

Algenbiotechnologie 4.0 - von der Kinetik zur Prozessautomation

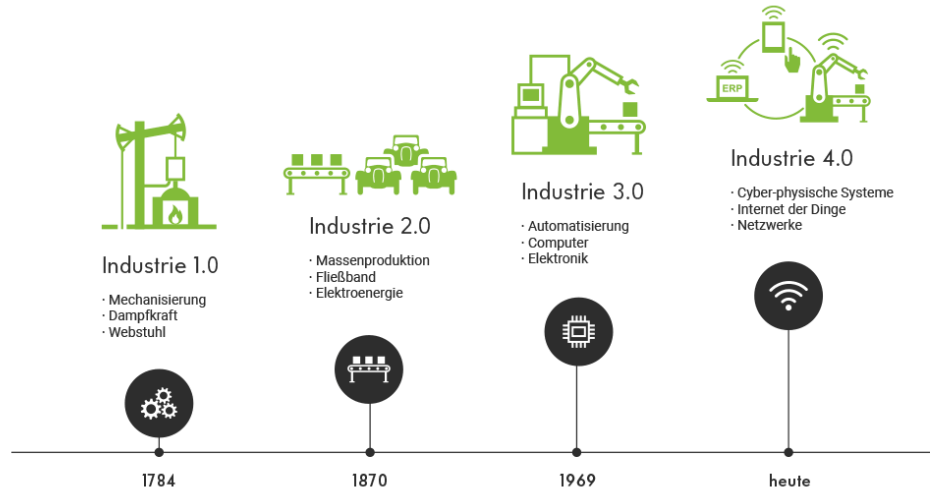
Dr.-Ing. Felix Krujatz & Gunnar Mühlstädt



Was heißt Industrie 4.0?

„Industrie 4.0 ist eine Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme“

Arbeitskreis Industrie 4.0



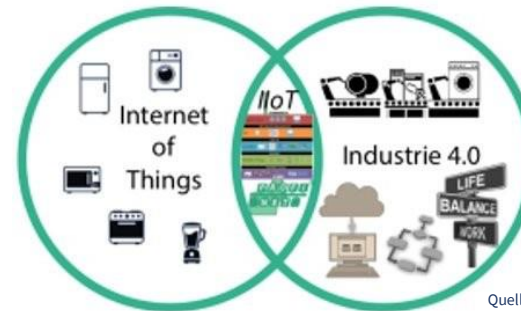
Im Zentrum der Industrie 4.0 steht nicht der Computer, sondern das **Internet**.

Was ist das Industrielle Internet der Dinge?

Das Industrial Internet of Things (IIoT) ist die industrielle Umsetzung des Internet of Things (IoT) dar. Es setzt im Gegensatz zum IoT nicht die verbraucherorientierten Konzepte um, sondern die Anwendung des Internets der Dinge im produzierenden und industriellen Umfeld.

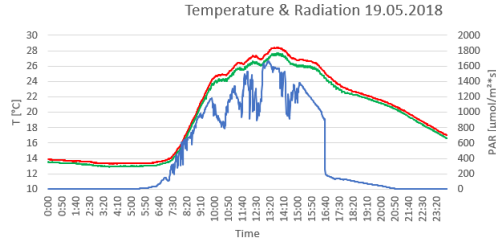


Quelle: <https://blog.econocom.com/>



Quelle <http://www.elevateiot.com/iiot/>

Wo steht die Algenbiotechnologie auf dem Weg zu Industrie 4.0?



Im industriellen Umfeld heute meist Visualisierung von Prozessparametern (Monitoring), Aufzeichnung von Daten (Darstellung von Historie), einfache Regelungen (P(I)Algorithmen) oder Steuerung von z.B. pH, Temperatur, Durchflüssen, Füllständen,... . Selten intelligente Verarbeitung der Daten, Kommunikation und Interaktion von Anlagen (Downstream, Facilities, Logistik, Sales)

Warum?

- Mangel an preiswerter industrietauglicher Prozessmesstechnik für Algenbioprozesse
- Oft vergleichsweise geringe Datenbasis um „Big-Data“ umsetzen und intelligent verarbeiten zu können
- Selten ausreichend gut anwendbare Modelle des Gesamtsystems Algenbioreaktor vorhanden („Digitaler Zwilling“ des Gesamtsystems ist in industrieller Praxis selten existent)
- Keine einheitlichen Standards vorhanden, keine gemeinsame Terminologie
- Laborpraxis vs. Industrielle Anwendbarkeit

Grundsätzlich auf Grund meist langsamer Prozesse technisch gut implementierbar!

Welche Informationen sind notwendig (Prozessverständnis)



Was ist für Industrie 4.0 notwendig

- Unterschiedlichste Parameter müssen gemessen, erfasst, verarbeitet und ausgetauscht sowie ggf. beeinflusst werden
- Messungen (bzw. Interpretationen) erfolgen oft indirekt über Sekundärparameter (z.B. Trübung → Biomassekonzentration)
- System Alge und Reaktor sehr komplexe interagierende Einzelprozesse, Modellierung einzelner Phänomene gelingt heute schon hinreichend gut, Gesamtmodell (thermodynamisch, physikalisch-chemisch, bio-chemisch) schwierig



Industrielle Anwendung:

- Was ist das Produktionsziel?
- Welche physikalischen/chemischen Parameter sind wirklich relevant?
- Welche davon können wie gemessen werden?
- Wie können einzelne Parameter beeinflusst/geregt werden (wirtschaftlich sinnvoll?)
- Welche Informationen benötigt wer? (Eigentümer / Anwender / Betreiber / Service / Kunde)?
- Ist eine passende IT Infrastruktur und Kompetenz vorhanden?



Biologie

- Populationsdynamik:
- Zellzyklus
- Produktgehalte
- Kinetik
- WW Zelle - Reaktor

Sensorik

- Zellkonzentration
- Nährstoffe
- dO_2 , dCO_2 , pH
- Kontaminationen
- Neue Konzepte

Reaktor

- Reaktortyp
- Digitaler Zwilling
- Hydrodynamische Parameter
- Stofftransfercharakteristik
- Oberfläche/Volumen

Daten

- Schnittstellen
- Darstellung von Daten
- Datenverarbeitung
- Datenspeicherung
- Zentralisierung von Daten

Prozess

- Batch2Conti
- Prozessintegriertes Downstream



Biologie

- Populationsdynamik:
- Zellzyklus
- Produktgehalte
- Kinetik
- WW Zelle - Reaktor

Sensorik

- Zellkonzentration
- Nährstoffe
- dO_2 , dCO_2 , pH
- Kontaminationen
- Neue Konzepte

Reaktor

- Reaktortyp
- Digitaler Zwilling
- Hydrodynamische Parameter
- Stofftransfercharakteristik
- Oberfläche/Volumen

Daten

- Schnittstellen
- Darstellung von Daten
- Datenverarbeitung
- Datenspeicherung
- Zentralisierung von Daten

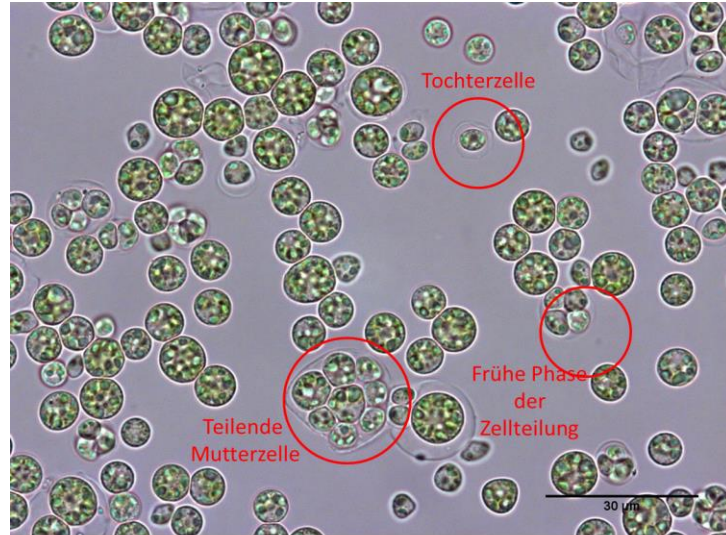
Prozess

- Batch2Conti
- Prozessintegriertes Downstream

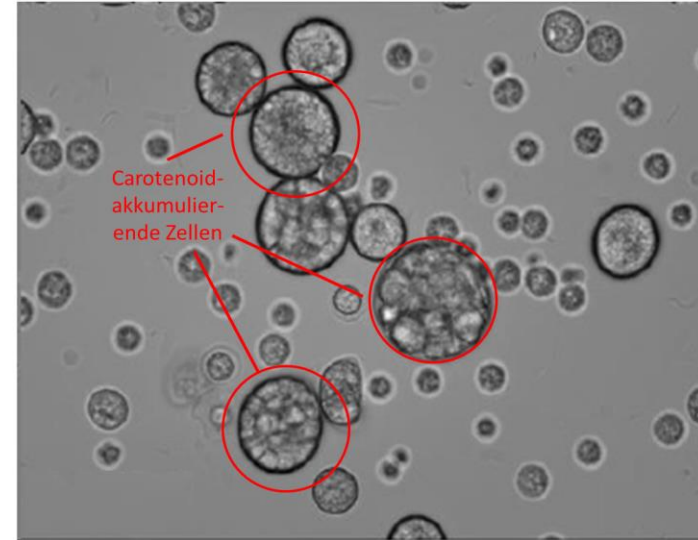


Populationsdynamik wird aktuell noch zu stark vernachlässigt!

Unlimitiertes Wachstum

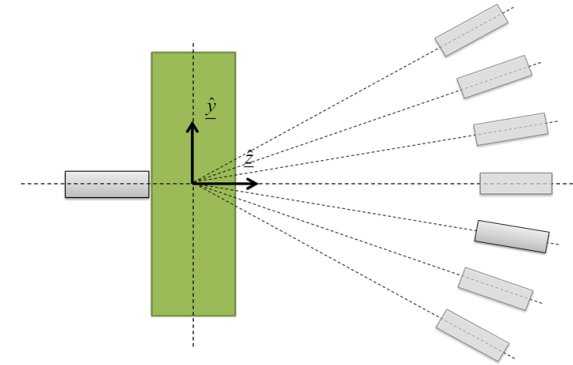
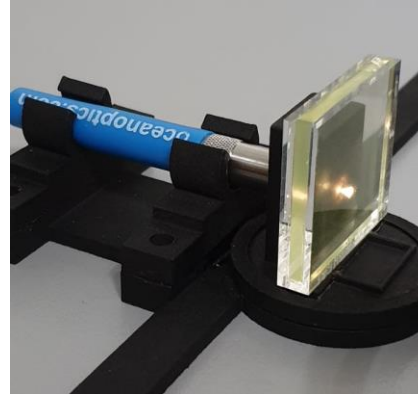
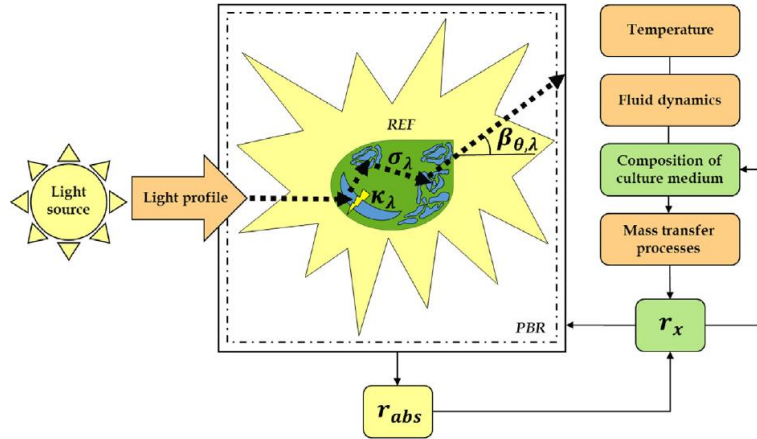


Limitiertes Wachstum



- Viele indirekte Messverfahren liefern Durchschnittswerte der Gesamtpopulation
- Systematische Analyse der quantitativen Stoffwechselleistung in einzelnen Zellzyklusphasen ist wichtig
- Populationsmodelle müssen mit in die kinetischen Betrachtungen einfließen

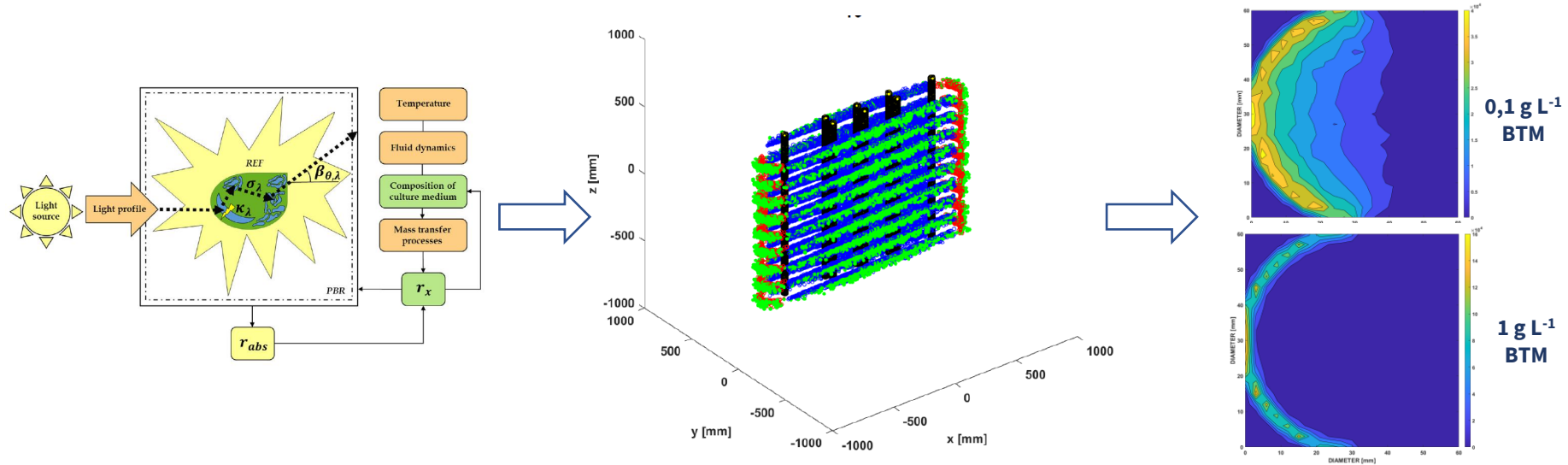
Zellspezifische Wechselwirkungen der Zelle mit Ihrer Umgebung



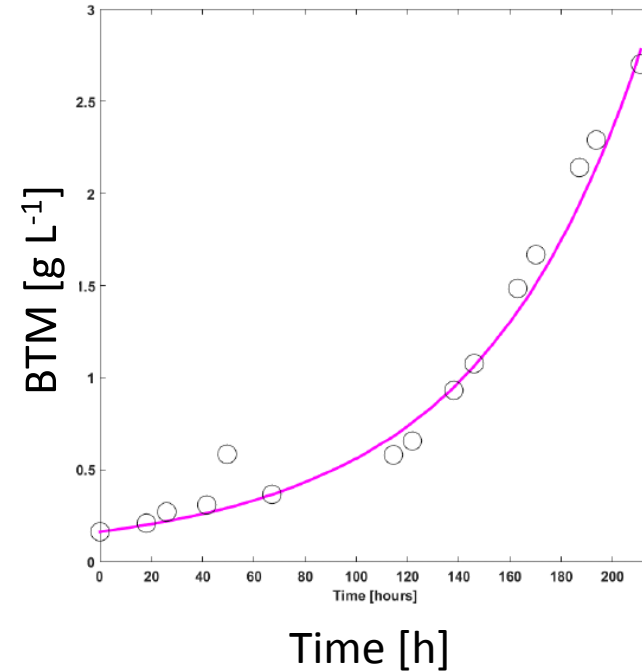
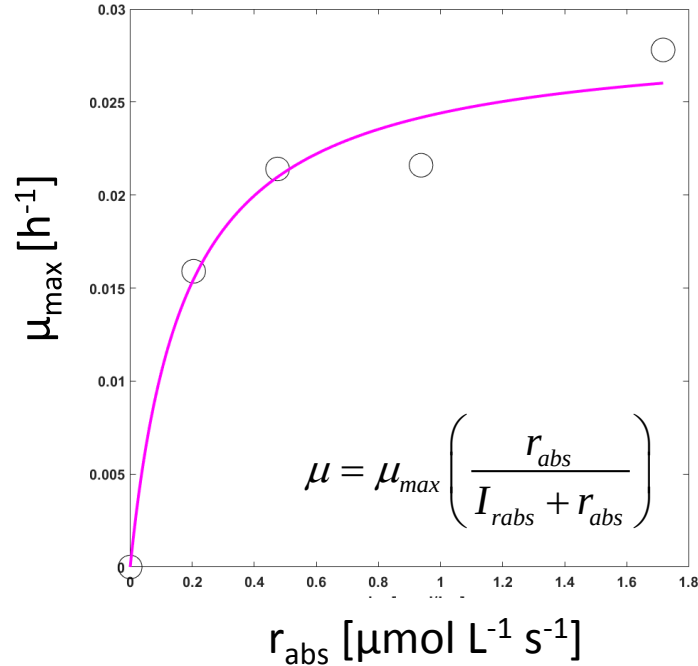
$$\Delta E_{\nu, \underline{\hat{\Omega}}}^{acum}(S) = \Delta E_{\nu, \underline{\hat{\Omega}}}^{in}(S) - \Delta E_{\nu, \underline{\hat{\Omega}}}^{out}(S + \Delta S) - \Delta E_{\nu, \underline{\hat{\Omega}}}^{(abs)}(S) - \Delta E_{\nu, \underline{\hat{\Omega}}}^{(scatt)}(S)$$

- Berücksichtigung der spektralen Verteilung der Lichtquelle
- Berücksichtigung der zellspezifischen Wechselwirkung mit Photonen verschiedener Wellenlänge

Übergang zu generalistischer Beschreibung des Reaktorsystems



- Einbeziehung der Art und Eigenschaften der Lichtquelle & Reaktorgeometrie/material (Energiefeld)
- ***Rates of absorption*** bilden die Grundlage für kinetische Betrachtungen
- Lösung der ***Radiative Transport Equation*** mittels numerischen Methoden (MONTE-CARLO-Simulation)



$$\mu_{\max} = f(r_{\text{abs}}, c_{\text{N}}, d\text{O}_2, k_{\text{L}}a, T, \dots)$$

Multidimensionales Problem



Biologie

- Populationsdynamik:
- Zellzyklus
- Produktgehalte
- Kinetik
- WW Zelle - Reaktor

Sensorik

- Zellkonzentration
- Nährstoffe
- dO_2 , dCO_2 , pH
- Kontaminationen
- Neue Konzepte

Reaktor

- Reaktortyp
- Digitaler Zwilling
- Hydrodynamische Parameter
- Stofftransfercharakteristik
- Oberfläche/Volumen

Daten

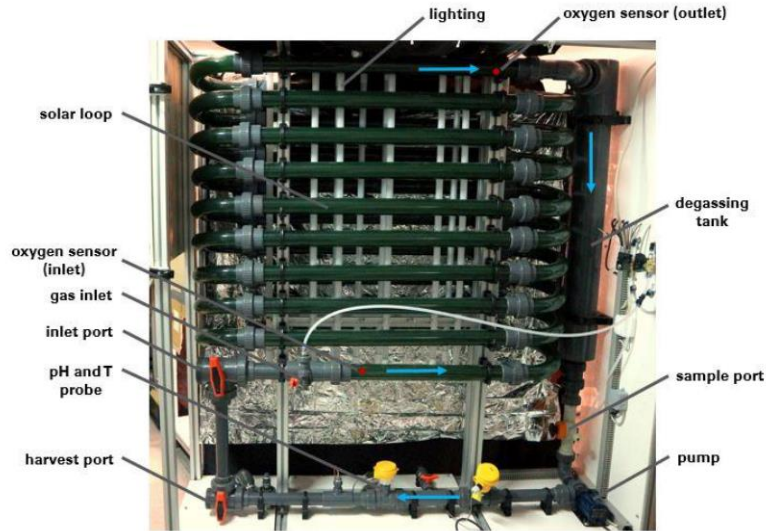
- Schnittstellen
- Darstellung von Daten
- Datenverarbeitung
- Datenspeicherung
- Zentralisierung von Daten

Prozess

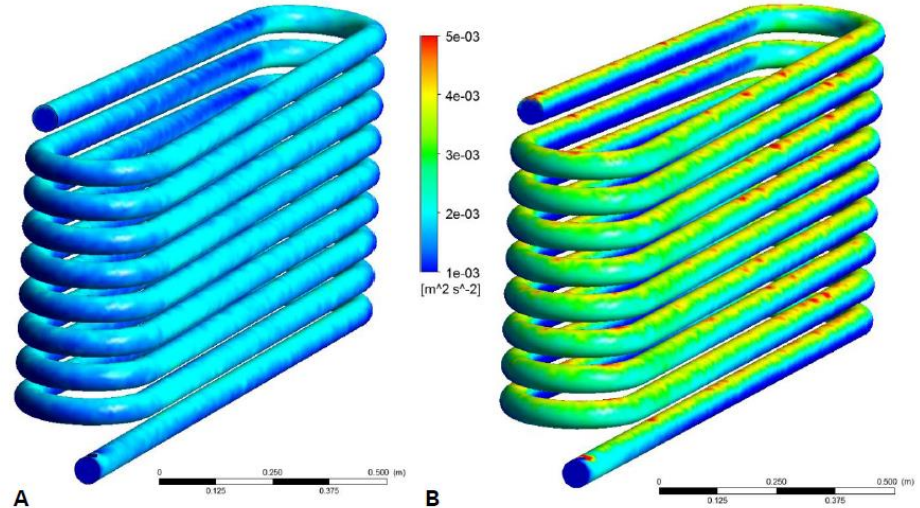
- Batch2Conti
- Prozessintegriertes Downstream



Digitaler Zwilling ist notwendig



100 L Rohrreaktor



ANSYS: Turbulente kinetische Energie in einem 100 L Rohrreaktor

- Kombinatorische Nutzung verschiedener Simulationswerkzeuge (CFD – CAD – MATLAB – PHYTON – ANSYS – COMSOL)
- **Standardisierte Verfahren** zur Ermittlung der Hydrodynamik der Reaktorsysteme

Multidimensionales Problem



Biologie

- Populationsdynamik:
- Zellzyklus
- Produktgehalte
- Kinetik
- WW Zelle - Reaktor

Sensorik

- Zellkonzentration
- Nährstoffe
- dO_2 , dCO_2 , pH
- Kontaminationen
- Neue Konzepte

MOProALGE
BIOPROZESS-MONITORING

Reaktor

- Reaktortyp
- Digitaler Zwilling
- Hydrodynamische Parameter
- Stofftransfercharakteristik
- Oberfläche/Volumen

Daten

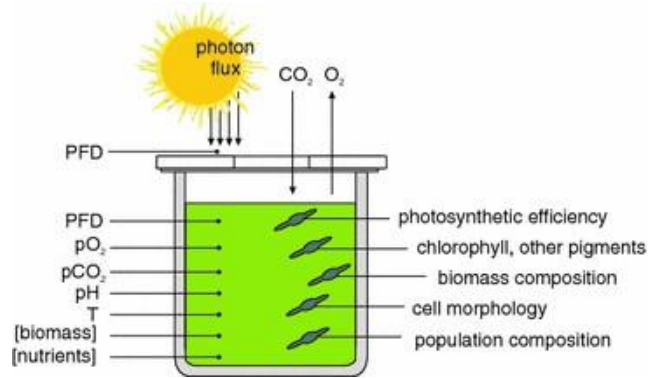
- Schnittstellen
- Darstellung von Daten
- Datenverarbeitung
- Datenspeicherung
- Zentralisierung von Daten

Prozess

- Batch2Conti
- Prozessintegriertes Downstream



Was müssen wir messen, um den Prozess zu verstehen?



Havlik et al. (2015) Monitoring of Microalgal Processes. In: Posten C., Feng Chen S. (eds) Microalgae Biotechnology. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, vol 153. Springer, Cham.

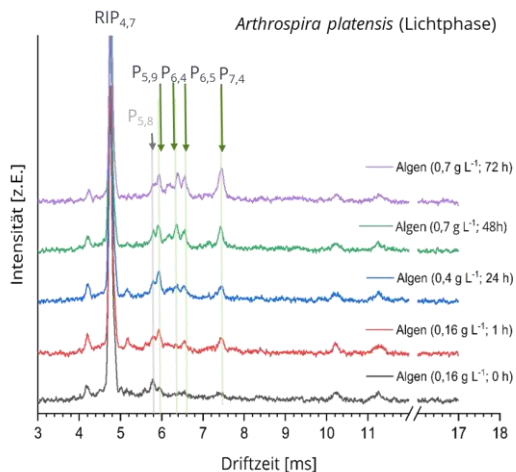
- Optische (in-situ) Verfahren
 - In-situ Mikroskope
 - In-situ PAM (Photosyntheseeffizienz, Kontaminationen)
 - Nahinfrarot/RAMAN-Spektroskopie
- Direkte Messparameter
 - PAR-Strahlung
 - pO₂, pCO₂, T, pH, N-Quelle, P-Quelle
- Indirekte Messparameter
 - Headspace - Analyse?

„Headspace“- Analyse bzw. Elektronische Nase

- Echtzeit-Messung flüchtigen
Substanzen unter
Kultivierungsbedingungen



MOProALGE
BIOPROZESS-MONITORING



AVOCs...Algae volatile compounds

- Bestimmung von IMS-
Strukturmotiven
- Identifikation von Leitsubstanzen
- Ableitung des
Kultivierungszustandes

Multidimensionales Problem



Biologie

- Populationsdynamik:
- Zellzyklus
- Produktgehalte
- Kinetik
- WW Zelle - Reaktor

Reaktor

- Reaktortyp
- Digitaler Zwilling
- Hydrodynamische Parameter
- Stofftransfercharakteristik
- Oberfläche/Volumen

Sensorik

- Zellkonzentration
- Nährstoffe
- dO_2 , dCO_2 , pH
- Kontaminationen
- Neue Konzepte

MOProALGE
BIOPROZESS-MONITORING

Prozess

- Batch2Conti
- Prozessintegriertes Downstream

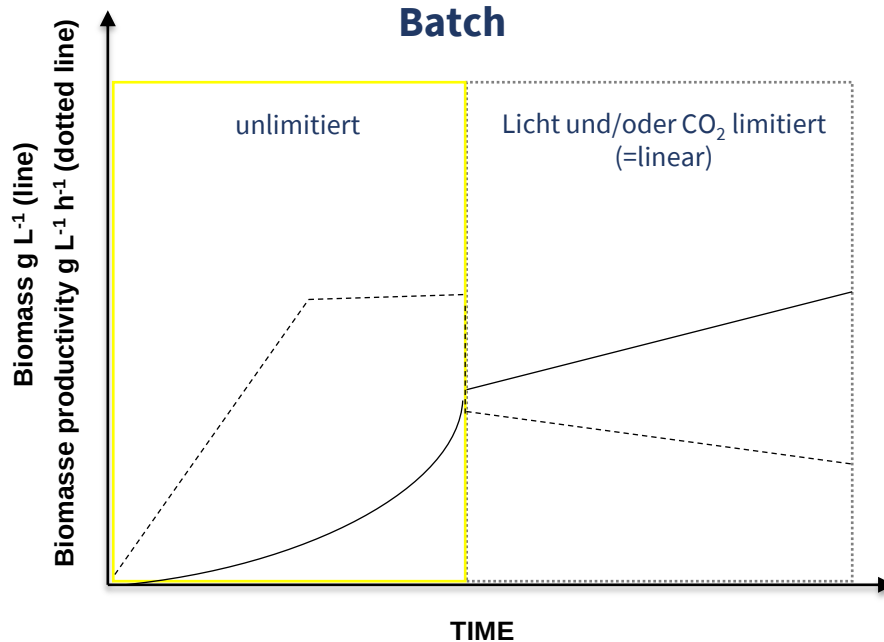
Daten

- Schnittstellen
- Darstellung von Daten
- Datenverarbeitung
- Datenspeicherung
- Zentralisierung von Daten

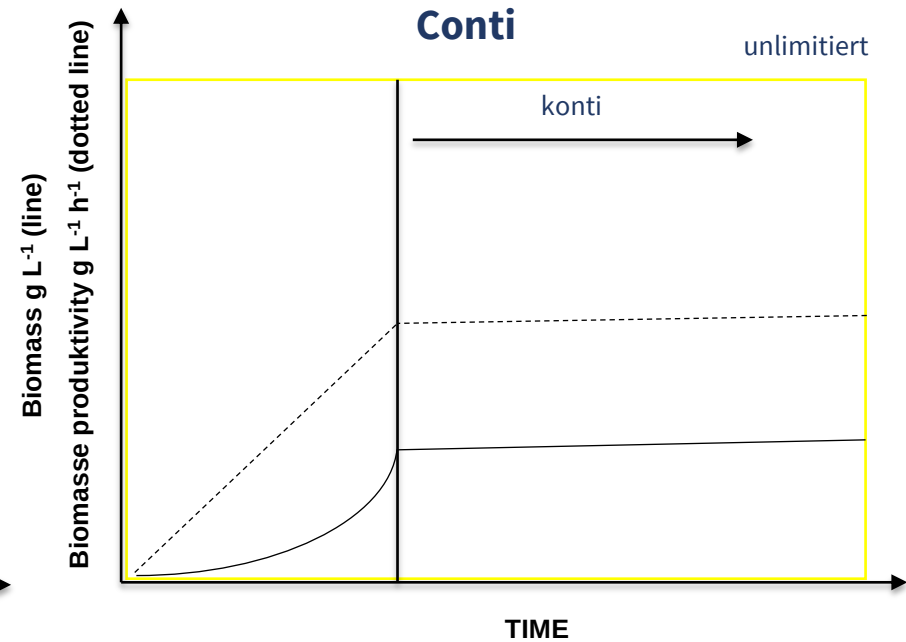


NewFoodSystems
Neue Lebensmittelsysteme

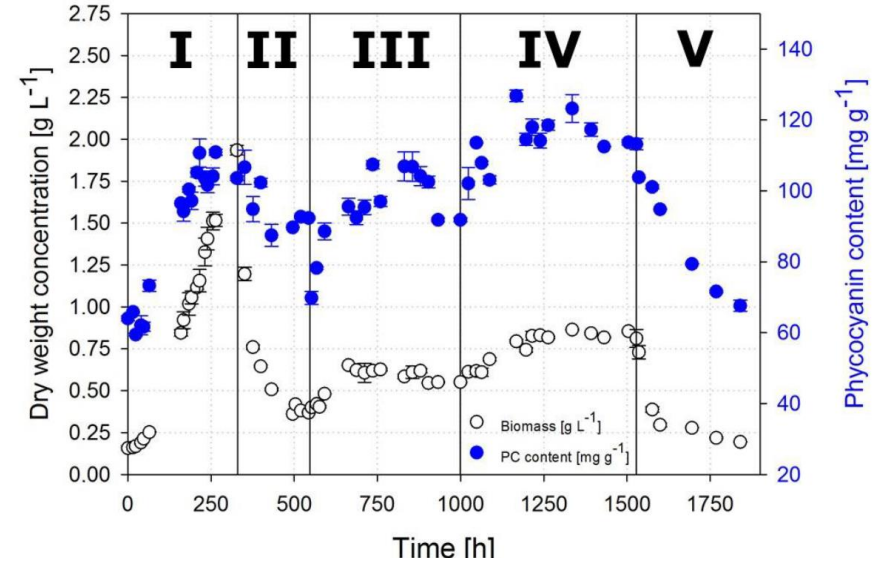
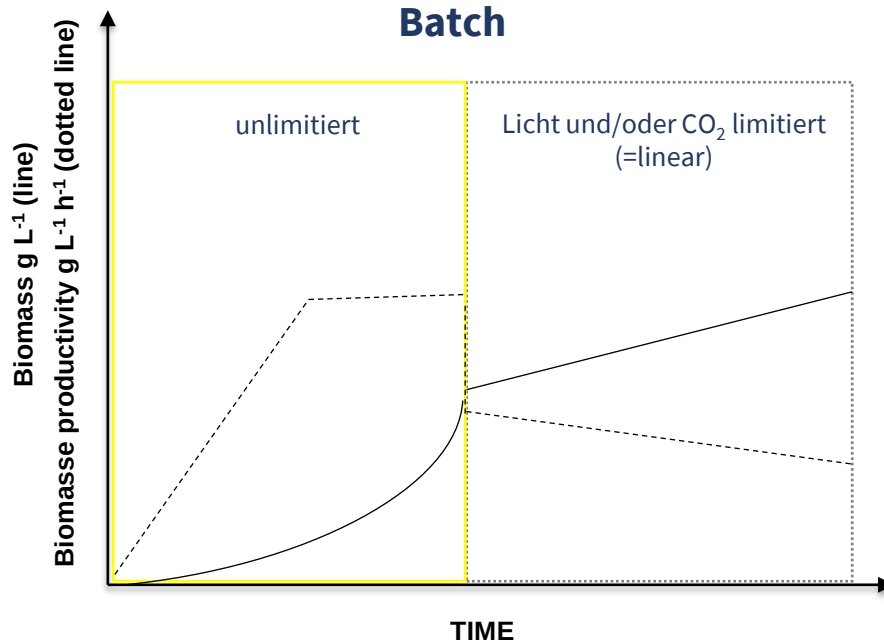
ALGAEMODULE 4.0



- Hohe Dynamik im Prozess: Produktionsraten



- Downstream Processing (konti)
- Recycling - Wasser



- Hohe Dynamik im Prozess: Produktionsraten

- I = batch; II – V = variierende Verdünnungsraten
- 25 L Technikumsrohrreaktor
- Downstream Processing (konti)
- Recycling - Wasser

Multidimensionales Problem



Biologie

- Populationsdynamik:
- Zellzyklus
- Produktgehalte
- Kinetik
- WW Zelle - Reaktor

Reaktor

- Reaktortyp
- Digitaler Zwilling
- Hydrodynamische Parameter
- Stofftransfercharakteristik
- Oberfläche/Volumen

Sensorik

- Zellkonzentration
- Nährstoffe
- dO_2 , dCO_2 , pH
- Kontaminationen
- Neue Konzepte

MOProALGE
BIOPROZESS-MONITORING

Prozess

- Batch2Conti
- Prozessintegriertes Downstream

Daten

- Schnittstellen
- Darstellung von Daten
- Datenverarbeitung
- Datenspeicherung
- Zentralisierung von Daten

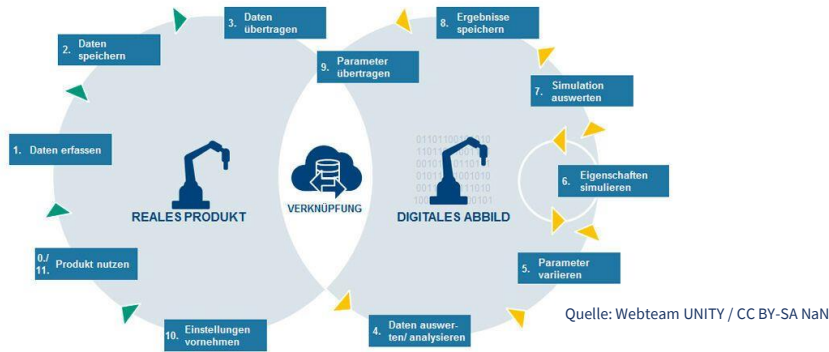


NewFoodSystems
Neue Lebensmittelsysteme

ALGAEMODULE 4.0

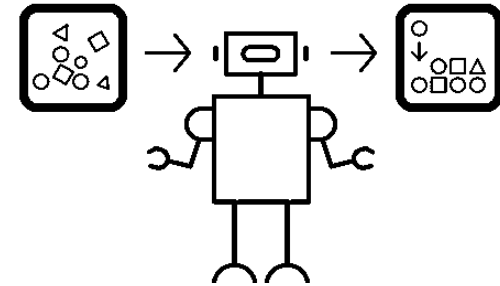
Digitaler Zwilling, Daten Handling, Machine Learning

Digitaler Zwilling



Ermöglicht Prozesse schneller und robuster zu optimieren, optimal zu steuern, Ausfallzeiten zu minimieren sowie neue Betriebskonzepte zu testen.

Machine Learning



Aus unstrukturierten Daten werden Smarte Daten, Grundlage ist jedoch ein ausreichend großer Datenpool

Wäre ein offenes Datenportal ein Grundstein?

Danksagung



Manuel Ibanez – DAAD PhD



Carolyn Schott - PhD



Sabine Franke, Studentin



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE BIOQUÍMICA Y CIENCIAS BIOLÓGICAS



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Danksagung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

TU Dresden – Institut für Naturstofftechnik
Bergstraße 120
01069 Dresden
<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/int>
Felix.Krujatz@tu-dresden.de

<https://digitalgaesation.eu/>
<https://newfoodsystems.de/>

biotopa gGmbH
Bautzner Landstraße 45
01454 Radeberg
<https://www.biotopa.org/>
(under construction)
info@biotopa.org

<https://aquatechlausitz.org/>

