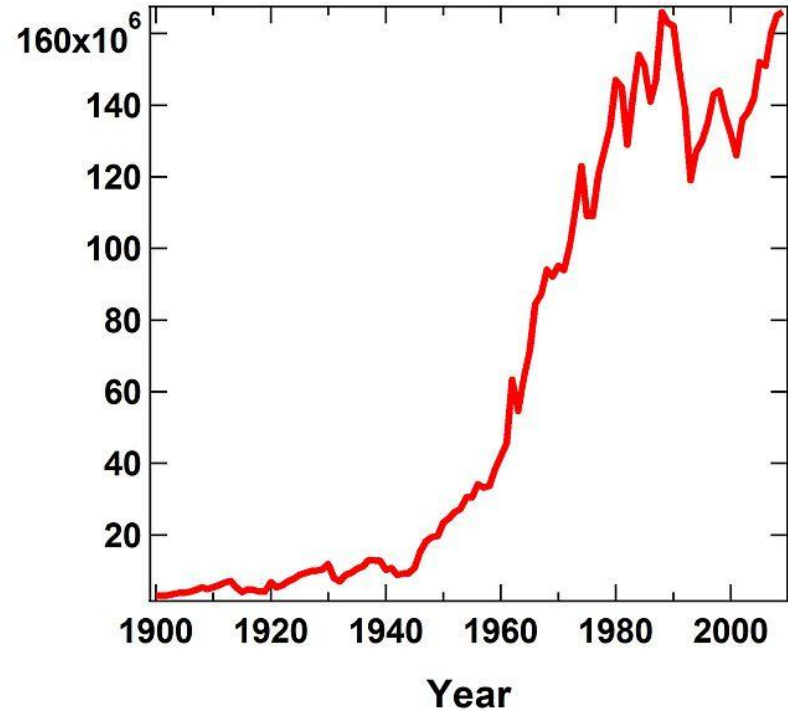
17,000

1860

Oil Palm in Malaysia and Indonesia production and exports. 1964-2006



World Phosphate Rock Production (metric tonne)



Natuurlijke grondstoffen zullen opraken



- Niet vandaag, of morgen...
...maar het gaat wel gebeuren

Oplossing?

■ Gebruik maken van hernieuwbare bronnen:

- Zon
- Water
- Wind



Elektriciteit alleen is niet genoeg

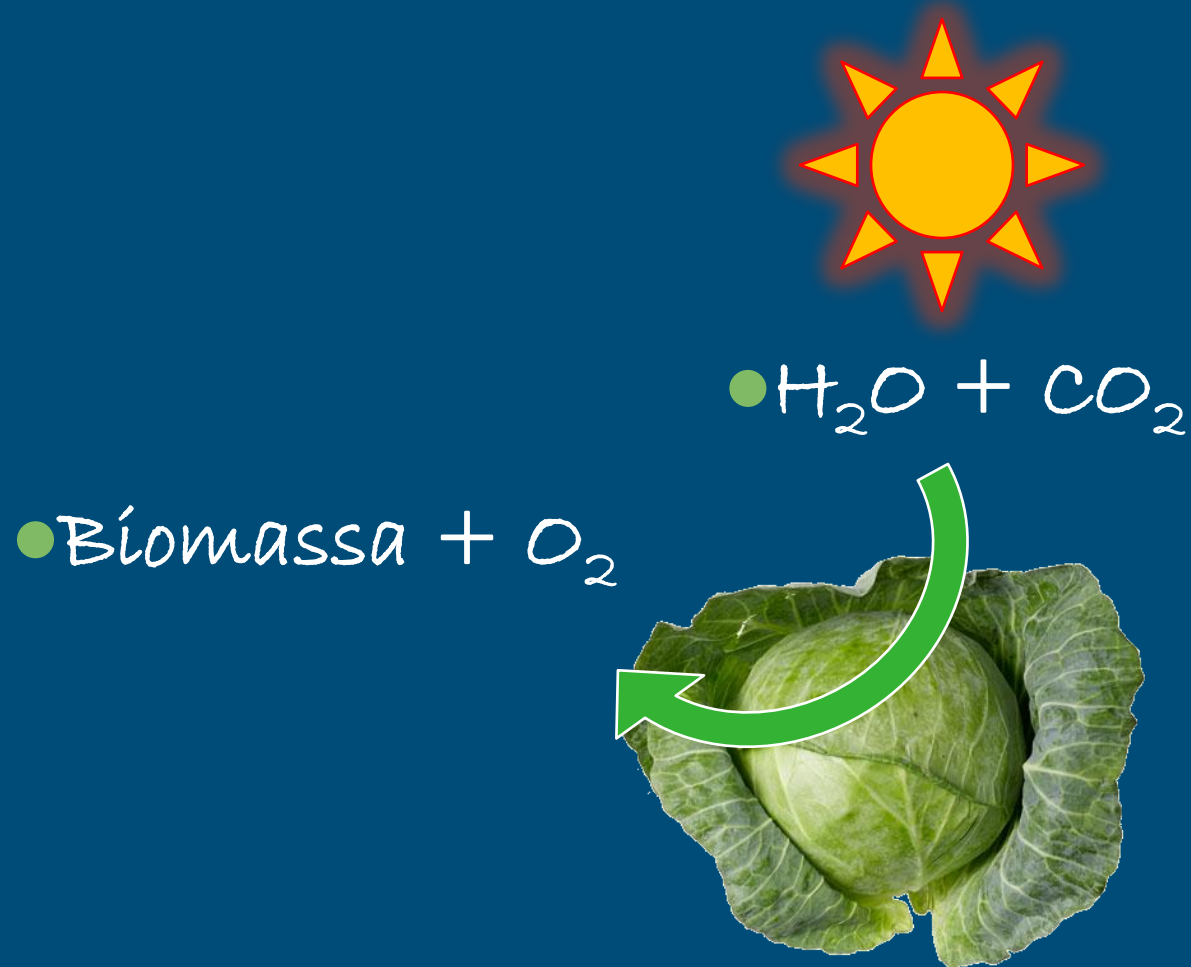


De biobased economy

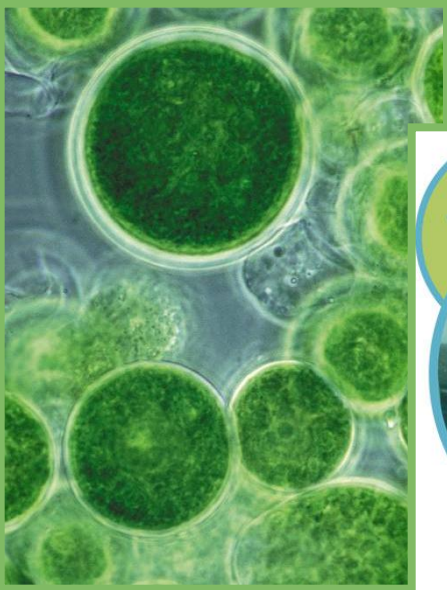
- Productie van
 - brandstoffen
 - humane en dierlijke voeding
 - bulk- en fijnchemicaliën
- waarbij gebruikt wordt gemaakt van
 - hernieuwbare grondstoffen
 - afvalstromen
 - biologische productie processen



Essentieel proces: fotosynthese



Microalgen vs. planten



vs.

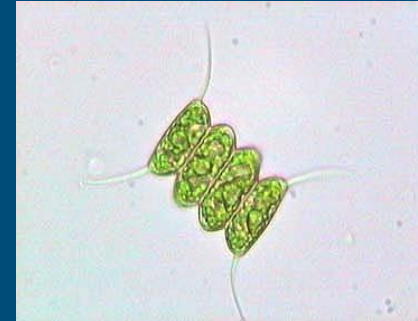


Wat zijn microalgen?

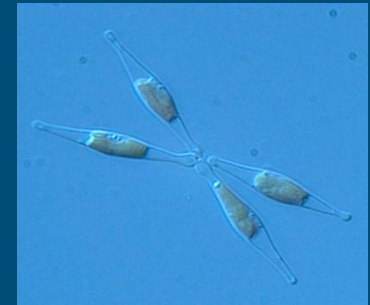
- Primitief plantaardig organisme
- ~0.001 – 0.1 mm groot
- Zout en zoutwater
- Fotoautotroof
- ≈ 80.000 soorten
 - Groene algen
 - Chromista
 - Diatomeeën
 - Bruine algen
 - Macro algen
 - Rode algen
 - Euglenophyta



● *Spirulina*



● *Scenedesmus*



● *Phaeodactylum*

Microalgen en hun producten

- Visvoer
- Biopolymeren
- Fijnchemicaliën (DHA, EPA)
- Functionele eiwitten
- Medicijnen
- Kleurstoffen
- Bemesting
- Olie



Waarom microalgen?

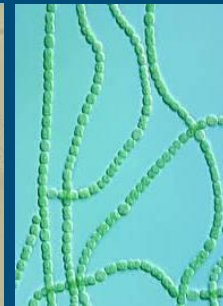
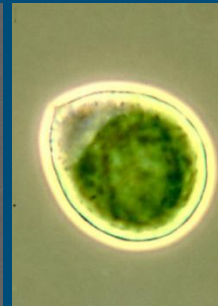
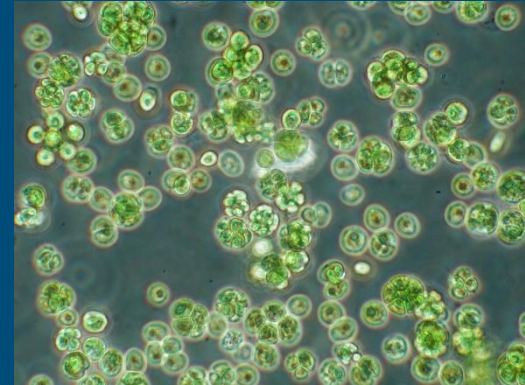
Feedstock	Oil Productivities L / ha /year
Corn	172
Soybeans	446
Sunflower	386
Rapeseed	1 250
Oil palm	5 950
Jatropha	1 892
Microalgae	
PE 3%; 30% lipids; NL	12 300
PE 3% ; 30% lipids; Bonaire	25 800
PE 6% ; 30% lipids; Bonaire	52 000

Hier zijn we

Potentie

Nog meer redenen:

- Hoge productiviteit per oppervlakte
- Groeit op zeewater
- Geen landbouwgrond nodig
- Minder water nodig
- Grote variëteit in soorten → en dus producten
- Olie ophoping to zeer hoge concentratie
- Stofwisseling is stuurbaar richting gewenst product
- Recyclen van nutriënten (N & P)
- CO₂ mitigatie



Van vakmanschap naar een industrieel proces...

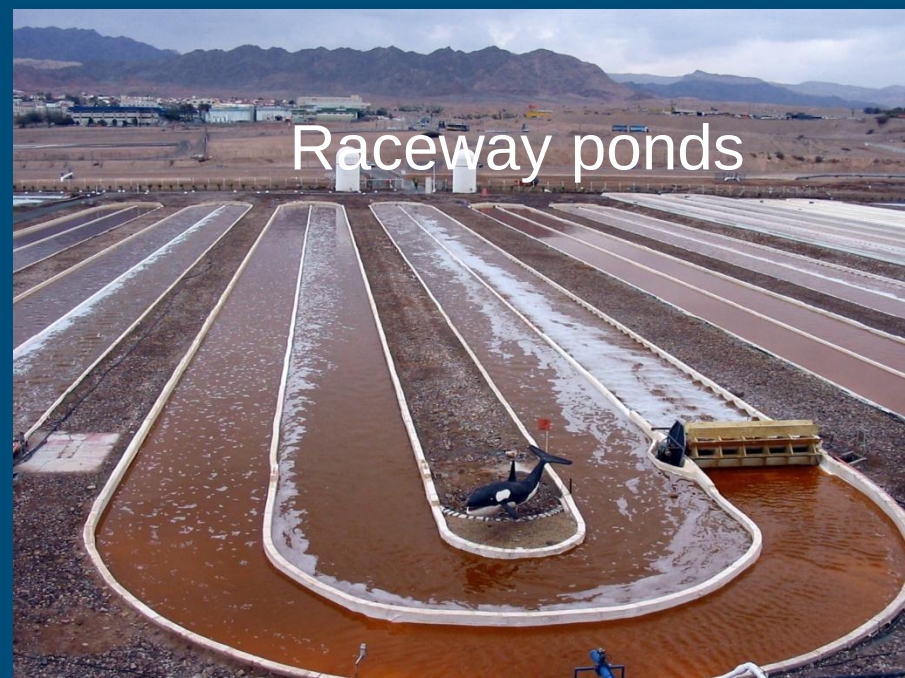
- Huidige globale microalgen productie: ~5000 ton droge biomassa
- Hoogwaardige producten: pigmenten en ω -3 vetzuren
- Markt volume €1.25 miljard (gem. marktprijs €250/kg droge biomassa)
- Globale productie van palmolie ~40 miljoen ton; marktprijs van ~0.50 €/kg



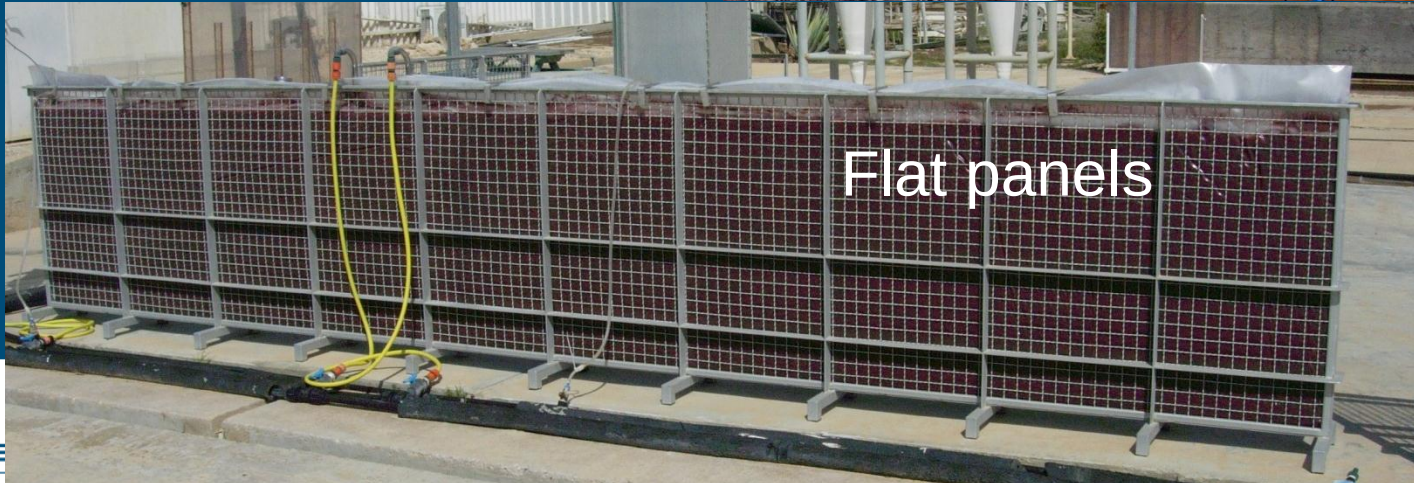
Studie economische haalbaarheid



Horizontal tubes



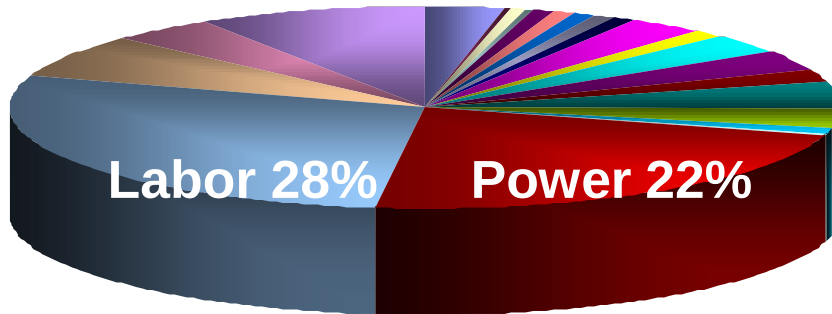
Raceway ponds



Flat panels

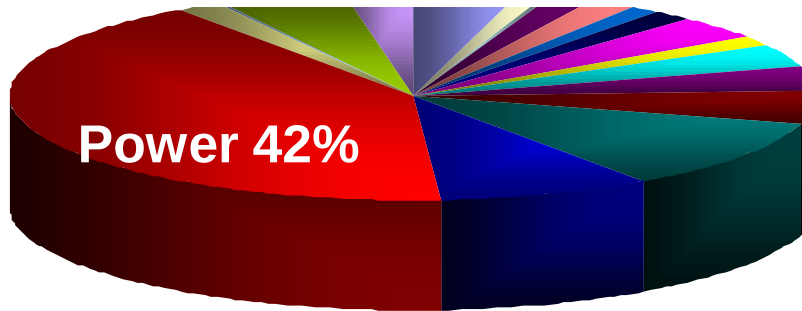
Biomassa productiekosten (buizenreactor)

1 ha



9.90 € / kg biomass

100 ha



4.16 € / kg biomass

potentie

- Centrifuge westfalia separator AG
- Medium Feed pump
- Seawater pump station
- Installations costs
- Buildings
- Carbon dioxide
- Maintenance
- Centrifuge Feed Pump
- Medium preparation tank
- Automatic Weighing Station with Silos
- Instrumentation and control
- Polyethylene tubes Photobioreactor
- Media Filters
- Harvest broth storage tank
- Culture circulation pump
- Piping
- Culture medium
- Air filters
- Payroll charges
- General plant overheads

0.70 € / kg biomass
25.8 €/GJ

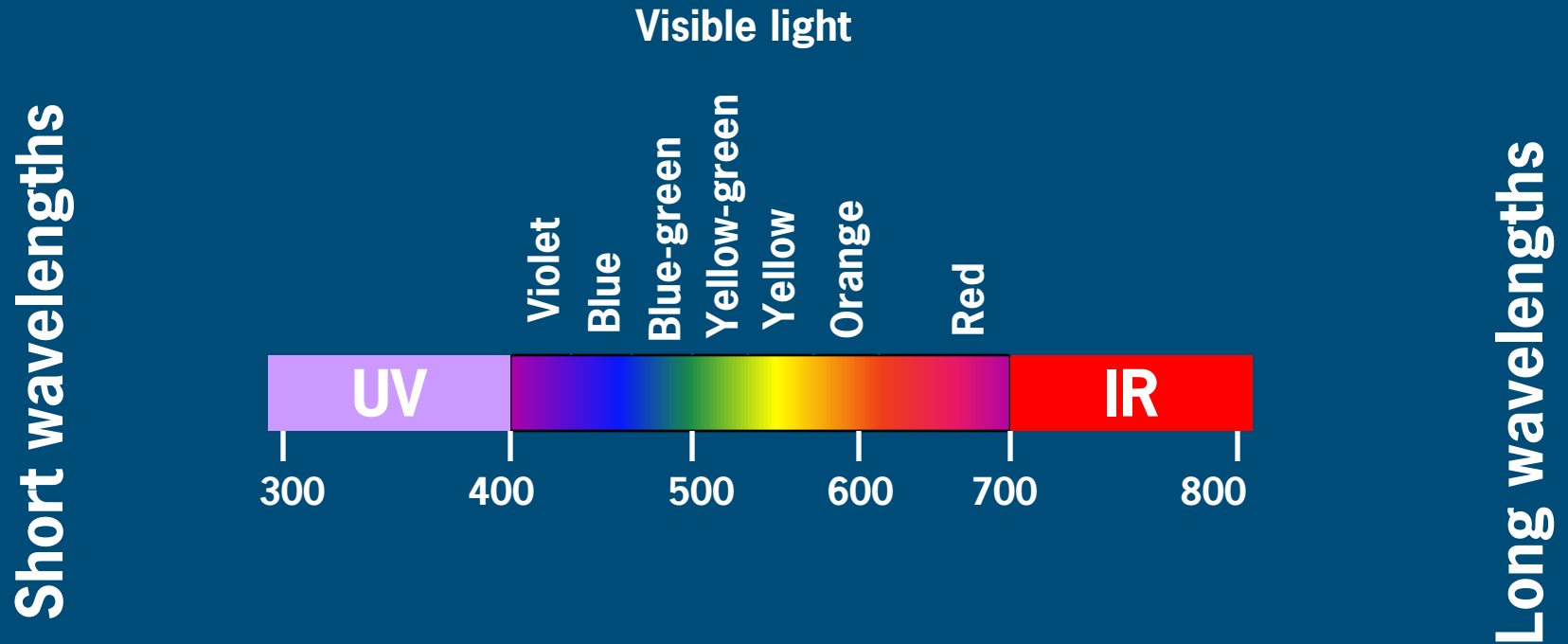
Conclusie: economische haalbaarheidstudie

- Energieverbruik is bottleneck in fotobioreactoren
- Gevoeligheidsanalyse: biomassa productiekosten van 4.16 naar 0.70 €/kg is mogelijk
- Positieve energy balance wordt nog niet bereikt
- Verbeterpunten
 - Locatie
 - CO₂ en mest uit afvalstromen
 - Bioraffinage
 - Photosynthese efficiency verbeteren
 - reactor ontwerp
 - kweekcondities
 - stammenverbetering en stammenselectie
 - Minder energie voor menging

Belangrijke uitdagingen voor jullie ontwerp!

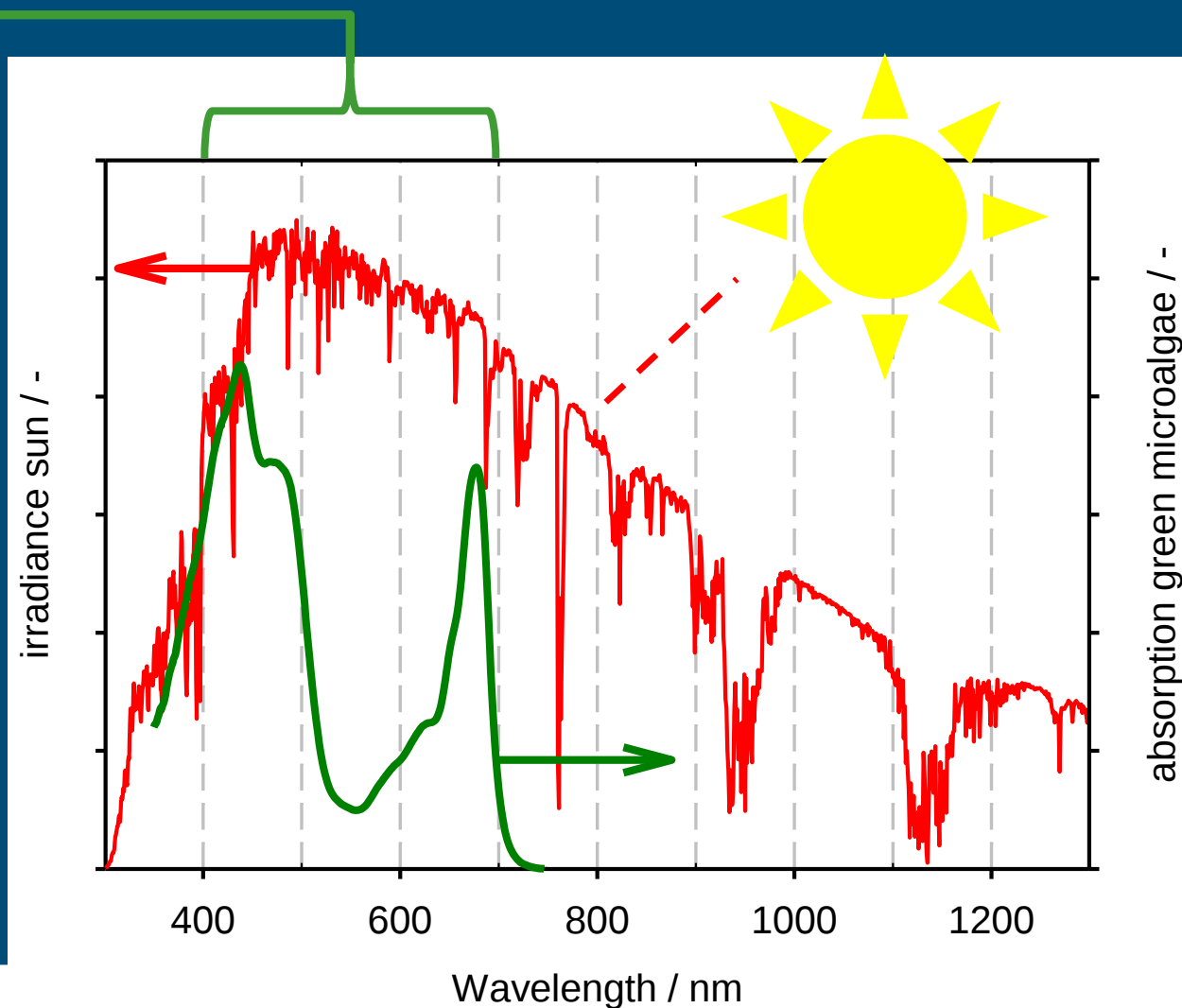
- Licht
- Temperatuur
- pH
- CO₂
- Overige nutriënten
- Menging
- Kosten

What is light ?

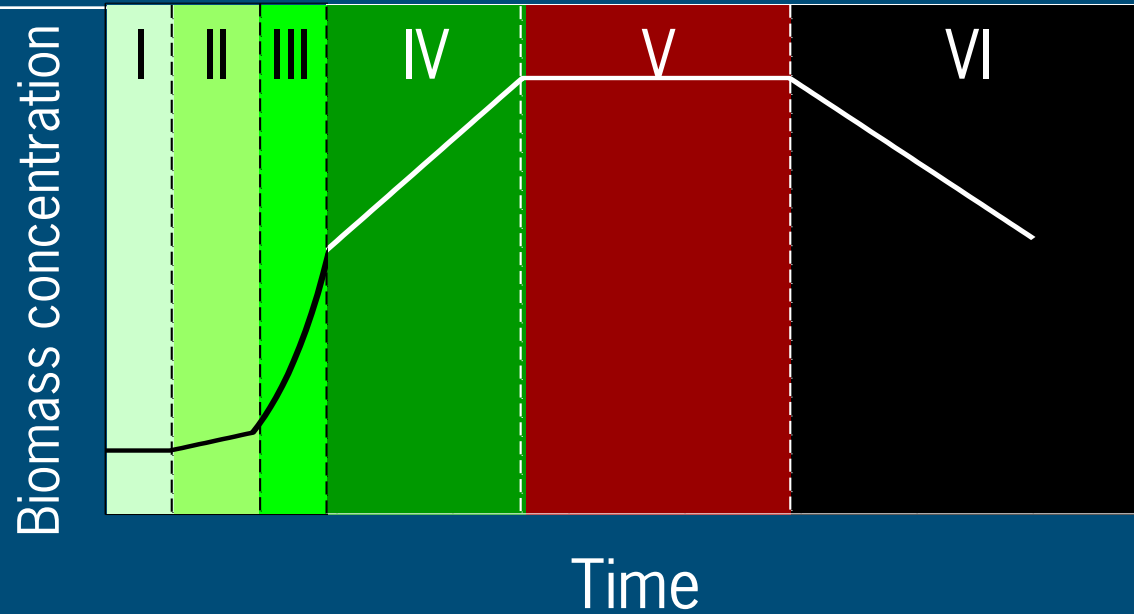


Light and photosynthesis

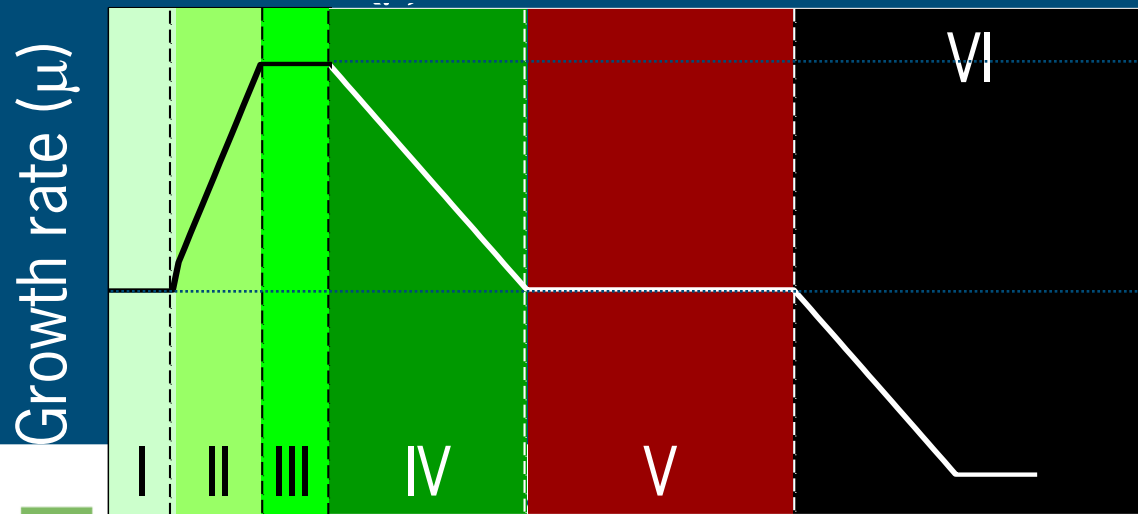
- PAR:
Photosynthetic
active radiation
- 400 – 700 nm



Different growth phases



I	: Lag phase
II	: Acceleration
III	: Exponential
IV	: Linear
V	: Stationary
VI	: Death

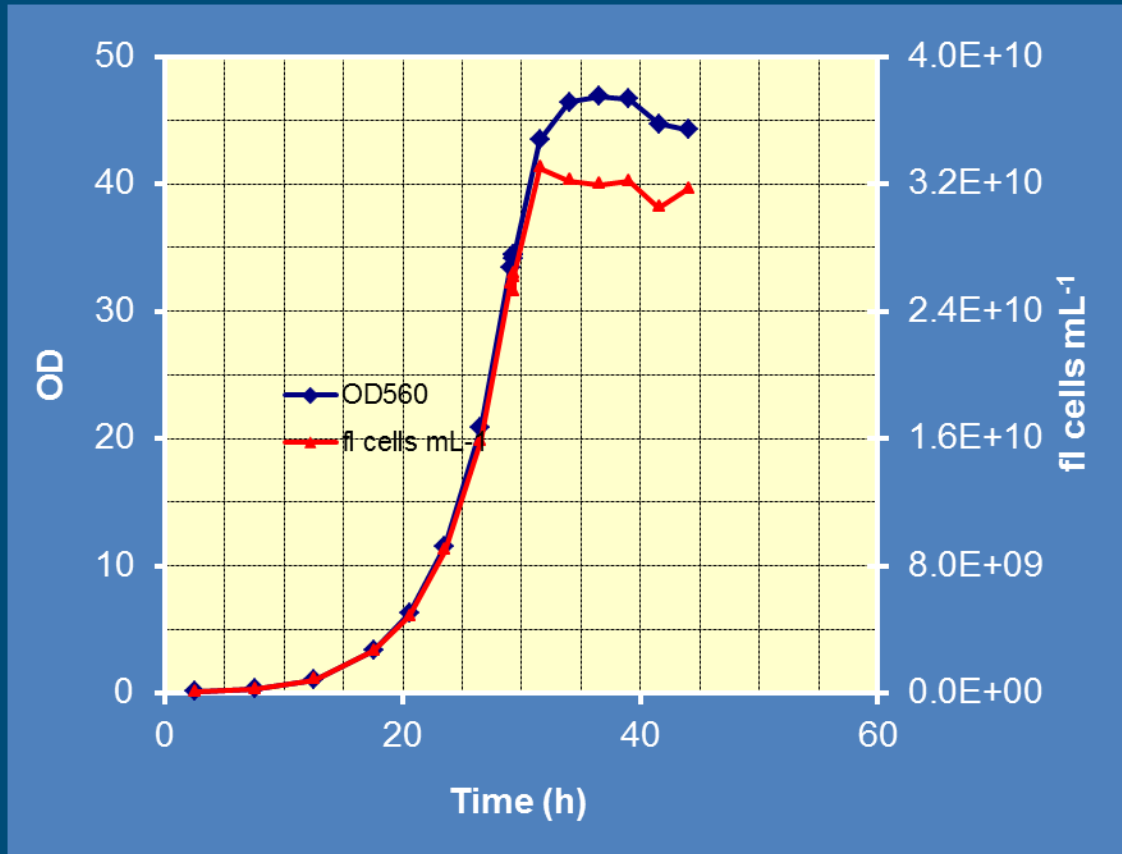


$\mu_{\max}$

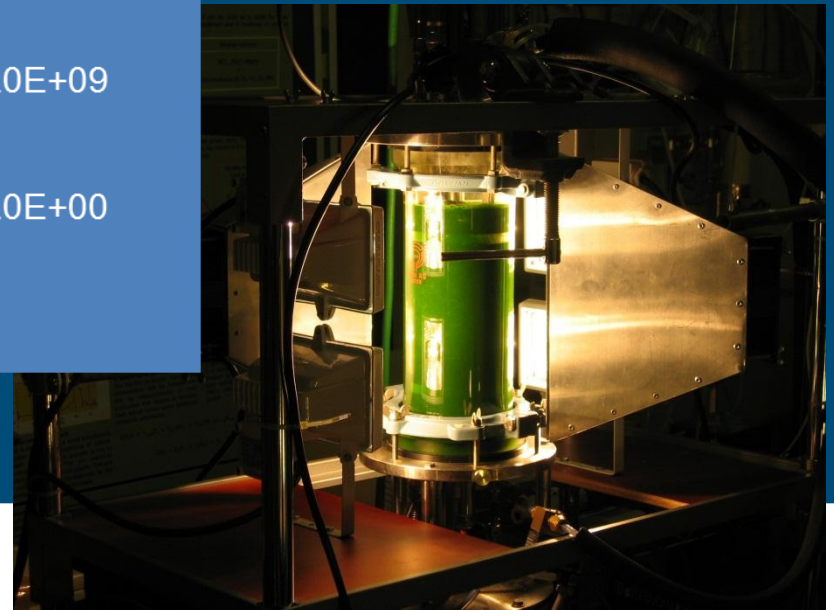
0



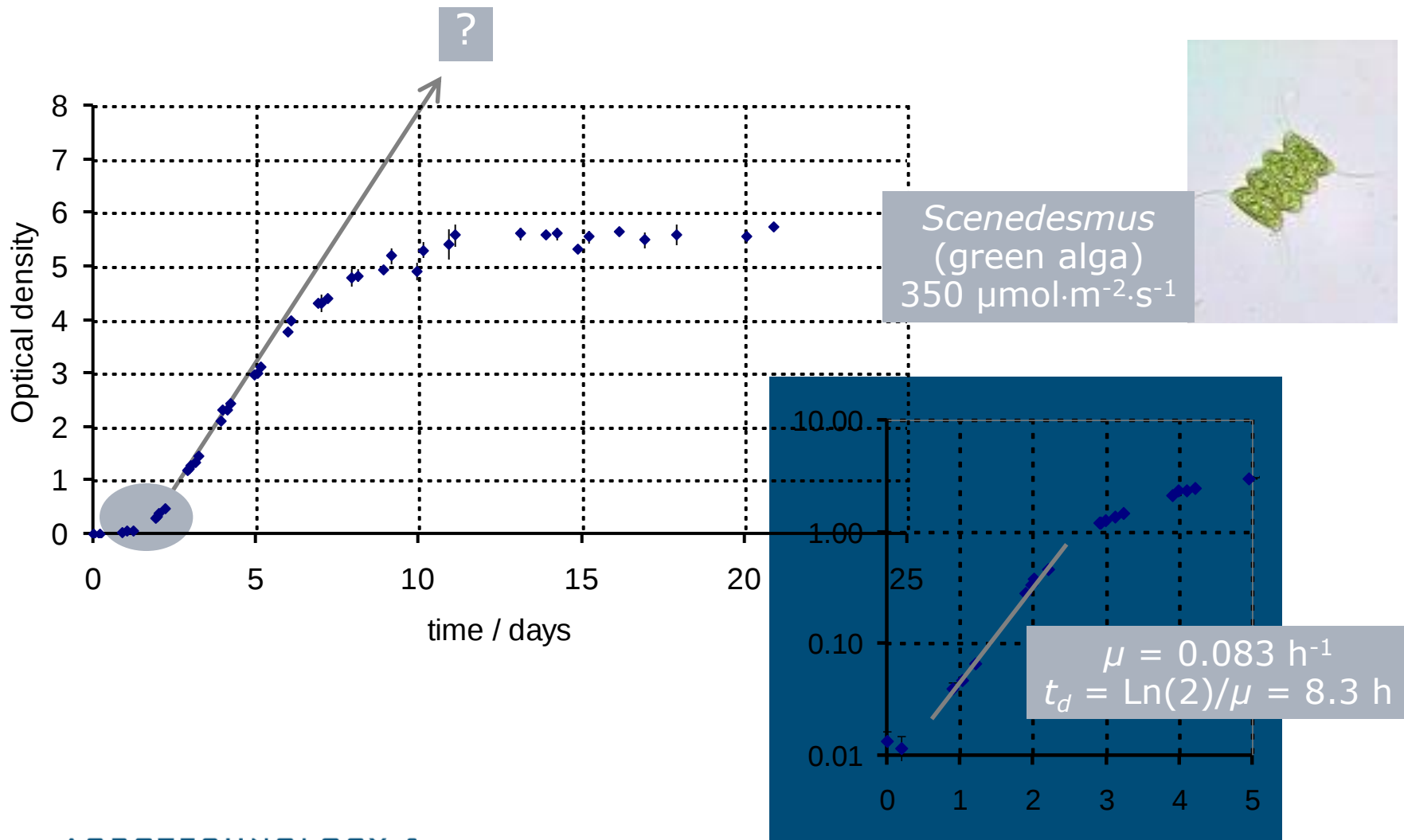
Exponential growth



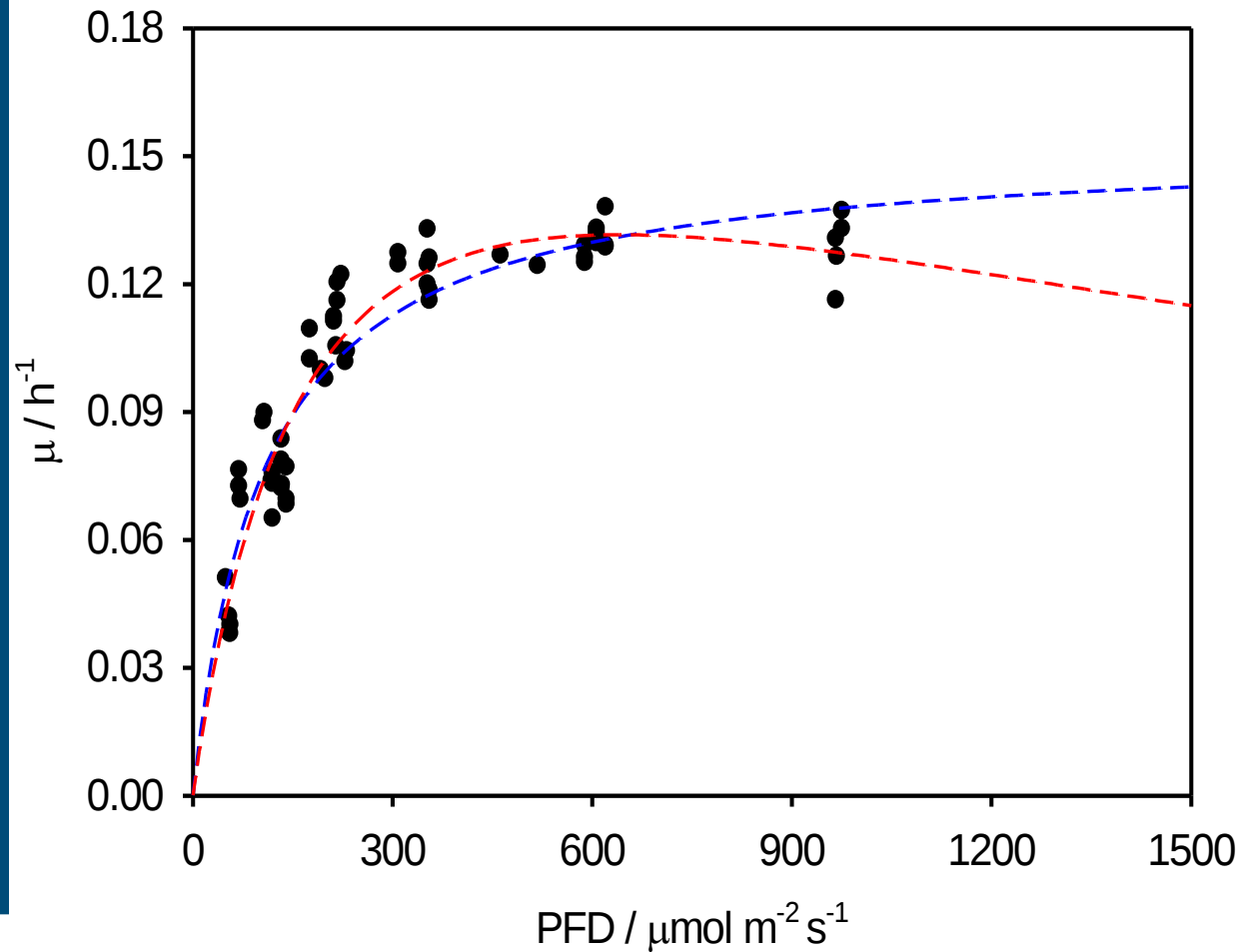
Chlorella
chemoheterotrophic
glucose, $40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$



Microalgae growth - exponential growth?



Microalgae growth: μ versus PFD



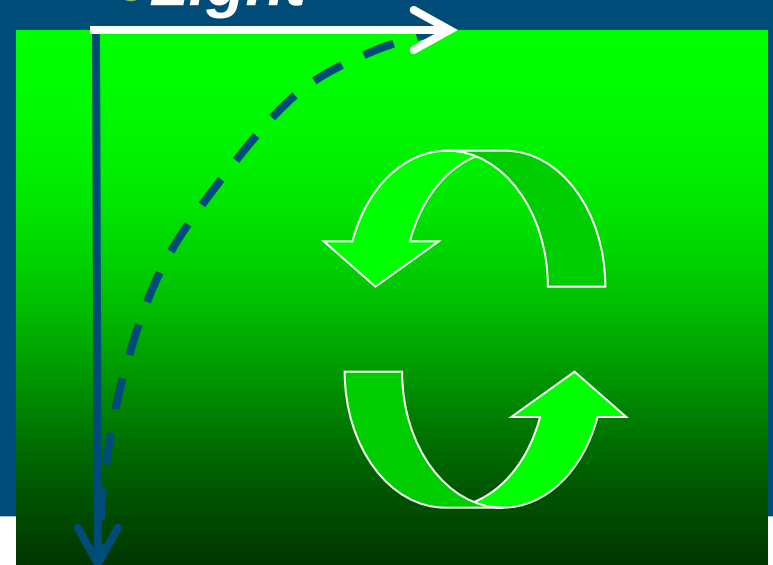
Light gradients



Light gradient



● *Light*

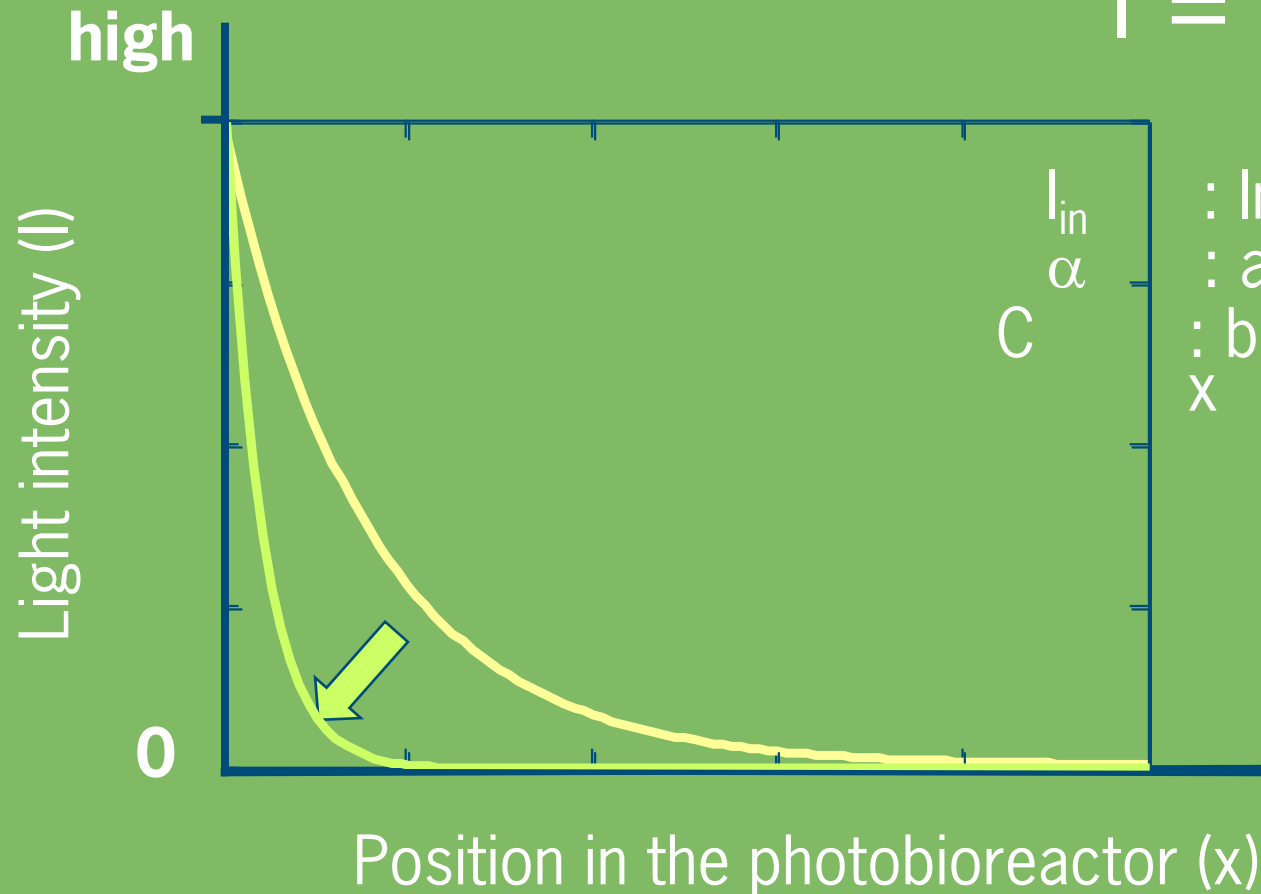


Law of Lambert-Beer

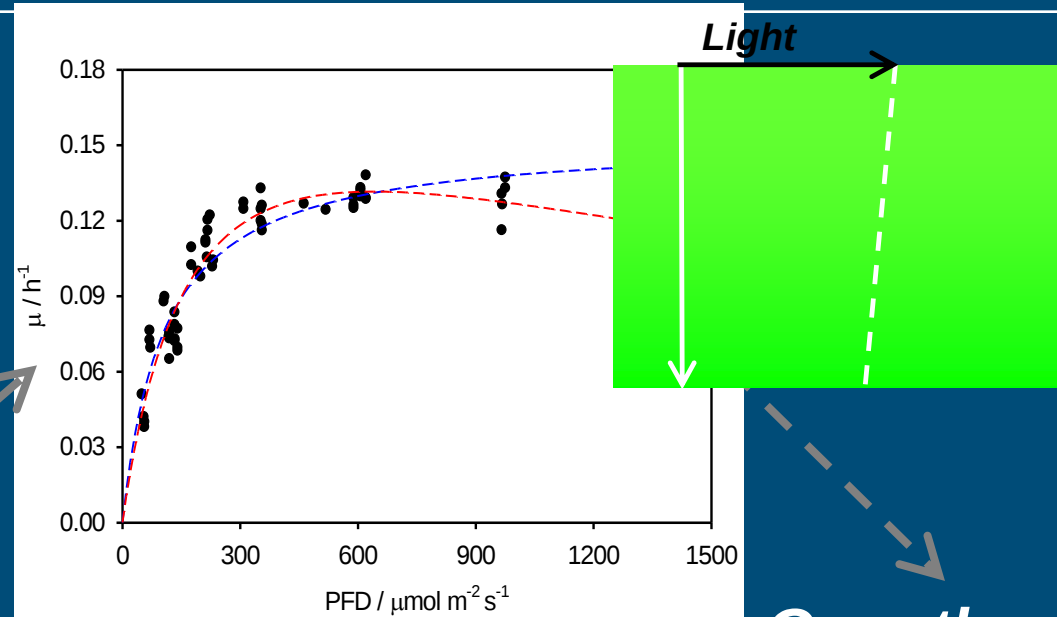
$$I = I_{in} \cdot e^{-\alpha \cdot C \cdot x}$$

With:

I_{in} : In-falling light intensity
 α : absorption coefficient
 C : biomass concentration
 x : distance

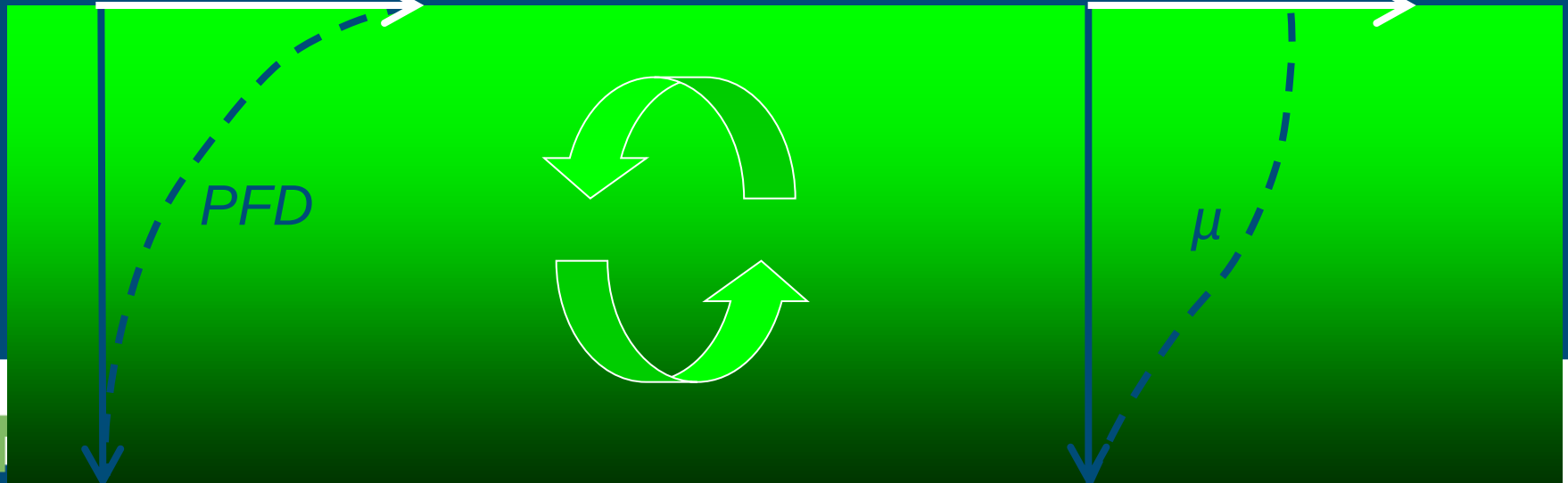


Microalgae growth in production systems - modeling



Light

Growth rate



Carbon dioxide in the bulk solution

$$P_A = H \cdot C_A^*$$

Henry's Law

With:

P_A : partial pressure of CO_2 in the gas

[Pa]

C_A^* : CO_2 concentration dissolved in the liquid

[mol m⁻³]

H : Henry's Law constant

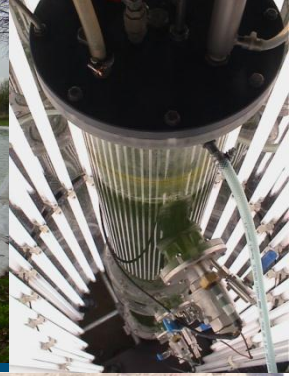
[Pa m³ mol⁻¹]

CO_2 splits into bicarbonate (HCO_3^-) and carbonate ions (CO_3^{2-})



Mogelijke ontwerpen

- Open systemen
- Bellenkolommen
- Buizenreactor
- Buizenreactor + lichtverdunning
- Vlakke plaatreactor



Open systemen: raceway ponds

- Open
- Menging d.m.v. paddle wheels
- Meest gebruikt
- Lage investeringskosten
- CO₂ toevoer beperkt
- Groot risico contaminatie
- Hoge kosten voor oogsten

Cyanotech (Hawaii), 75 ha



Ingrepro (NL), 1.5 ha



Bellenkolom

Wageningen Univ, 70 l

- Gesloten systeem
- menging via lucht met CO₂
- Moeilijk op te schalen (schaduw)
- Relatief lange lichtweg



NanoVoltaix



Buizenreactor

- Gesloten
- Menging met lucht en CO₂
- Hoge oppervlak/volume verhouding
- Ophoping van zuurstof
- Ook mogelijk op grote schaal



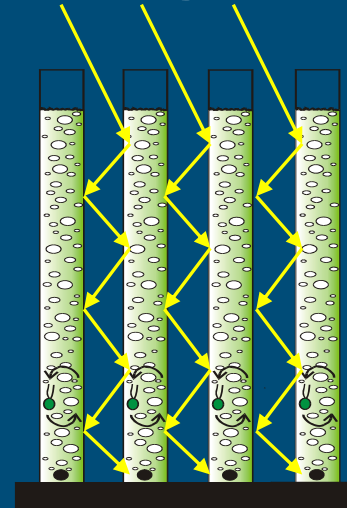
Algatechnology, Israel



Algae Parc. NL

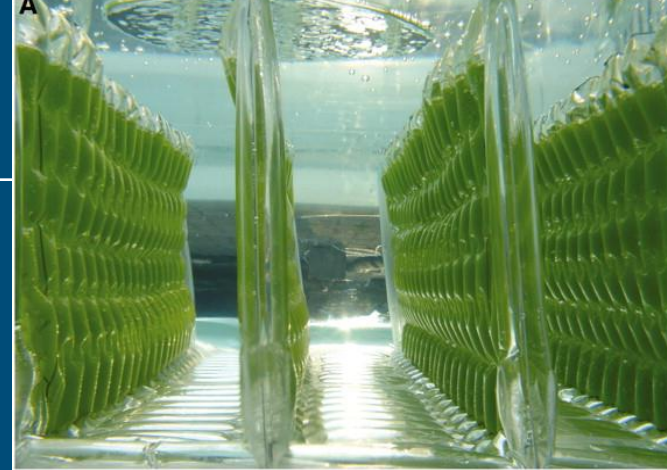
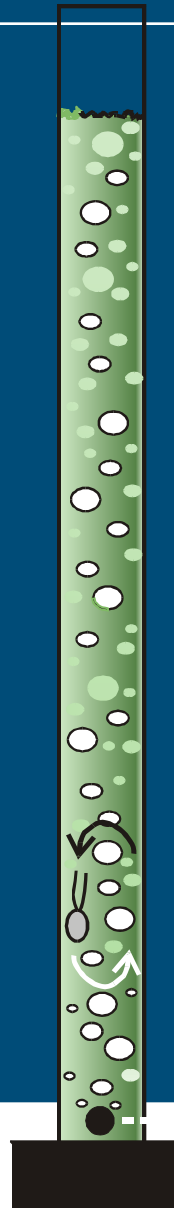
Buizenreactor + lichtverdunning

- Gestapelde buizenreactor
- Light wordt verdund
- Klötze (Duitsland)



Vlakke plaatreactor

- Intensieve menging
- Korte licht-donker cyclus
- Opschaling?



Algae PARC:

Vertaling fundamenteel onderzoek naar industriële productie

4 systemen 2.4 m² en 24 m²

- Open vijver
- Horizontale buizen
- Verticale buizen
- Vlakke plaat reactoren



Technasium opdracht:

■ Achtergrond

- Algen-practicum voor middelbare scholen
- Kweekstelsel nodig waarin algen snel groeien

■ Opdracht

- Ontwerp, bouw en test een fotobioreactor

■ Randvoorwaarden

- Zo goedkoop mogelijk
- Op school
- Algenproductie in 1 week
- Veilig



Technasium opdracht:

- Start
 - Plan van aanpak
- Afronding
 - Verslag van ontwerp en mogelijke verbeteringen
 - Presentatie van ontwerp
 - Evaluatie door 'algenieur' uit Wageningen
 - Beste ontwerp wint prijs
- Extra info
 - Bij begeleiders van school
 - Let op vandaag ;)



Belangrijk!

- Licht (gemiddeld 100-300 $\mu\text{mol fotonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
- Temperatuur (20 – 40 °C)
- pH (6-8)
- CO₂ (voldoende toevoer, let op pH!)
- Overige nutriënten (pokon/chrysal in verdunning als op pak)
- Menging (schudden, bubbelen, roeren)
- Kosten

- Wees creatief!

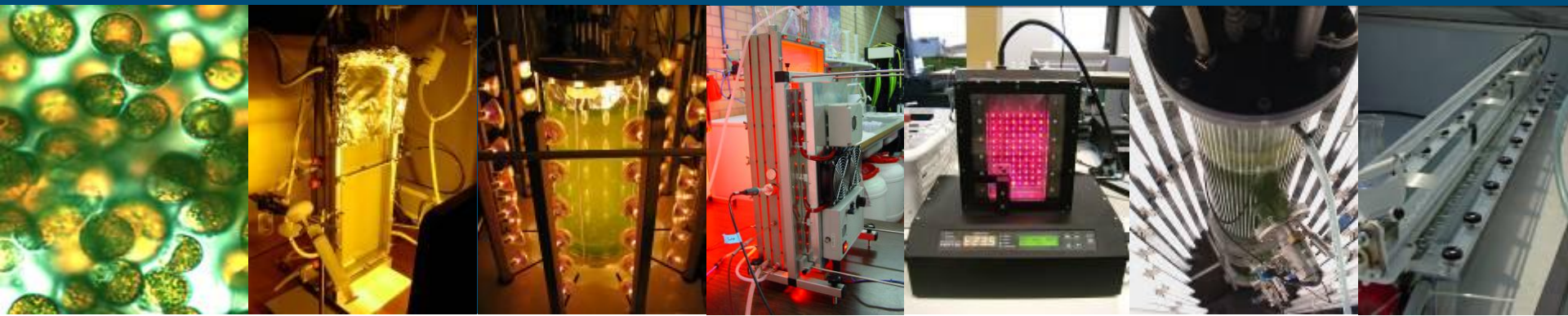
Heel veel succes!

www.algae.wur.nl

Algen profielwerkstuk website: <http://alturl.com/kv2fy>

Algen-profielwerkstuk@wur.nl

© Wageningen UR



**AGROTECHNOLOGY &
FOOD SCIENCES GROUP**
WAGENINGEN **UR**

Programma:

- 13.15 – 14.00 Opdracht & openingslezing
- 14.00 – 15.30 KCC -> AlgaePARC
Candea, Merlet, Rythovius -> Brainstorm (P635)
- 15.30 – 16.30 v.v.