Einsatz von Bioprozess-MSR-Technik, Versuchsplanung, Datenanalyse und Modellierung zur Optimierung von Prozessen der Mikroalgenbiotechnologie: *Status quo & Quo vadis?*

Prof. Dr.-Ing. Michael Pfaff

unter Mitwirkung von

B.Eng. Jari Demmel, B.Eng. Markus Zöllkau, B.Eng. Sebastian Tennstedt,
Dipl.-Ing. (FH) Marco Schmidt

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena
Fachbereich Medizintechnik und Biotechnologie

Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena
Hochschule für angewandte Wissenschaften

in Kooperation mit

Dr. rer. nat. Claudia Grewe, Salata GmbH
Dipl.-Ing. Dominik Driesch, BioControl Jena GmbH

Innovationsforum „AlgaeStream“

Entwicklung von mikroalgenbasierten Hochwertprodukten

BioInstrumentezentrum Jena, 12. September 2013

- Einführung

- *Status quo*

insbesondere mit Bezug
zu Bioprozess-MSR-Technik
und Bioprozess-Führung

- *Quo vadis*

insbesondere auf Basis erster Projektergebnisse
und Schlussfolgerungen für die weitere Arbeit

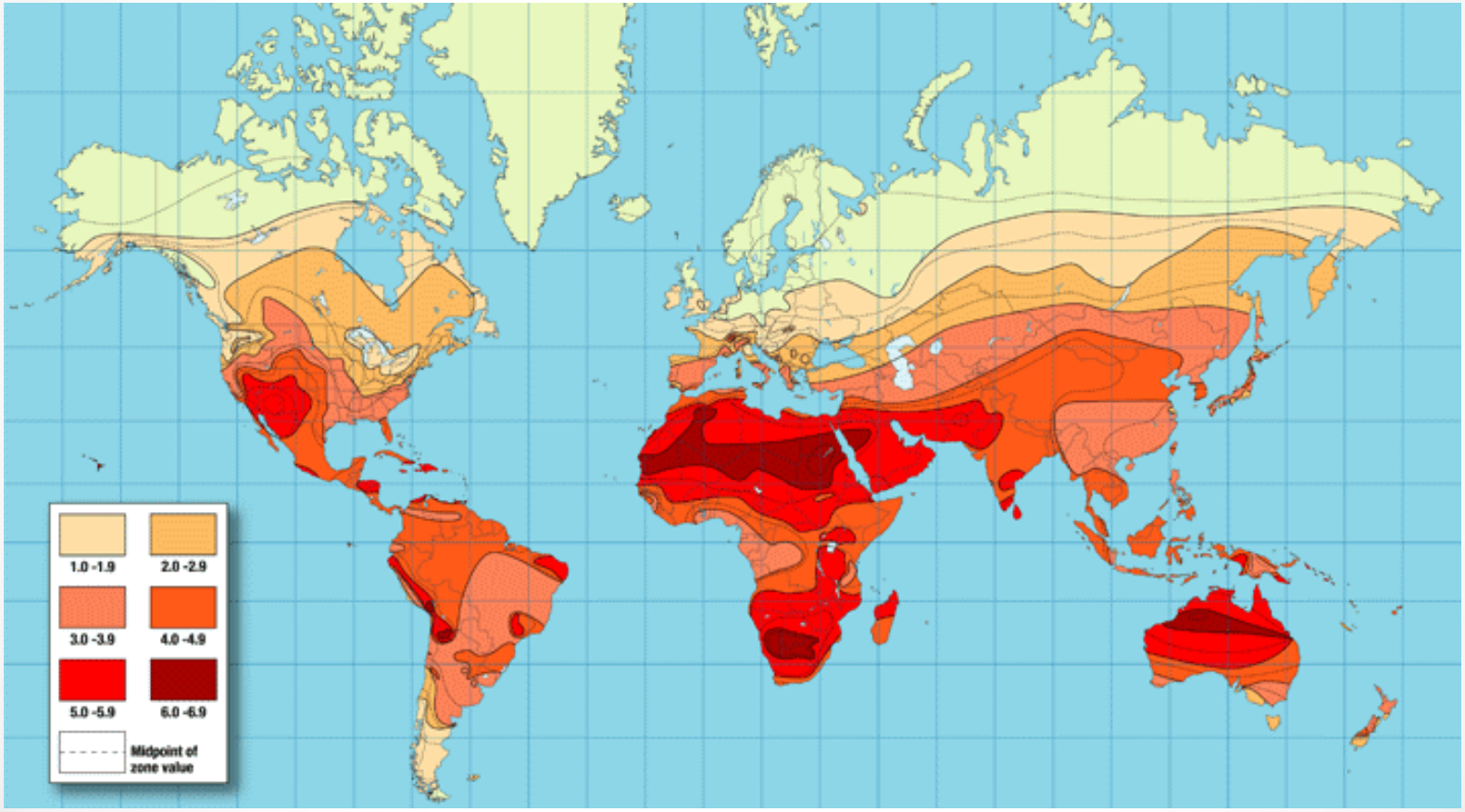
- Zusammenfassung

anschließend:

D. Driesch zu Versuchsplanung, Datenanalyse und Modellierung

Einführung

Solarstrahlung weltweit [kWh/m²/d]



Source: http://www.oksolar.com/abctech/images/world_solar_radiation_large.gif

Einführung

… daher notwendig für wirtschaftliches Betreiben der Algen-Biotechnologie in „nördlichen Breiten“:

- gute Gründe

  u.a. Produktion von Hochwertstoffen

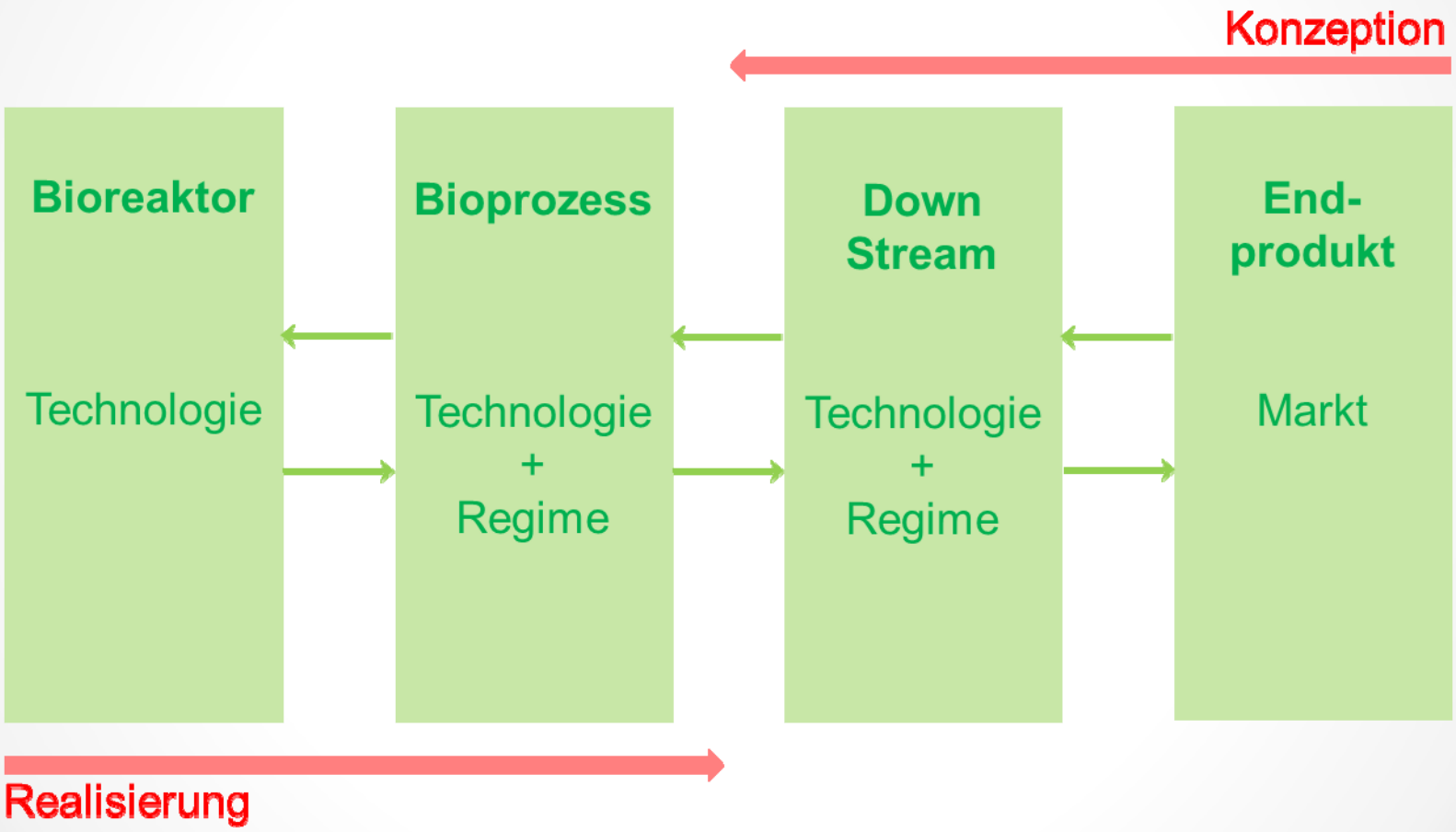
- gutes Know-how

  u.a. Bioreaktor-, Bioprozess-, Downstream-Technologie

⇨ adressiert mit dem Innovationsforum „AlgaeStream“

Einführung

Konzept und Projektstruktur



Status quo

Status quo – Bioprozess-MSR-Technik

Gebräuchliche Mess- und Regelgrößen (für Anlagen im größeren Maßstab)

<u>Online-Messung</u>

- Lichtintensität (Messung meist an Reaktoroberfläche)
- Temperatur (Reaktormedium und Umgebung)
- pH-Wert
- Trübung (Turbidität)

Seltener auch:

- O_2-Partialdruck
- CO_2-Partialdruck
- Leitfähigkeit
- Chlorophyll-Fluoreszenz

→ aus msr-technischer Sicht begrenzte Anzahl online verfügbarer Größen (im größeren Maßstab)

Status quo – Bioprozess-MSR-Technik

Gebräuchliche Mess- und Regelgrößen (für Anlagen im größeren Maßstab)

<u>Offline-Messung</u>

- Trockenmasse
- Zellzahl
- Pigmente
- Fettsäuren
- Nitrat- und Phosphatkonzentration im Medium
- Morphologie mittels Lichtmikroskopie
- u.a.

→ im Routine-Betrieb häufig begrenzt (im größeren Maßstab)

→ zu berücksichtigen bei Prozessentwicklung und -optimierung

Status quo – Bioprozess-MSR-Technik

Produktionsanlagen der Salata GmbH in Ritschenhausen

Tubuläres PBR-System

Anlagenvolumina 12.500 l bis 42.000 l
in klimatisiertem Gewächshaus

Online-Messgrößen

- Temperatur (Reaktormedium + Umgebung)
- pH-Wert (Reaktormedium)
- Optische Dichte (Reaktormedium)

Steuerung/Regelung

- pH-Wert: Regelung über CO_2-Zufuhr
- Temperatur (Reaktormedium): Regelung über Temperatur (Gewächshaus)
- Turbulenz im Reaktor: Steuerung über Pumpendrehzahl

Source: Salata GmbH, Ritschenhausen

Status quo – Bioprozess-Führung

Bioprozess-Regime

- Diskontinuierlicher Betrieb (geschlossenes System):

  - **Batch** (Satzbetrieb)

- Semikontinuierlicher Betrieb (teiloffene Systeme):

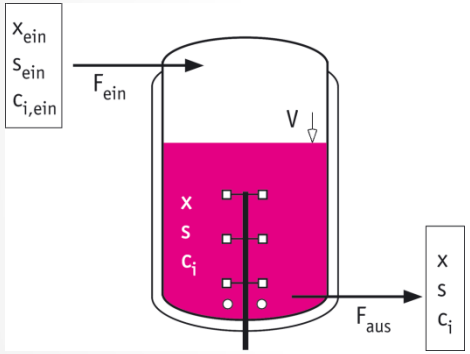
  - **Fed-Batch**
    (Zulaufbetrieb)
  - **Repeated or Cyclic Fed-Batch**
    (Wiederholter oder zyklischer Zu-/Ablaufbetrieb)
  - **u.a. Spezial-Regime**

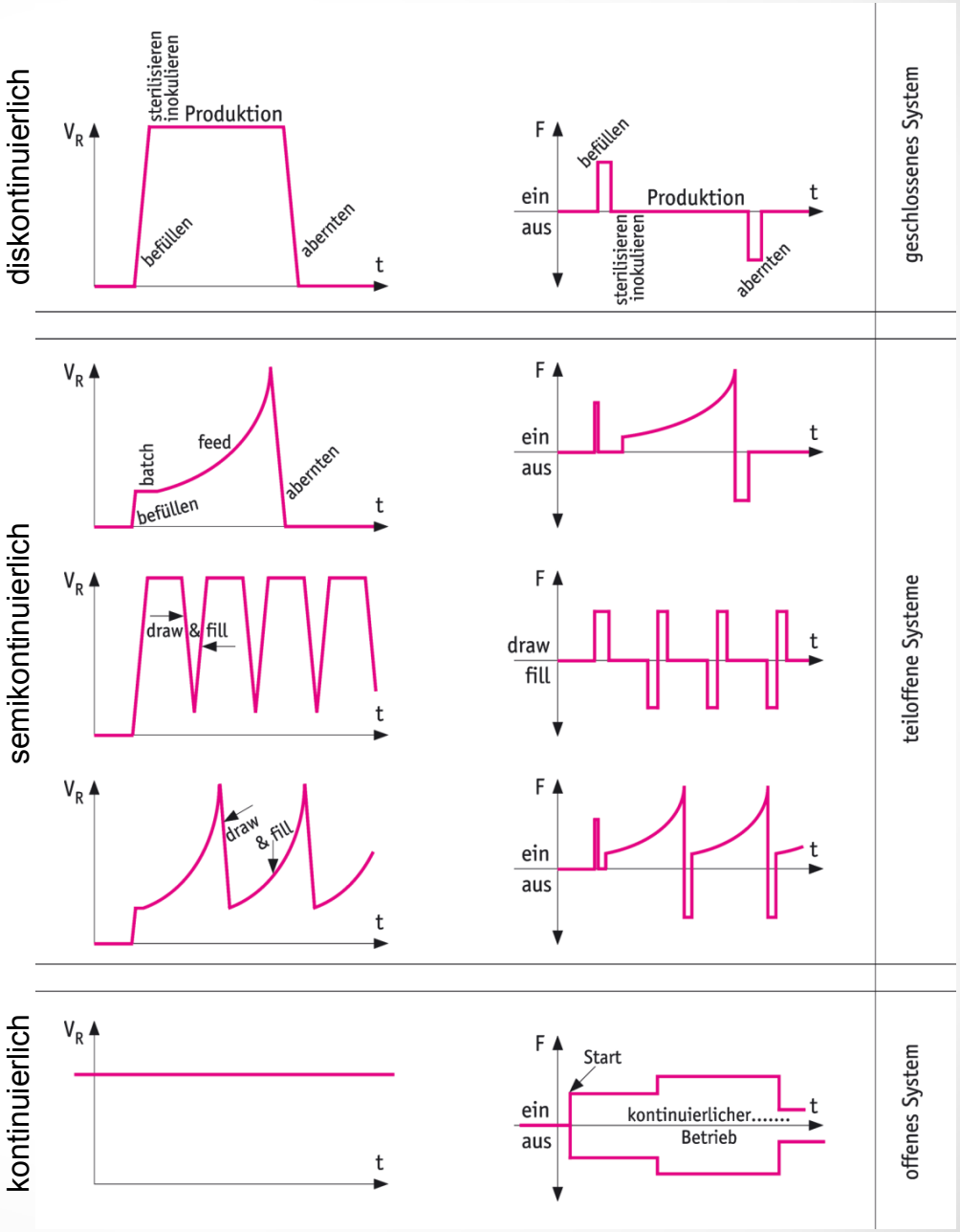
- Kontinuierlicher Betrieb (offenes System):

  - **Chemostat**

Status quo – Bioprozess-Führung

Bioprozess-Regime





Source: Chmiel (Hrsg.) 2011

Status quo – Bioprozess-Führung

… msr-technisch sind diese **Bioprozess-Regime**
Steuerungen, bei denen – ohne Rückkopplung gemessener Größen –
die Stellgröße F (Zu-/Abflussrate) u./o.a. dem System aufgeprägt werden,
das sich dann weitgehend selbstreguliert auf diese Bedingungen einstellt.

… msr-technisch gibt es aber spezielle **Regelungen**,
die diese Bioprozess-Regime unterstützen/stabilisieren/verbessern,
bei denen – mit Rückkopplung gemessener Größen –
die Stellgröße F (Zu-/Abflussrate) u./o.a. dem System aufgeprägt werden,
das sich dann stärker erzwungen auf diese Bedingungen einstellt.

→ Spezielle Strategien einsetzbar zur Optimierung
algenbiotechnologischer Prozesse

Status quo – Bioprozess-Führung

Spezielle Strategien der Steuerung/Regelung von Bioprozessen

Strategie	Bioprozess-Regime	Steuerung/ Regelung	Steuergröße/ Regelgröße	Messgröße	Stell-größe	Zielgröße
Chemostat	kontinuierlich (mit c_s-Limitation im steady-state)	Steuerung	c_s	-	D	c_x mit $\mu<\mu_{max}$ beliebig (steuerbar), $D=\mu$; c_x=const., c_s=const. (steady-state)
Turbidostat	kontinuierlich (keine c_s-Limitation und keine c_s-Inhibition)	Regelung	c_x	Turbidität, Permittivität, Konduktivität u.a. c_x-Ersatzgrößen; selten c_x direkt	D	c_x mit $\mu=\mu_{max}$ oder μ beliebig (regelbar)
Spezialfall: Luminostat	“	“	“	Lichtintensität	“	“

Status quo – Bioprozess-Führung

Spezielle Strategien der Steuerung/Regelung von Bioprozessen

Strategie	Bioprozess-Regime	Steuerung/ Regelung	Steuergröße/ Regelgröße	Messgröße	Stell-größe	Zielgröße
Nutristat	semikontinuierlich (keine c_s-Limitation und keine c_s-Inhibition)	Regelung	c_s	c_s direkt oder c_s-Ersatzgrößen	F	c_x mit $\mu=\mu_{max}$ oder μ beliebig (regelbar)
Spezialfälle:						
pH-Auxostat	“	“	“	pH	“	“
pO_2-Auxostat	“	“	“	pCO_2	“	“
pCO_2-Auxostat	“	“	“	pCO_2	“	“
μ-stat (exponential feeding)	“	Steuerung	“	-	“	c_x mit $\mu=\mu_{max}$ oder μ beliebig (steuerbar); c_s=const.

Status quo – Bioprozess-Führung

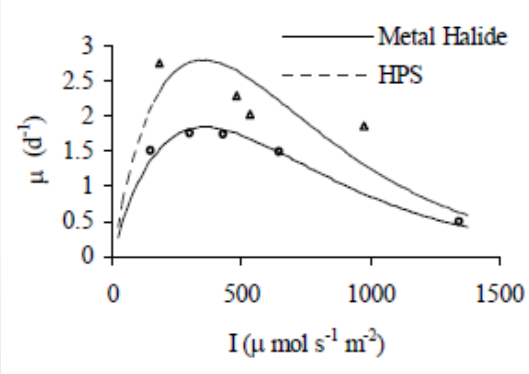
Grundsätzliche Zielstellungen dieser Strategien:

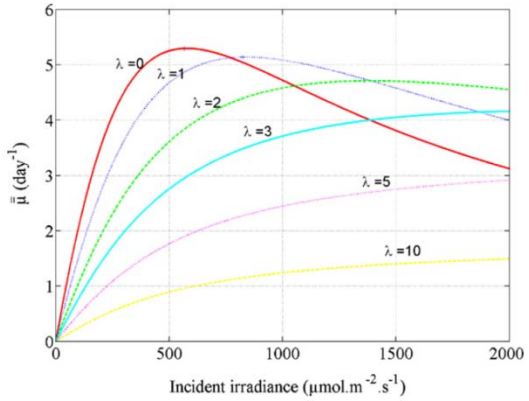
Günstige Arbeitspunkte einzustellen bzw. längerfristig aufrechtzuerhalten, um bestimmte Einflussfaktoren (typischerweise Limitationen/Inhibitionen durch Substrate, Licht, Biomasse, Produkte) auf die Wachstums- und Produktbildungsprozesse in Bereichen zu halten, die einen weitgehend optimalen Betrieb bezüglich bestimmter Kriterien (typischerweise Ausbeuten) gewährleisten.

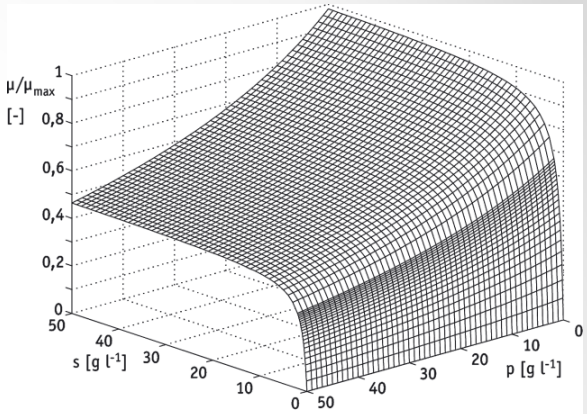
Status quo – Bioprozess-Führung

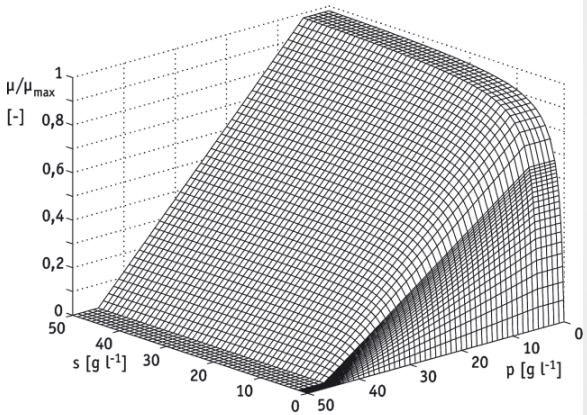
Beispiel:

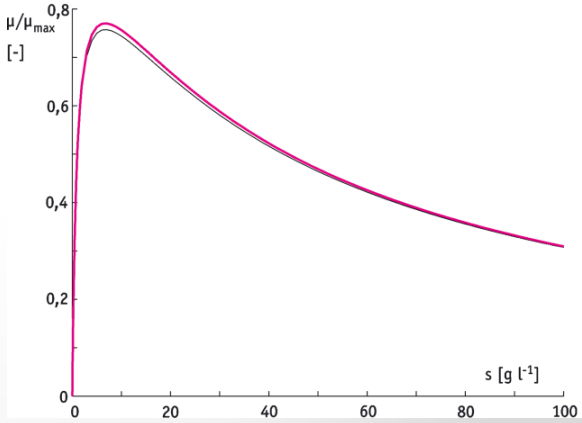
Limitation und Inhibition
der spezifischen Wachstumsrate μ
in Abhängigkeit von Lichtintensität,
Substrat- und Produktkonzentration







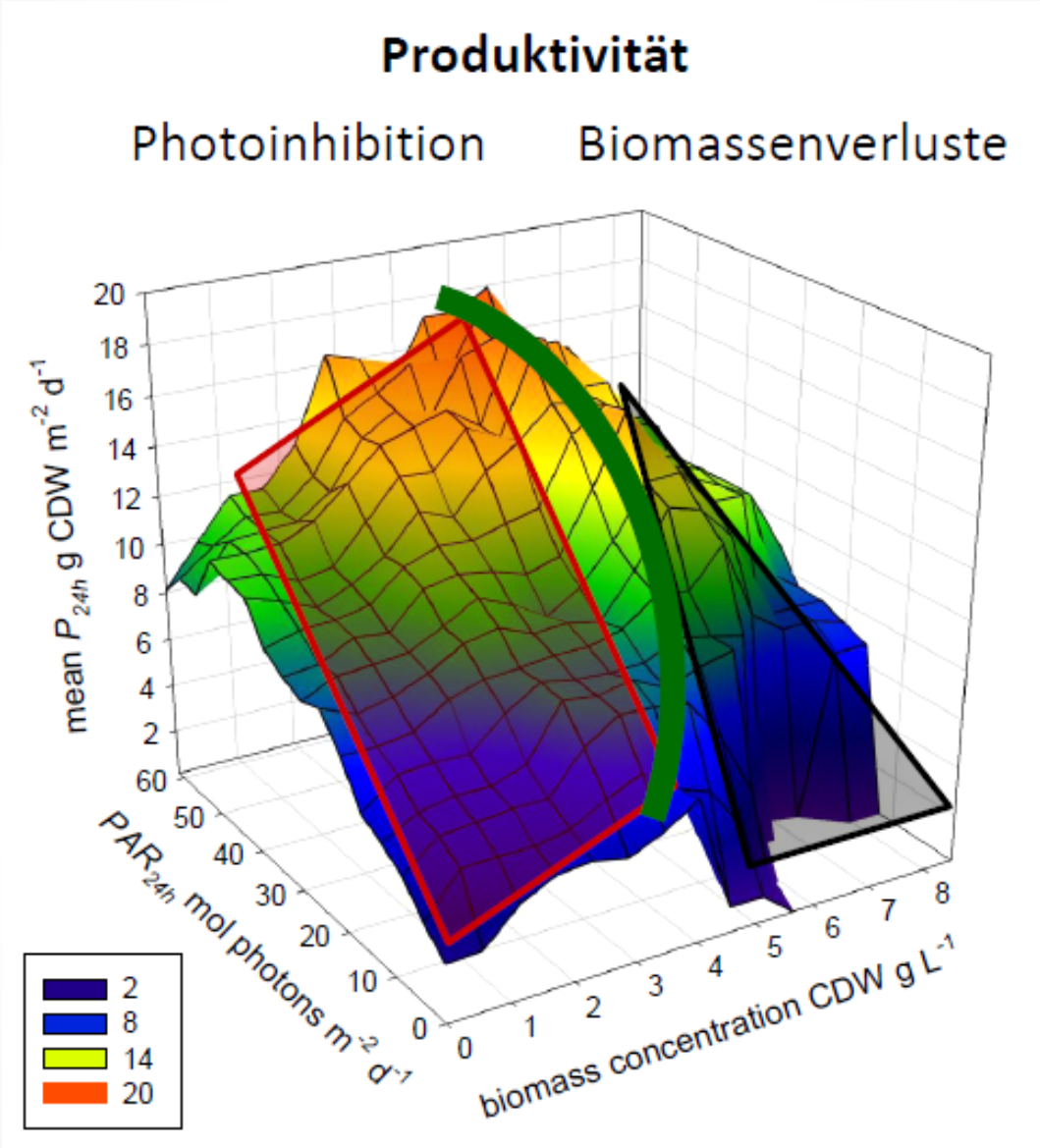




Source: Benson 2003, Bernard 2011, Chmiel (Hrsg.) 2011

Status quo – Bioprozess-Führung

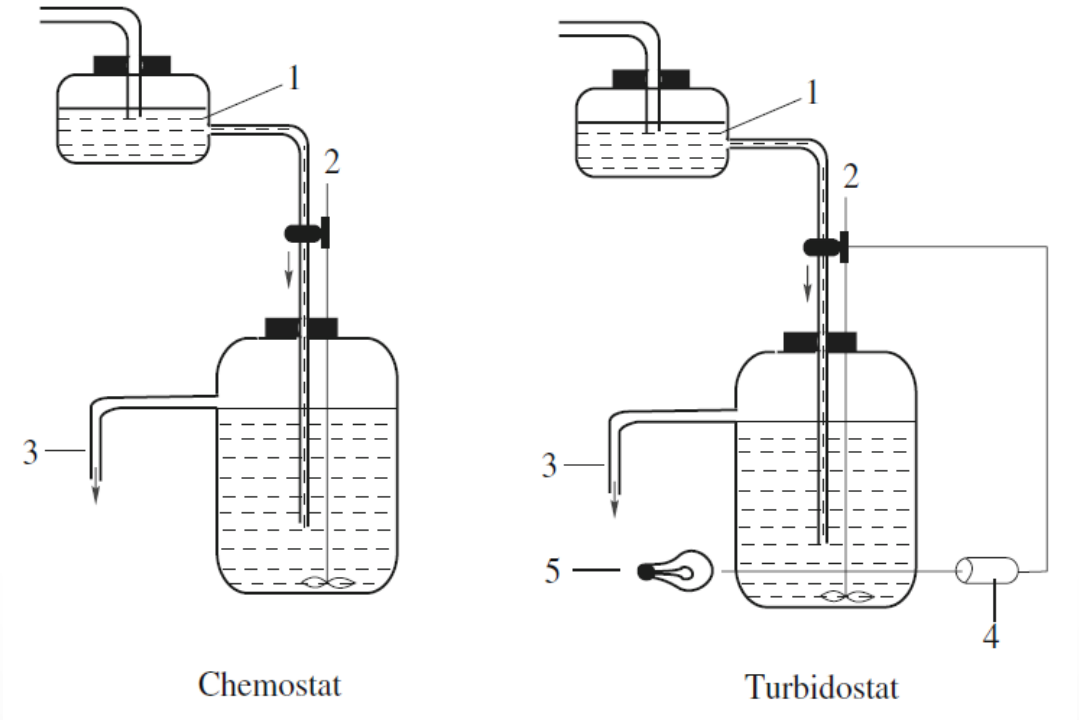
Beispiel:



Source: Hindersin et al. 2013

Status quo – Bioprozess-Führung

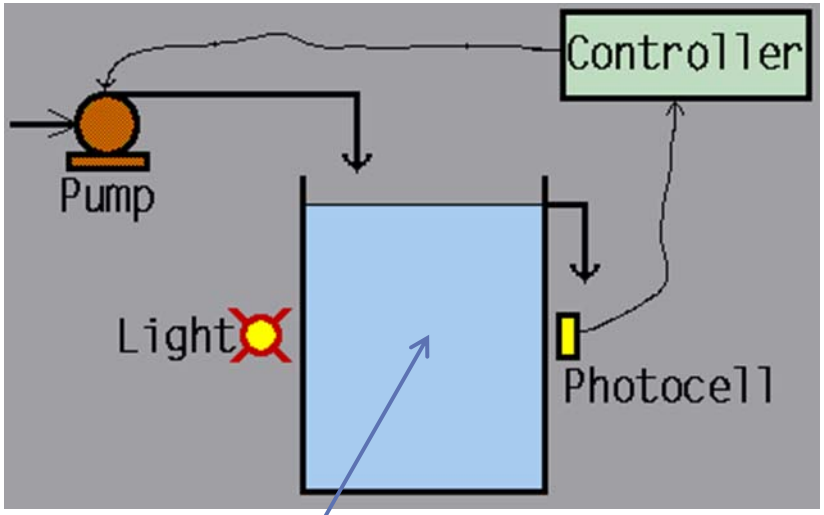
Chemostat & Turbidostat



Source: Guo and Chen 2009

Status quo – Bioprozess-Führung

Turbidostat – msr-technische Realisierung



Turbidität als Ersatzgröße
für Biomassekonzentration

<u>In Tubular-Photobioreaktoren</u>:

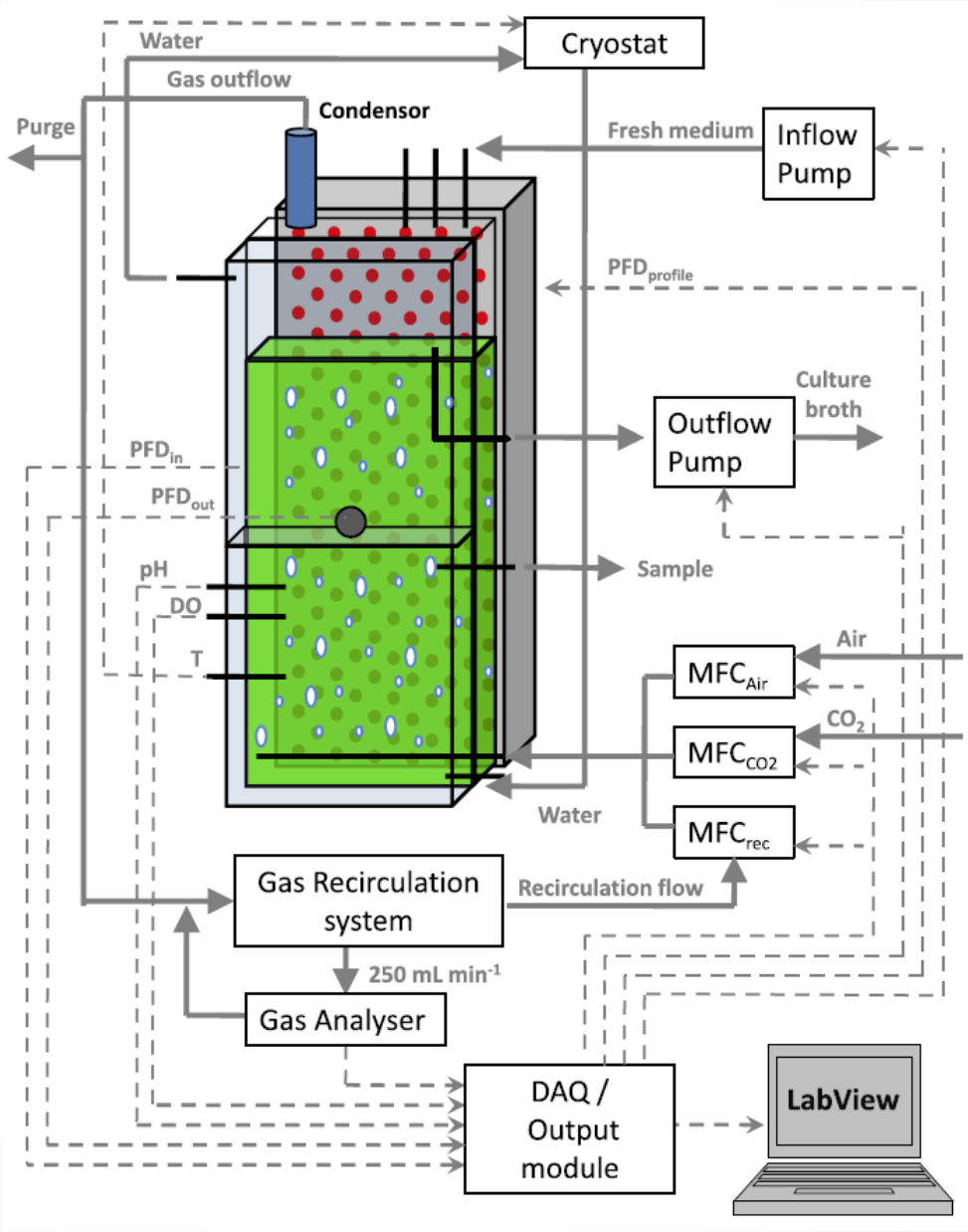
vorhanden: Turbiditätsmessung und Pumpe
erforderlich: Entwurf und Implementierung geeigneter Regelung,
ggf. anlagentechnische Aufrüstung für kontinuierlichen Betrieb

Source: rpi.edu

Status quo – Bioprozess-Führung

Flat Panel Photobioreactor

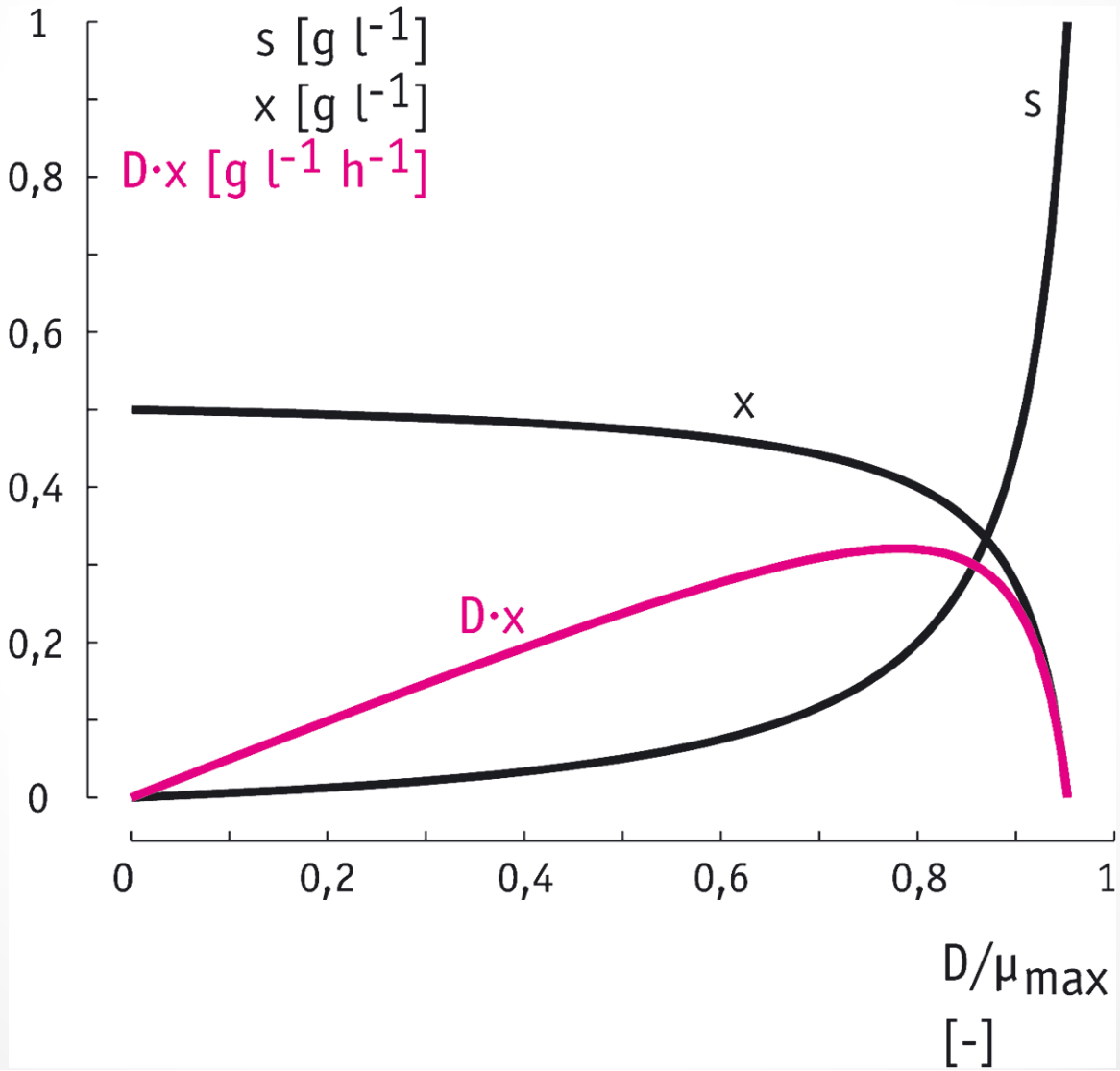
Luminostat



Source: Cuaresma et al. 2011

Status quo – Bioprozess-Führung

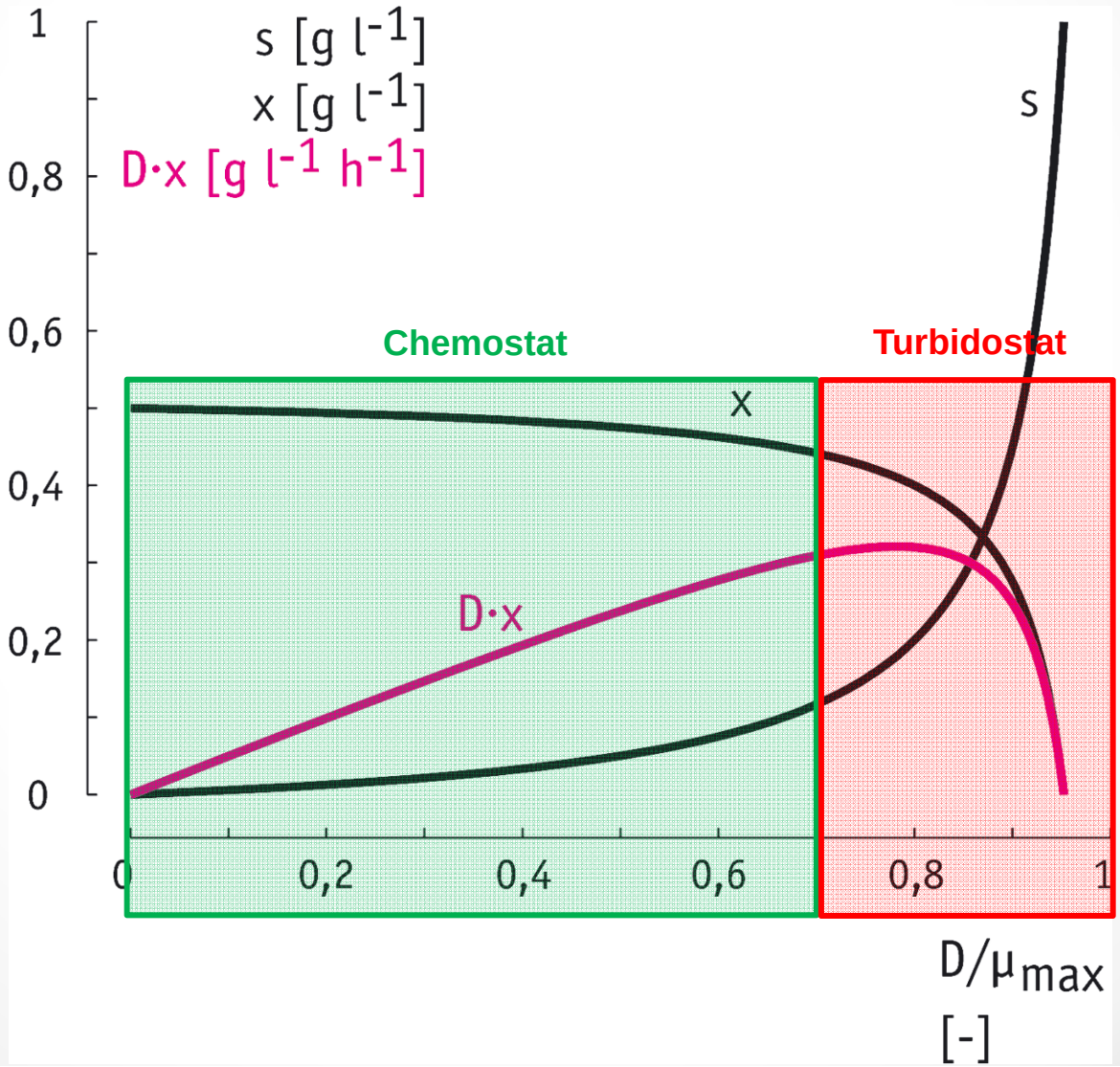
Chemostat & Turbidostat



Source: Chmiel (Hrsg.) 2011

Status quo – Bioprozess-Führung

Chemostat & Turbidostat

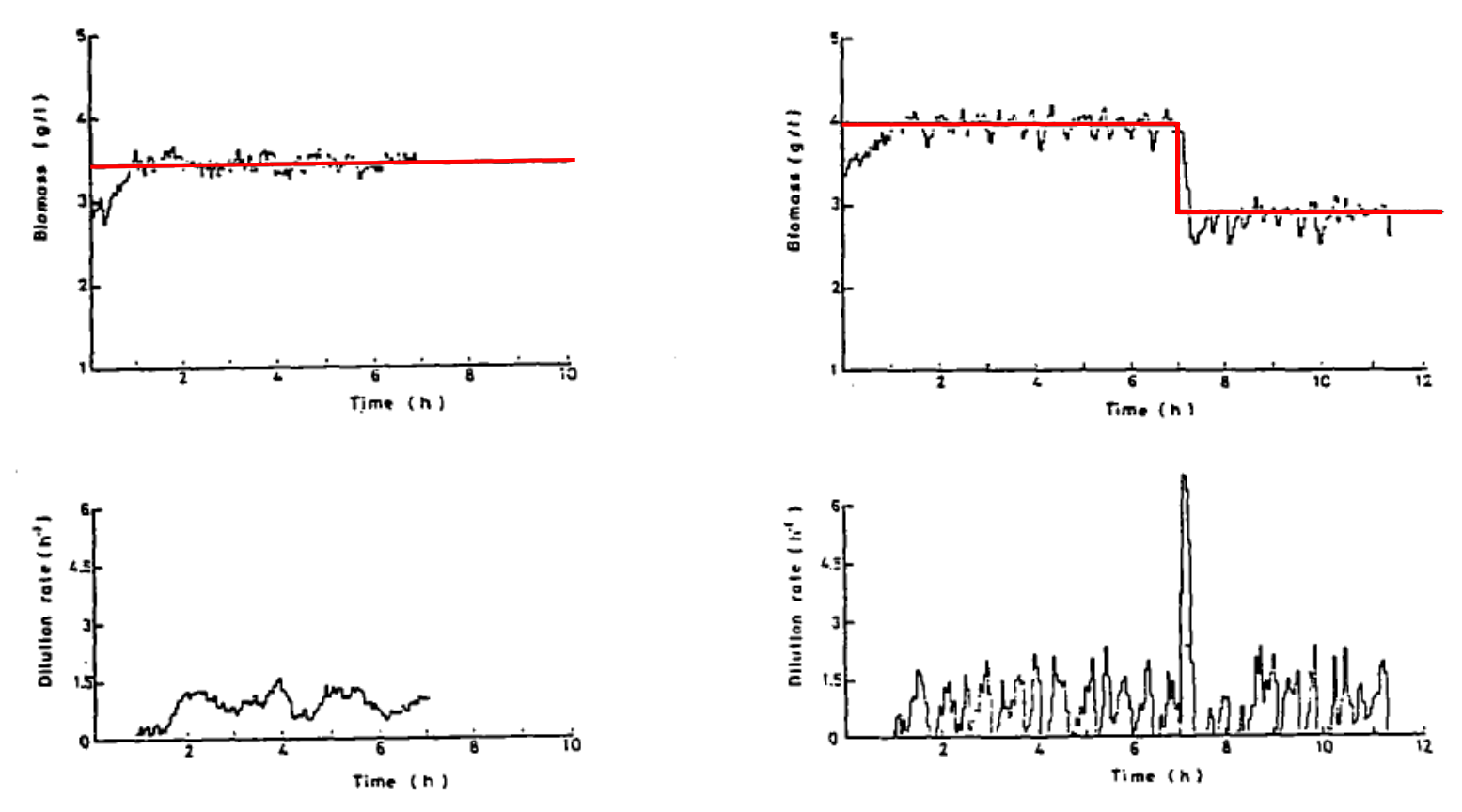


Source: Chmiel (Hrsg.) 2011

Status quo – Bioprozess-Führung

Turbidostat mit *Saccharomyces cerevisiae* in einem 2-l-Bioreaktor

- Regelgröße Biomassekonzentration (via Turbidität)
- Stellgröße Verdünnungsrate



Source: Hwang et al. 1988

Status quo – Bioprozess-Führung

Turbidostat-Betrieb – Vorteile:

Bioprozess-Regime mit tendenziell max. Wachstumsrate
im kontinuierlichen Betrieb, d.h. mit tendenziell max. Raum-Zeit-Ausbeute

Biomassewerte prinzipiell auch auf andere Werte regelbar,
d.h. Möglichkeit der Minimierung der Abschattung
bei wechselnder Lichtverfügbarkeit

Mit regelbarem Biomassewert liegt ein zentraler Parameter vor,
der auch im Hinblick auf die Aufarbeitung eingestellt werden kann

Turbidität meist standardmäßig online gemessen

Pumpe insbesondere bei Tubular-Photobioreaktoren ohnehin
Teil der Prozesstechnik

Es ist aber zu beachten, dass infolge der Regelung über die Verdünnungsrate
eventuell die Turbulenz bei kleinen Verdünnungsraten kleiner wird

Status quo – Bioprozess-Führung

Turbidostat-Betrieb:

„… Da der Turbidostat naturgemäß einen höheren Mess- und Regelungsaufwand erfordert als der Chemostat, gibt es hierfür kaum industrielle Anwendungen. …“

(Hass und Pörtner 2009)

Herausforderung: Turbidostat für größere Bioreaktoren

? Literatur-Beispiele ? → nur wenige !

Source: Hass und Pörtner 2009

Status quo – Bioprozess-Führung

OPTIMIZATION OF THE LIGHT DYNAMICS IN THE HYDRAULICALLY INTEGRATED SERIAL TURBIDOSTAT ALGAL REACTOR (HISTAR)

A Dissertation

Submitted to the Graduate Faculty of the
Louisiana State University and
Agricultural and Mechanical College
in partial fulfillment of the
requirements of the degree of
Doctor of Philosophy

in

The Department of Civil and Environmental Engineering

By
Barbara Christine Benson
B.S., Texas A&M University at Corpus Christi, 1977
M.S., University of Louisiana at Lafayette, 1981
August, 2003

- The light dynamics and its impact on growth kinetics of *Selenastrum capricornutum* under metal halide light in an experimental unit similar to the CFSTRs of HISTAR;
- Modeling the biological rhythms in algal growth kinetics
- A description of the deterministic model of the light dynamics and algal growth in HISTAR (productivity model);
- A comparison of the light dynamics and growth kinetics of four different light sources; and
- Model simulation studies for the optimization of the lighting system for HISTAR.

Status quo – Bioprozess-Führung

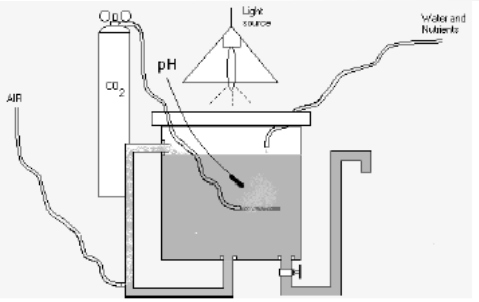
Hydraulically Integrated Serial Turbidostat Algal Reactor (HISTAR)

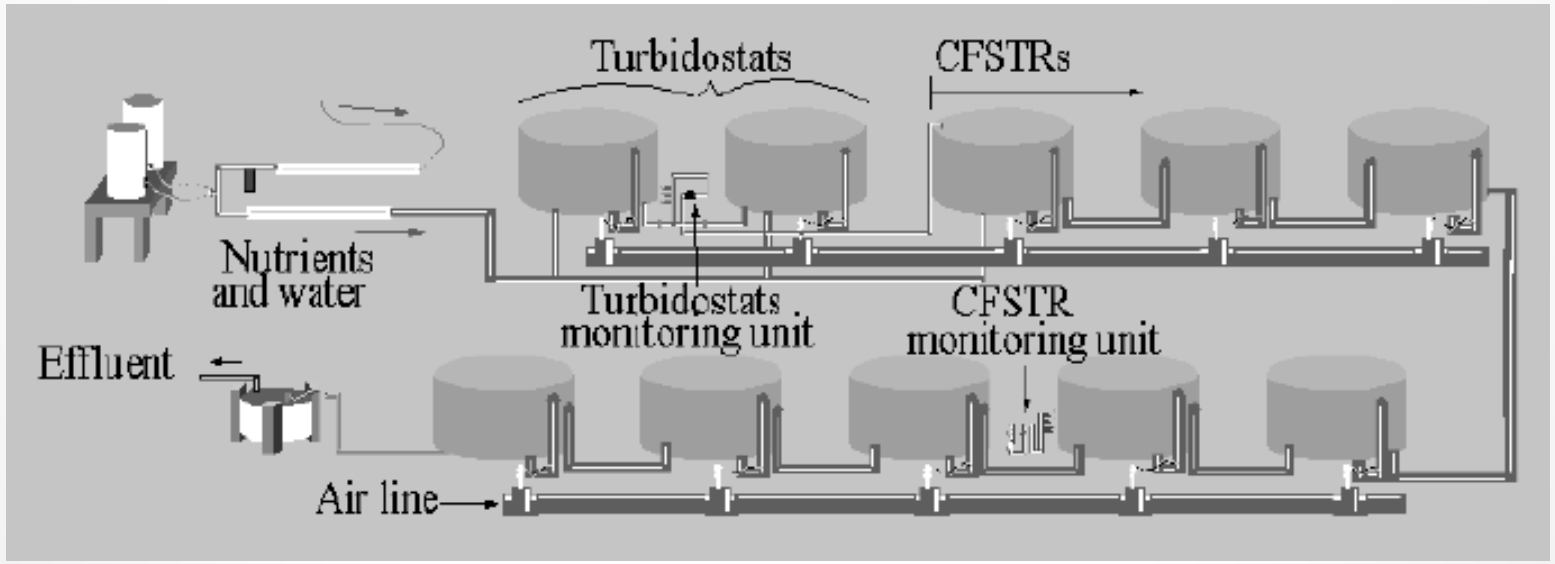
Source: Benson 2003

Status quo – Bioprozess-Führung

Hydraulically Integrated Serial Turbidostat Algal Reactor (HISTAR)

Einzel-Einheit:		ca. 450 l
Gesamtsystem:		ca. 4.500 l
davon:	2 Turbidostats	ca. 900 l
	8 Chemostats	ca. 3.600 l





CFSTR: Continuous Flow Stirred Tank Reactor

Source: Benson 2003

Status quo – Bioprozess-Führung

HISTAR – Mathematische Modellierung

<u>Deterministisches Modell</u> (Struktur):

$$\frac{\partial X_n}{\partial t} V_n = Q_T X_{n-1} - Q_T X_n + \left[\left(\mu_{\max} \left[(1-P) P_{adj} \right] \left[F_D \right] \left[\frac{I_{a_n}(PAR)}{I_{opt}(PAR)} \cdot e^{\frac{-I_{a_n}(PAR)}{I_{opt}(PAR)}+1} \right] \right) - k_{e_n} \right] X_n V_n$$

$$P = y_O + \sum_{I=1}^{3} \left[a_i \sin\left(i 2\pi \frac{t+t_{adj}}{T_p} + \frac{\pi}{2} \right) \right] + \left[b_i \sin\left(i 2\pi \frac{t+t_{adj}}{T_p} \right) \right]$$

Ergebnisse: u.a.: - Parameter-Identifikation, z.B. μ_{max} = 1,73 d^{-1}

- Identifikation eines **circasemilunaren Biorhythmus'** mit T = 14,8 d (mittels Fourier-Analyse und ersten drei harmonischen Oberwellen)

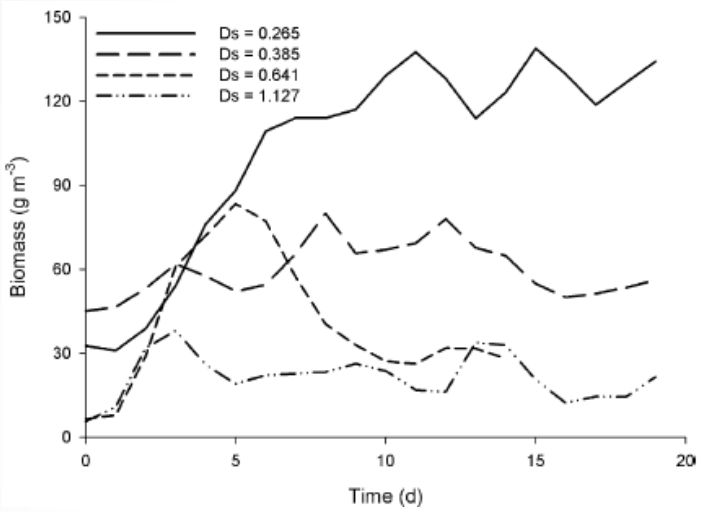
→ potenzieller Zusammenhang mit 14-tägiger 'spring tide' (Springflut)

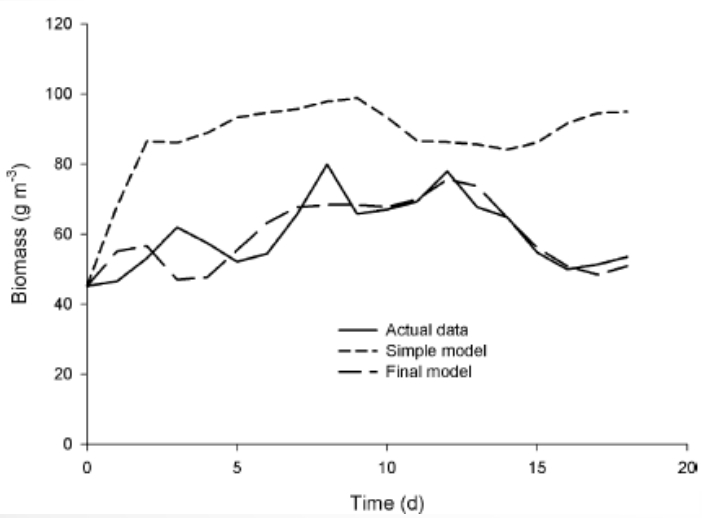
→ solche Zusammenhänge nur bei längerem kontinuierlichen Betrieb erkennbar

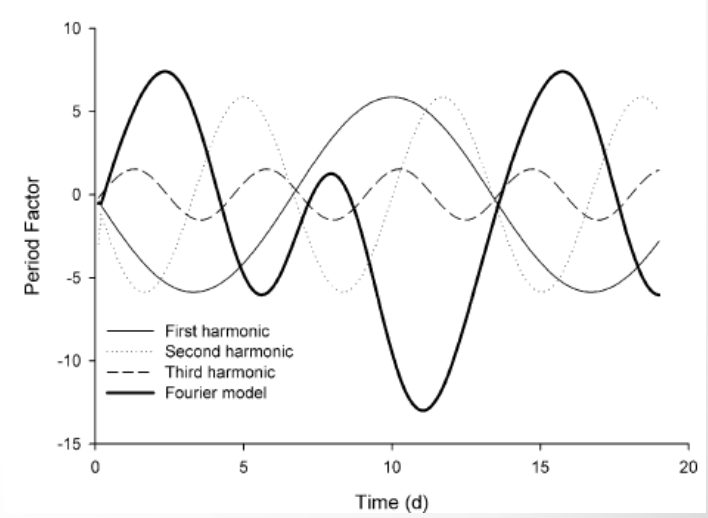
Source: Benson 2003, Benson et al. 2008

Status quo – Bioprozess-Führung

HISTAR – Mathematische Modellierung







Source: Benson 2003, Benson et al. 2008

Status quo – Bioprozess-Führung

HISTAR – Modellbasierte Simulation und Optimierung

<u>Optimierungskriterien</u>: u.a.: - Biomasse-Raum-Zeit-Ausbeute *RZA* = *D*x*

- Beleuchtungskosten $$LC = \frac{W \times hr \times \$}{1000 \times P_v \times V_c}$$

Ergebnisse: u.a.: D_{opt} = 0,641 d^{-1}

Beleuchtungsart (HPS),

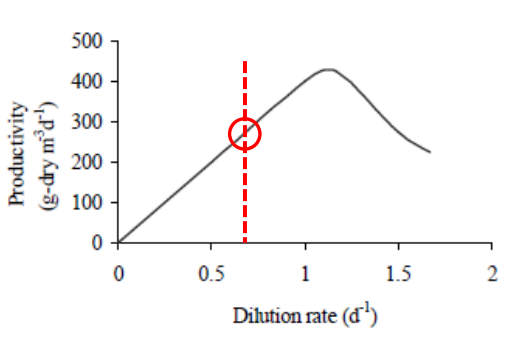
Höhe der Lampen (¼ m),

Lampenleistung unverändert belassen,

Tankanzahl unverändert belassen,

Tanktiefe bei vier letzten verändern,

Beleuchtungskosten um ca. ¼ reduzierbar



Source: Benson 2003

Status quo – Bioprozess-Führung

Mathematische Modellierung und modellbasierte Simulation/Optimierung

Sehr guter Übersichtsartikel mit 122 Referenzen: Bernard 2011

Journal of Process Control 21 (2011) 1378–1389

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Process Control

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jprocont

Hurdles and challenges for modelling and control of microalgae for CO_2 mitigation and biofuel production

Olivier Bernard [a,b,*]

[a] BIOCORE-INRIA, BP93, 06902 Sophia-Antipolis Cedex, France
[b] LOV-UPMC-CNRS, UMR 7093, Station Zoologique, B.P. 28 06234, Villefranche-sur-mer, France

ARTICLE INFO

Article history:
Received 7 December 2010
Received in revised form 22 July 2011
Accepted 22 July 2011
Available online 9 September 2011

Keywords:
Microalgae
Photobioreactors
Raceways
Modelling
Optimisation
Biofuel
CO_2 mitigation

ABSTRACT

Oleaginous microalgae are considered to be a potential major biofuel producer in the future since, under conditions of nitrogen deprivation, they are capable of containing high amounts of lipids, while consuming industrial CO_2. These photosynthetic microorganisms are, however, rather different from the microorganisms usually used in biotechnology. In particular, predicting the behaviour of microalgal based processes is delicate because of the strong interaction between biology (microalgal development and respiration), and physics (light attenuation and hydrodynamics). This paper reviews existing models, and in particular the Droop model which has been widely used to predict microalgal behaviour under nutrient limitation. It details a model for raceways or planar photobioreactors, when both light and nutrients are limiting. The challenges and hurdles to improve microalgal culture process modelling and control in order to optimise biomass or biofuel production are then discussed.

© 2011 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Quo vadis?

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Erste Untersuchungen mit *Nannochloropsis sp.* im Batch-Betrieb

Paramter	Einheit	40 mm Glasstandzylinder	80 mm Glasstandzylinder	KLF	PBR 30	PBR 2000
V_R	L	0,50	1,80	1,60	28,00	1800,00
A_R	m^2	0,05	0,10	0,05	1,8	-[1]
V_P	m^3	0,5	1,8	1,6	-[1]	1,8
SVR	m^{-1}	100	55,56	31,25	64,29	-[1]
d_I	mm	40	80	100	39	49

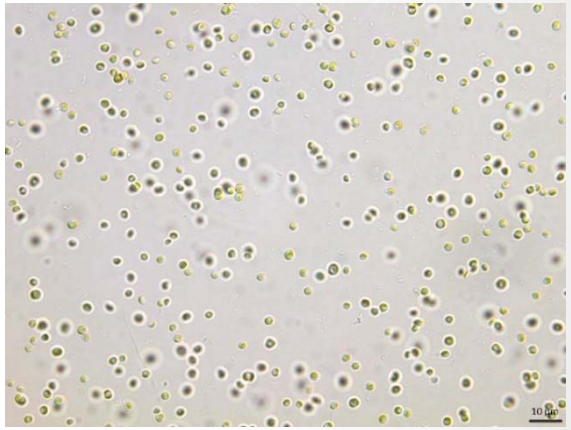
		40 mm Glas-standzylinder	80 mm Glas-standzylinder	PBR 30	PBR 2000	KLF
Temperatur	°C	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Begasungsrate	vvm	0,1	0,1	-[2]	-[2]	0,1
Medium	-	ES1	ES1	ES1	ES1	ES1
Rührerdrehzahl	rpm	-	-	-	-	150
CO_2	-	2 %	2 %	pH geregelt	pH geregelt	2 %
Pumpendrehzal	Hz	-	-	23,7	40,0	-
PFD	$\mu mol\, m^{-2}\, s^{-1}$	196	196	196	variiert[1]	196
$c_{x,start}$	$g\, L^{-1}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

[1] tageslichtabhängig
[2] Gasaustausch über Kopfspülung

Source: Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

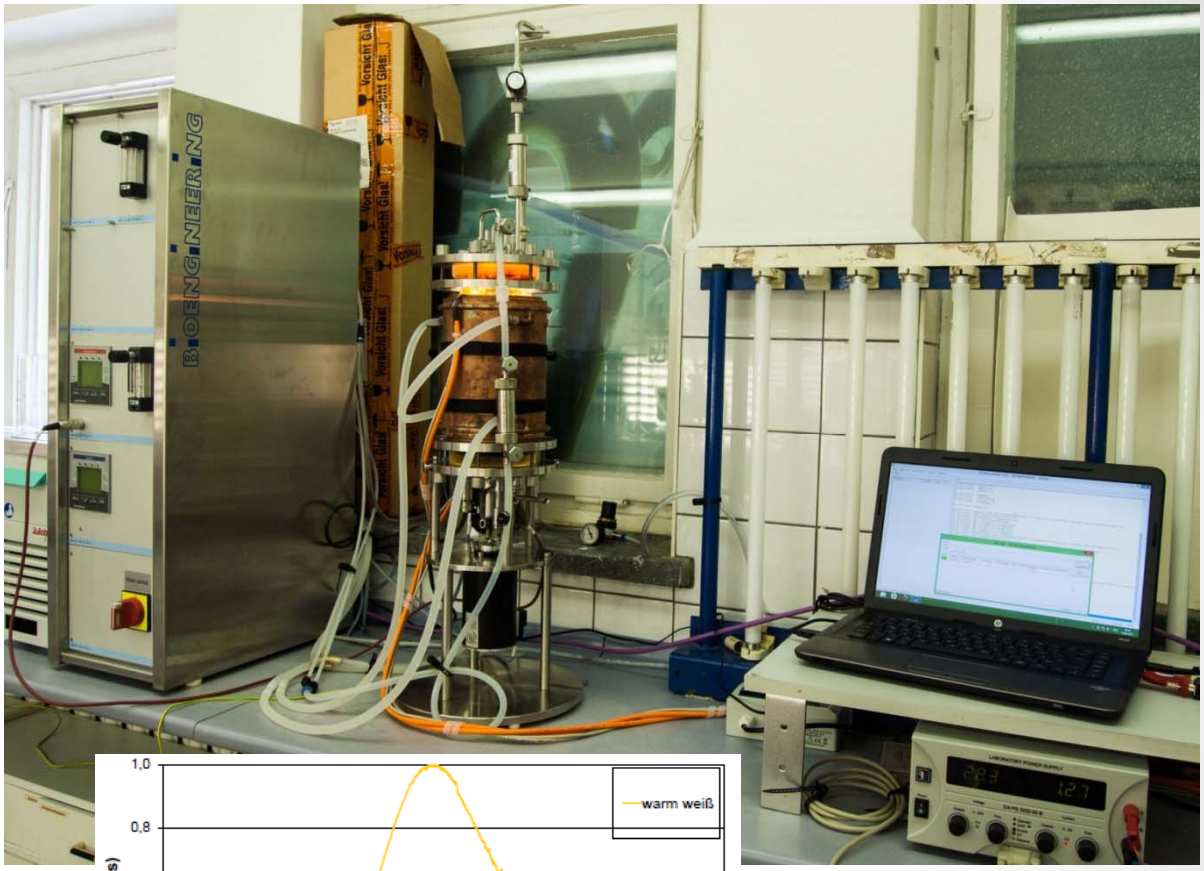
Glasstandzylinder (0,5 l und 1,8 l), Prinzip Blasensäule, und *Nannochloropsis sp.* im Lichtmikroskop

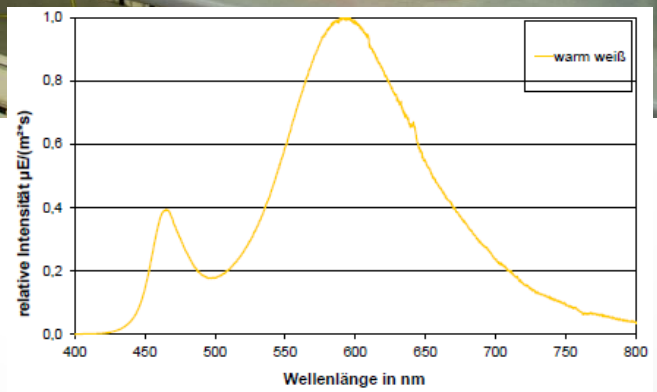


Source: Salata GmbH; Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Kleinlaborfermenter KLF (1,8 l Arbeitsvolumen), Prinzip Rührreaktor, mit LED-Beleuchtungs-einrichtung und deren Spektrum





Source: Salata GmbH; KIT Karlsruhe; Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Tubular-Photobioreaktor PBR 30
(28 l Arbeitsvolumen), Prinzip Rohrreaktor

Source: Salata GmbH; Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

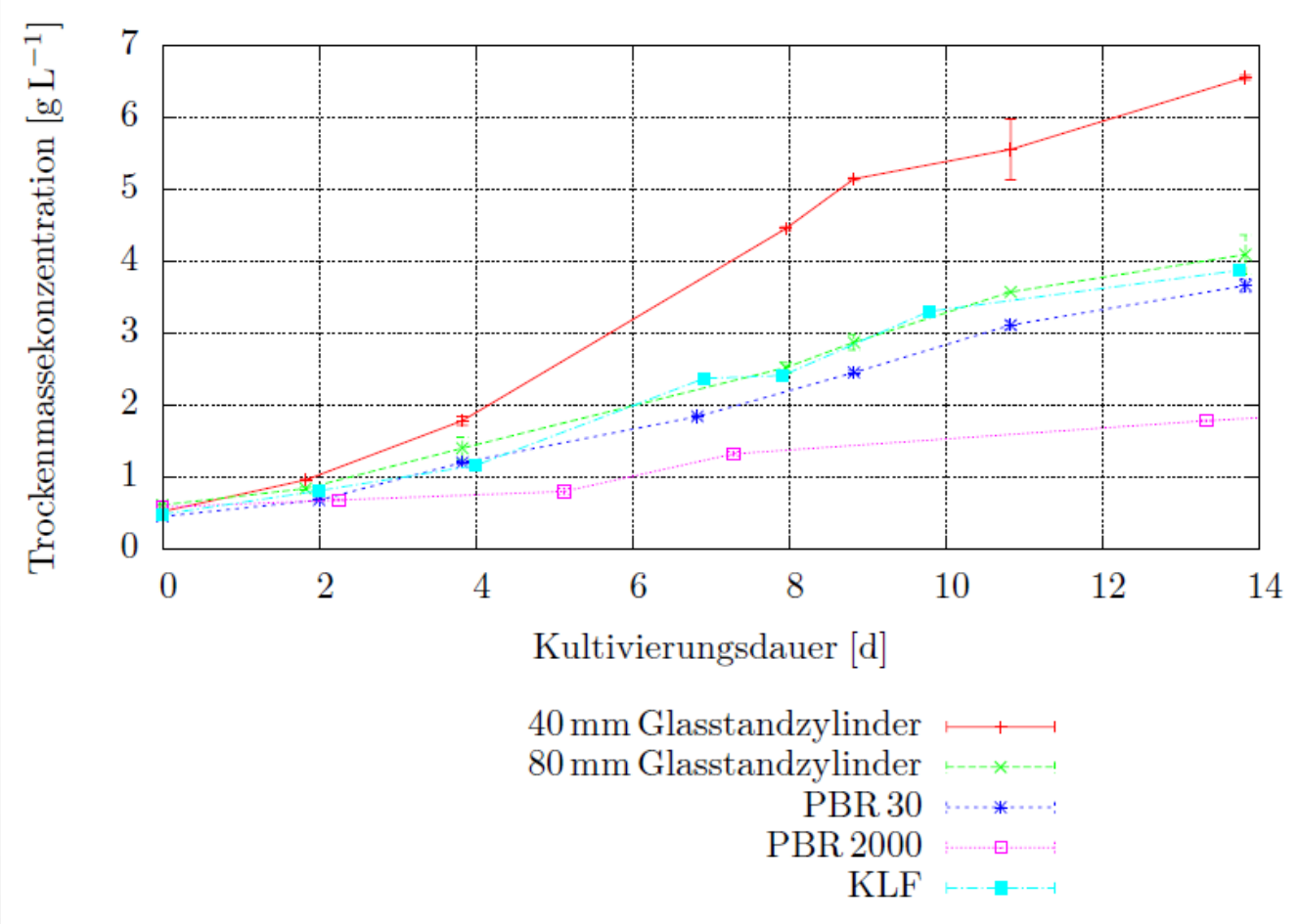
Tubular-Photobioreaktor PBR 2000
(1800 l Arbeitsvolumen), Prinzip Rohrreaktor

Source: Salata GmbH; Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wachstum von *Nannochloropsis sp.* im Batch-Betrieb über 14 d

Algentrockenmassekonzentration

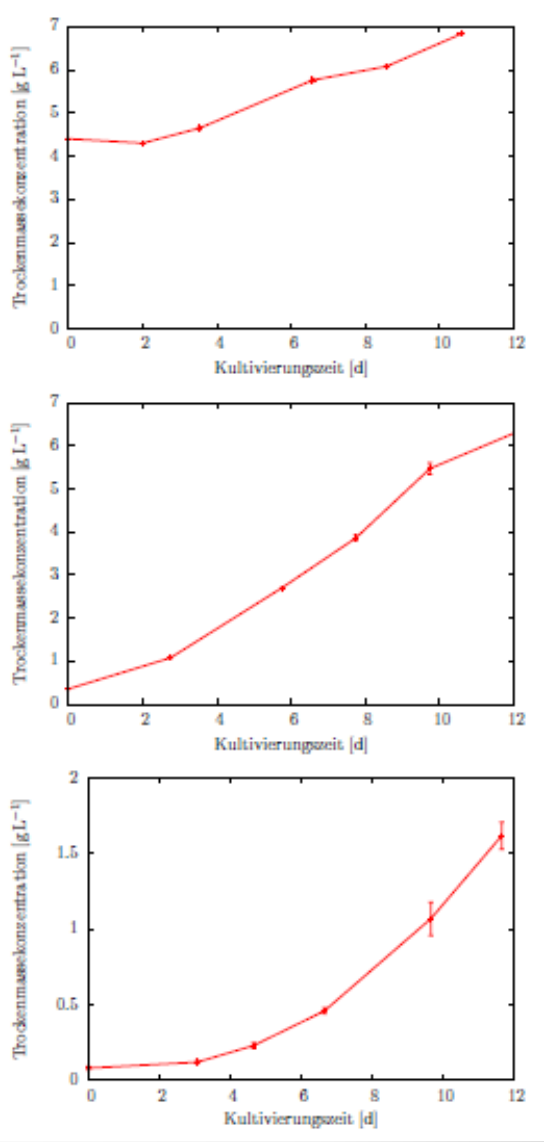


Source: Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wachstum von *Nannochloropsis sp.* im Batch-Betrieb über 12 d

Algentrockenmassekonzentration
nach unterschiedlichen Startkonzentrationen
im KLF

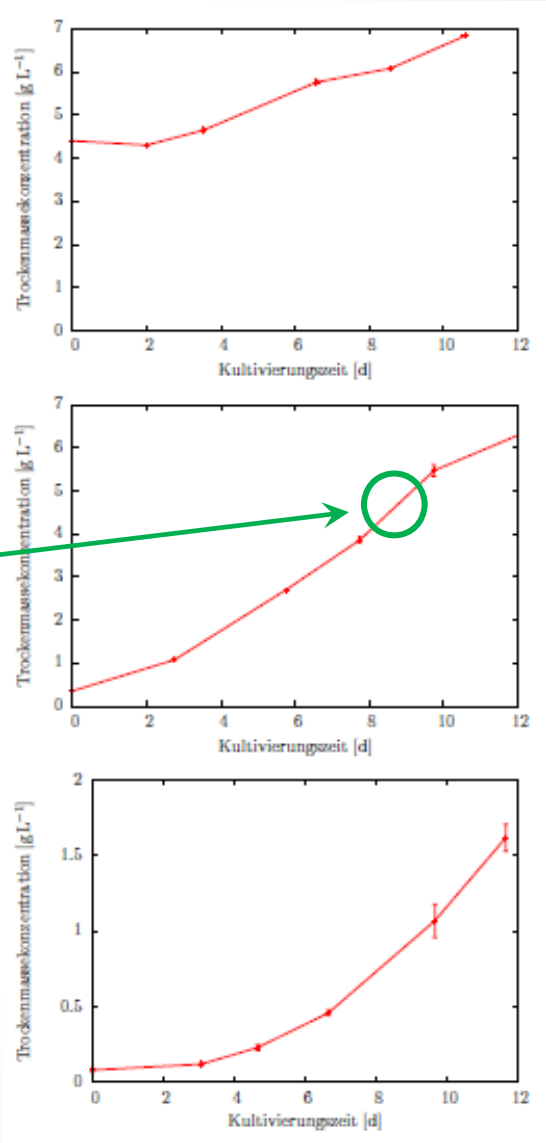


Source: Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Wachstum von *Nannochloropsis sp.* im Batch-Betrieb über 12 d

Algentrockenmassekonzentration
nach unterschiedlichen Startkonzentrationen
im KLF



<u>Schlussfolgerung:</u>

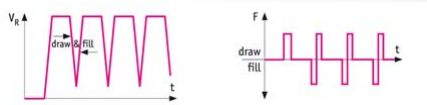
Dieser Arbeitspunkt (-bereich) sollte im kontinuierlichen Betrieb permanent aufrechterhalten werden, da maximaler Biomassezuwachs und damit maximale Raum-Zeit-Ausbeute

Source: Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

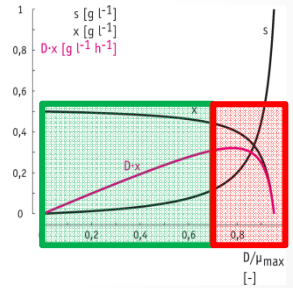
Weitere Strategie zur Optimierung der Bioprozess-Führung bezüglich Biomasse-Ausbeute:

1. Wiederholter/Zyklischer Fed-Batch („Vorkultur“ im Hauptreaktor)



2. Kontinuierliche Kultur

3. Turbidostat-Kultur

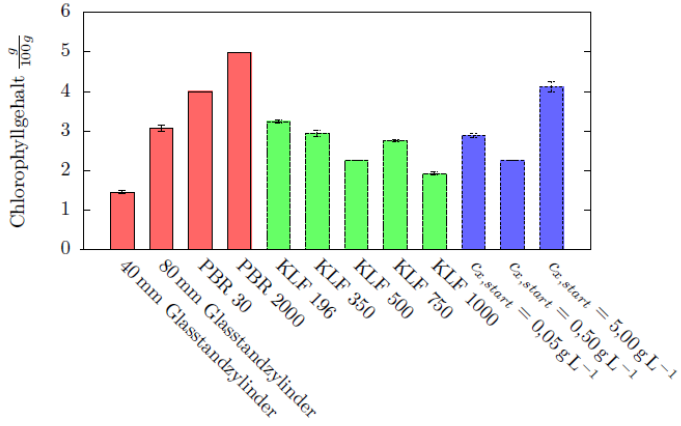


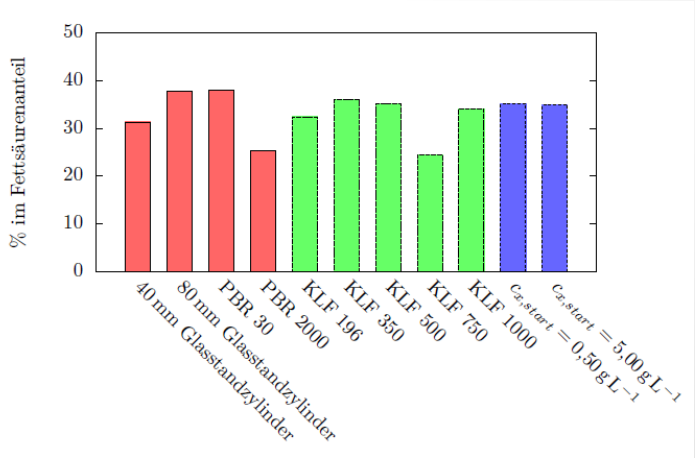
zunächst im KLF und xCubio,
dann PBR 30, dann PBR 2000

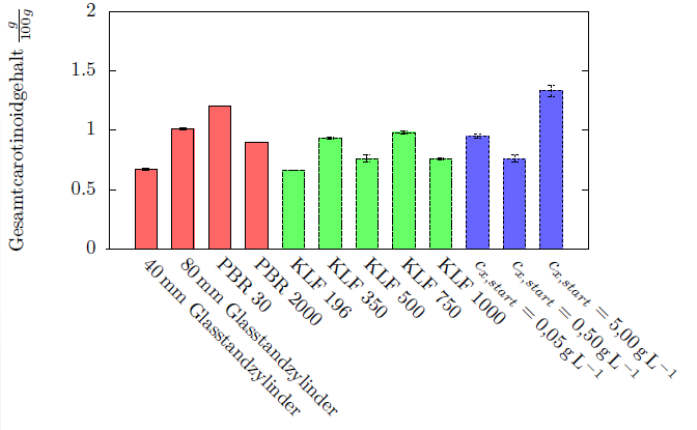
Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Pigment- und Fettsäurebildung von *Nannochloropsis sp.* im Batch-Betrieb nach 12 d

Chlorophyll- und Gesamtcarotinoidgehalt in der Trockenmasse sowie EPA-Anteil im Fettsäureanteil







Source: Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Weitere Strategie zur Optimierung der Bioprozess-Führung bezüglich Fettsäure-Ausbeute:

1. Steuerung der Lichtintensität
   zur Beeinflussung des Fettsäurespektrums

2. Regelung der Nitratkonzentration
   zur Beeinflussung des Fettsäurespektrums

zunächst im KLF und xCubio, dann im PBR 30

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Steuerung der Lichtintensität zur Beeinflussung des Fettsäurespektrums

Tabelle A.5.: Fettgehalt und Fettsäurenzusammensetzung von *Nannochloropsis sp.* nach 12 Tagen Kultivierung bei unterschiedlichen Lichtintensitäten im KLF; Kontinuierliche Beleuchtung; 17,5 °C; 0,1 vvm(2% CO_2); in ES1-Medium

Lichtintensität	196 µmol m^{-2} s^{-1}		350 µmol m^{-2} s^{-1}		500 µmol m^{-2} s^{-1}		750 µmol m^{-2} s^{-1}		1000 µmol m^{-2} s^{-1}	
Einheit	$\frac{g}{100g}$	% im Fettanteil	$\frac{g}{100g}$	% im Fettanteil	$\frac{g}{100g}$	% im Fettanteil	$\frac{g}{100g}$	% im Fettanteil	$\frac{g}{100g}$	% im Fettanteil
Summenparameter										
Fett	19,9		20,90		21,6		29,70		24,40	
Gesättigte Fettsäuren	4,58	22,86	4,77	22,71	5,16	23,75	8,71	29,22	6,34	25,84
Einfach ungesättigte Fettsäuren	6,01	30,20	6,03	28,80	6,92	32,00	10,20	34,43	7,97	32,69
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	9,33	46,66	10,10	48,15	9,54	43,99	10,80	36,03	10,10	41,26
ω-3-Fettsäuren	6,50	32,53	7,59	36,22	7,66	35,34	7,45	25,01	8,36	34,18
Einzelparameter										
Myristinsäure	1,00	5,04	1,02	4,89	1,11	5,16	1,13	3,81	1,27	5,21
Palmitinsäure	3,18	15,98	3,29	15,76	3,56	16,48	5,84	19,67	4,56	18,67
Palmitoleinsäure	4,98	25,05	4,48	21,43	4,79	22,18	4,67	15,74	5,75	23,57
Ölsäure	0,58	2,91	1,03	4,93	1,71	7,92	4,80	16,17	1,69	6,94
Arachidonsäure	2,33	11,73	1,80	8,62	1,38	6,41	1,54	5,18	1,19	4,88
EPA	6,45	32,40	7,51	35,95	7,58	35,08	7,28	24,51	8,31	34,05

Source: Demmel 2013

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Regelung der Nitratkonzentration
zur Beeinflussung des Fettsäurespektrums

Nitratkonzentration und Temperatur haben wesentlichen Einfluss auf Fettsäurengehalt und Anteil an Eicosapentaensäure (EPA) in der Trockenmasse von *Nannochloropsis salina*

Temperature [°C]	Nitrate concentration [µmol NO_3^- L^{-1}]	BDM [g L^{-1}]	µ [d^{-1}]	TFA [% w/w BDM]	EPA [% w/w BDM]
26	1800	0.22 ± 0.02	0.53	12 ± 2	2.5 ± 0.1
	600	0.17 ± 0.01	0.28	29 ± 3	2.8 ± 0.1
	300	0.16 ± 0.01	0.20	42 ± 4	2.1 ± 0.2
	150	0.16 ± 0.01	0.07	47 ± 2	1.4 ± 0.1
	75	0.16 ± 0.01	0.05	43 ± 3	1.1 ± 0.1
21	1800	0.21 ± 0.03	0.41	20 ± 1	3.3 ± 0.2
	600	0.18 ± 0.01	0.27	32 ± 1	2.8 ± 0.1
	300	0.16 ± 0.01	0.15	47 ± 1	2.2 ± 0.1
	150	0.16 ± 0.01	0.08	48 ± 5	1.4 ± 0.1
	75	0.16 ± 0.01	0.04	56 ± 3	1.4 ± 0.1
17	1800	0.18 ± 0.02	0.32	39 ± 5	3.5 ± 0.5
	75	0.18 ± 0.03	0.06	70 ± 2	2.3 ± 0.1

Source: Hoffmann 2010

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Regelung der Nitratkonzentration
zur Beeinflussung des Fettsäurespektrums

- Niedrigere Temperatur führt zu wesentlich höheren Fettsäuregehalten in der Trockenmasse
- Nitratlimitation induziert starke Zunahme der Gesamtfettsäuren in der Trockenmasse
- Gleichzeitig ist EPA-Anteil in den Fettsäuren unter Nitratmangel jedoch stark reduziert

→ Hohe Nitratkonzentrationen mit niedriger Mediumtemperatur führen zum höchsten EPA-Gehalt in der Trockenmasse

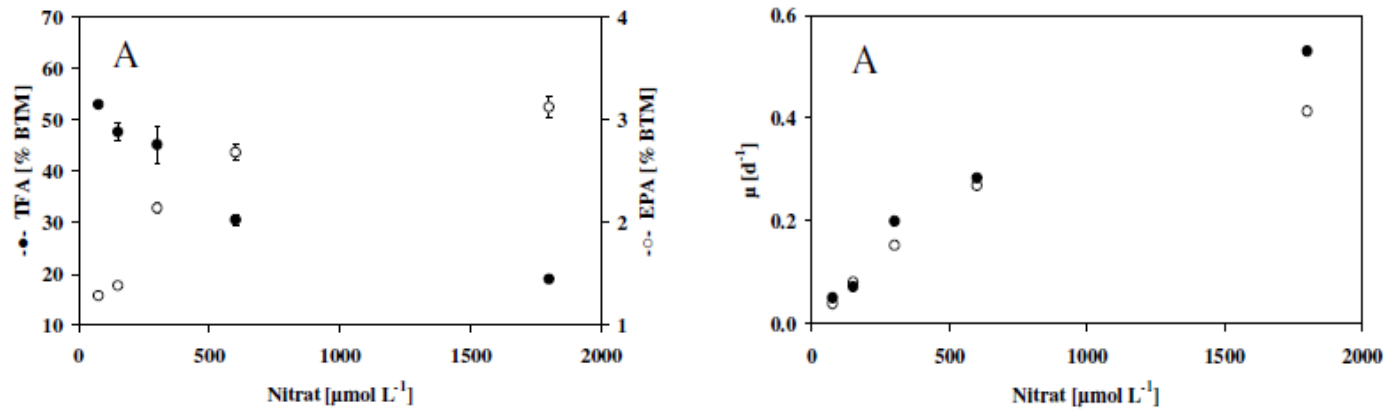
→ Entsprechende Regelung der Nitratkonzentration

Source: Hoffmann 2010

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Regelung der Nitratkonzentration
zur Beeinflussung des Fettsäurespektrums

Gleichzeitig ist Einfluss der Nitratverfügbarkeit und Temperatur auf das Wachstumsverhalten zu beachten



Abhängig von den verschiedenen Zielgrößen (spezifische Wachstumsrate µ, Produktbildungsraten, Biomassezusammensetzung zum Prozessende) unterscheiden sich die optimalen Prozessparameter

→ Entsprechende prozesszeit- und zielgrößenabhängige Bioprozessführungsstrategie mit Nitrat-Regelung daher empfehlenswert

Source: Hoffmann 2010

Quo vadis – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Online-Messung der Nitratkonzentration mittels Tauchsonden für eine genauere Prozessführung – Beispiele:

- Ionenselektive Elektroden sowie optische Sonden zur Nitratmessung sind aus der Abwassertechnik verfügbar

Messmethode	Messbereich	Hersteller
Ionenselektive Elektroden	ca. 0 … 1000 mg/L	Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH Dresden, WTW, Gimat Umweltmesstechnik
Optische Messsonden	ca. 0 … 100 mg/L	WTW, Eigen Messtechnik

- Ermöglichen prinzipiell eine genaue Überwachung und Regelung der Nitratkonzentration im Medium und damit eine Einflussnahme auf den physiologischen Zustand der Alge über die Prozesszeit
- Problem: Ionenselektive Elektroden werden durch Chlorid- und Kalium-Ionen beeinflusst (hohe Salzkonzentrationen in Meerwassermedien)
- Optische Messsonden kompensieren diese Störeinflüsse effektiver
- Messbereich der optischen Messsonden aber evtl. je nach Medium zu klein

Zusammenfassung

- ***Status quo***

  Überblick insbesondere zu
  Bioprozess-MSR-Technik und Bioprozess-Führung
  als auch mathematischer Modellierung zur Optimierung
  von algenbiotechnologischen Prozessen

- ***Quo vadis***

  Diskussion insbesondere konkret auf Basis
  erster Projektergebnisse und Schlussfolgerungen
  für die weitere Arbeit zur Optimierung
  der Biomasse- und Fettsäuren-Ausbeuten
  von *Nannochloropsis sp.*
  (Bioprozess-Regime, Steuerung, Regelung)

Ausblick

Tubular-Laborphotobioreaktor xCubio (4 l Arbeitsvolumen)

<u>kofinanziert durch:</u>

STIFT Erfurt und
EAH Jena (Rektorfonds,
Forschungsausschuss
und Fachbereich MT/BT)

<u>verfügbar:</u>

ab November 2013
am FG Bioprozess-MSR-Technik

Source: IGV GmbH 2013

Dank

… dem BMBF
für die Finanzierung
des Innovationsforums,

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

… dem medways e.V., Jena,
insbesondere GF V. Wiechmann,
für die Initiierung und Koordination
des Innovationsforums

med ways.

… und den Anwesenden
für die Aufmerksamkeit!

VIELEN DANK!

Source: BMBF 2013