# Pro-ASTAX

## Automation und Prozessoptimierung der Astaxanthin-Produktion

**Partner:**

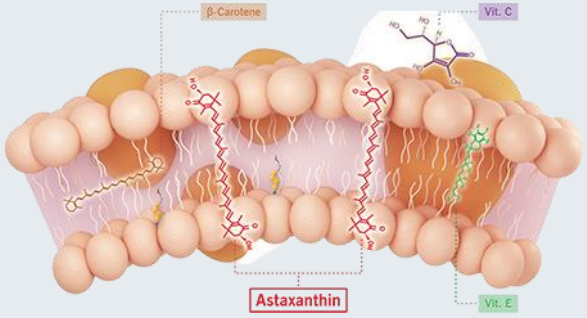
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe
- Sea & Sun Technology, Trappenkamp

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

# Pro-ASTAX: Astaxanthin aus der Mikroalge Haematococcus pluvialis

## Astaxanthin

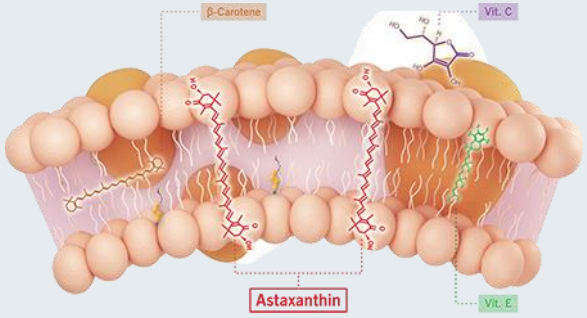
- Starkes, natürliches Antioxidanz; nicht pro-oxidativ
- Bessere Aufnahme (fettlöslich); kann auf beiden Seiten der Zellmembran agieren
- Hoher Marktwert; weltweit steigende Nachfrage



# Pro-ASTAX: Astaxanthin aus der Mikroalge Haematococcus pluvialis

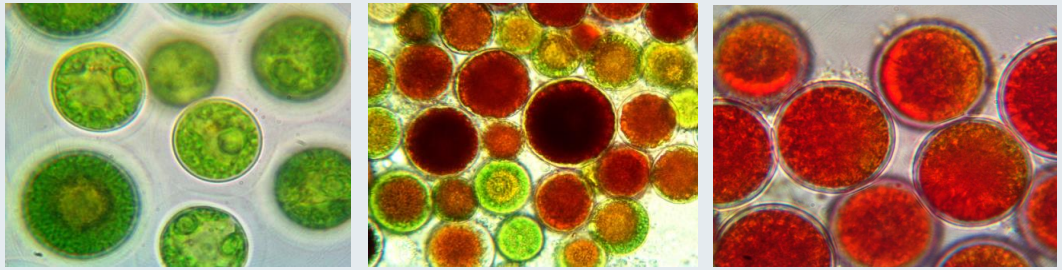
## Astaxanthin

- Starkes, natürliches Antioxidanz; nicht pro-oxidativ
- Bessere Aufnahme (fettlöslich); kann auf beiden Seiten der Zellmembran agieren
- Hoher Marktwert; weltweit steigende Nachfrage

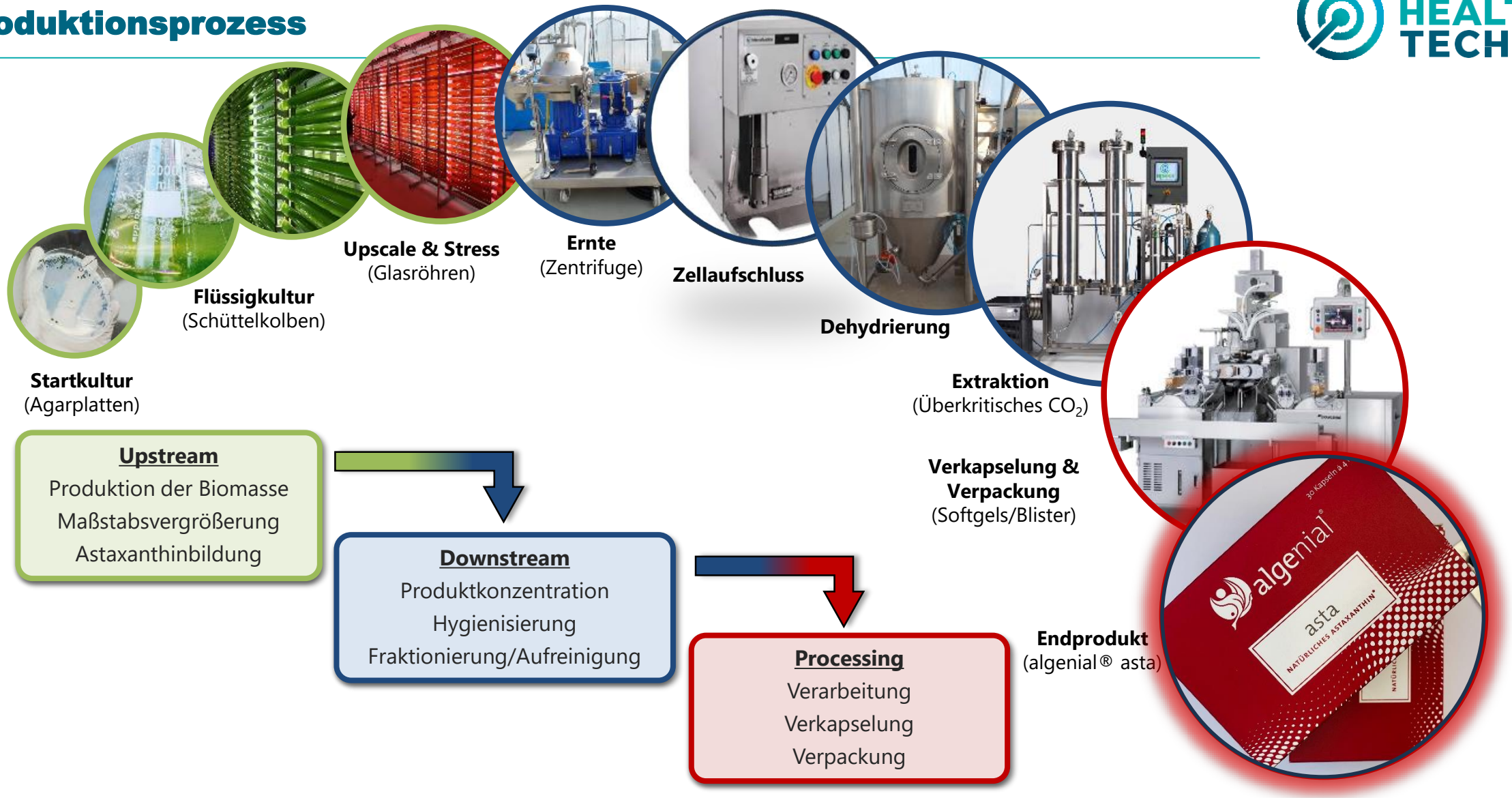


## Mikroalgen

- Höchste natürliche Astaxanthinkonzentration
- Hohe Wachstumsraten und Ausbeuten
- Nachwachsend, nachhaltig, phototrophes Wachstum
- Synthetisches Astaxantin nicht für Human-Ernährung zugelassen



# Produktionsprozess




**Upstream**
Produktion der Biomasse
Maßstabsvergrößerung
Astaxanthinbildung

**Downstream**
Produktkonzentration
Hygienisierung
Fraktionierung/Aufreinigung

**Processing**
Verarbeitung
Verkapselung
Verpackung

# Upstream

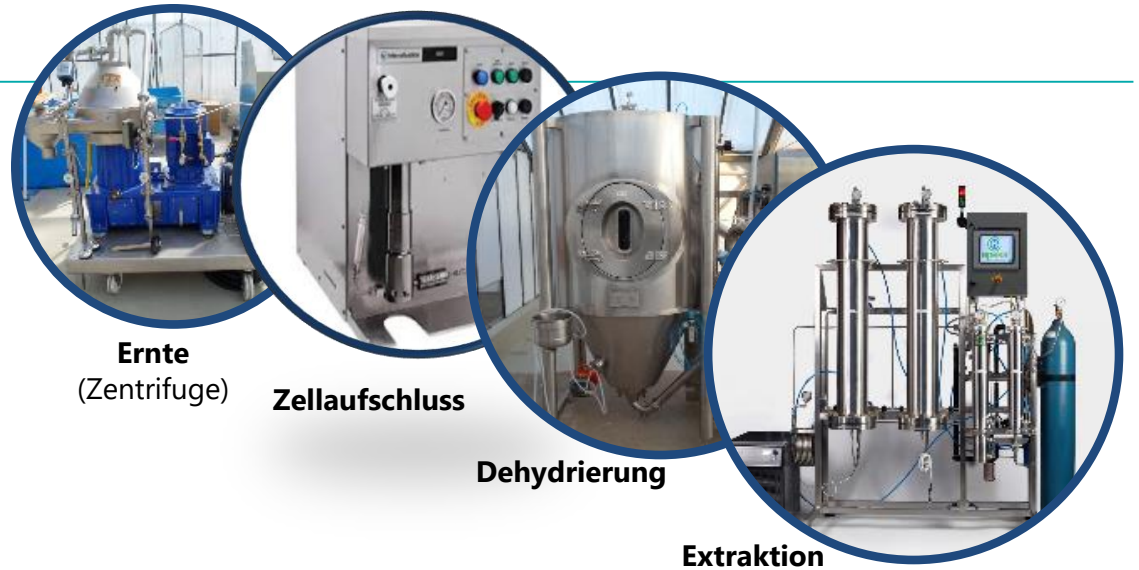
**Upscale & Stress**
(Glasröhren)

**Flüssigkultur**
(Schüttelkolben)

**Startkultur**
(Agarplatten)

| Indoor - Biomasseproduktion **„Grüne Phase“** | Outdoor - Astaxanthinbildung **„Rote Phase“** |
|---|---|

# Downstream

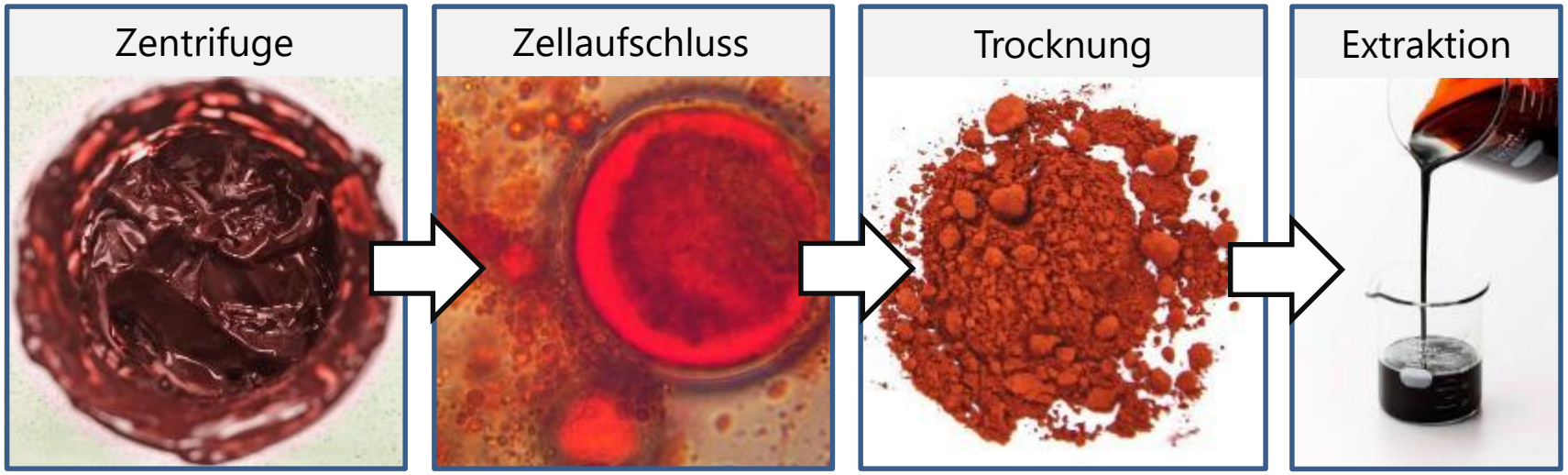


**Ernte**
(Zentrifuge)

**Zellaufschluss**

**Dehydrierung**

**Extraktion**
(Überkritisches $CO_2$)



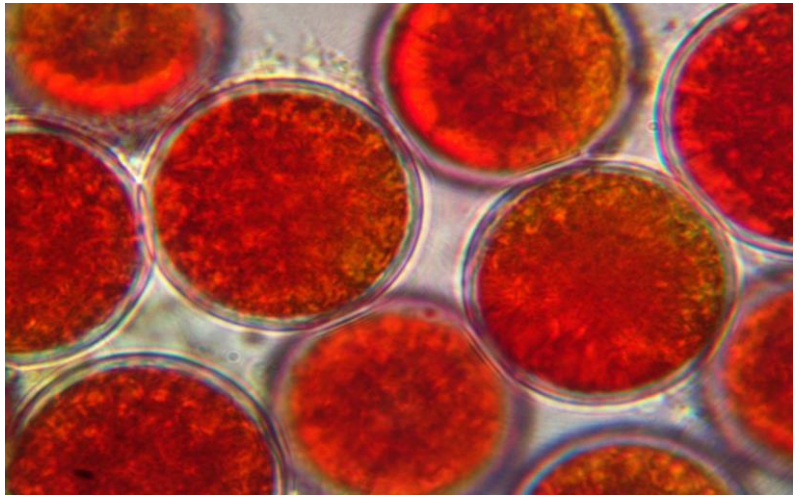
# Pro-ASTAX: Regionale Produktion innovativer Mikroalgenprodukte

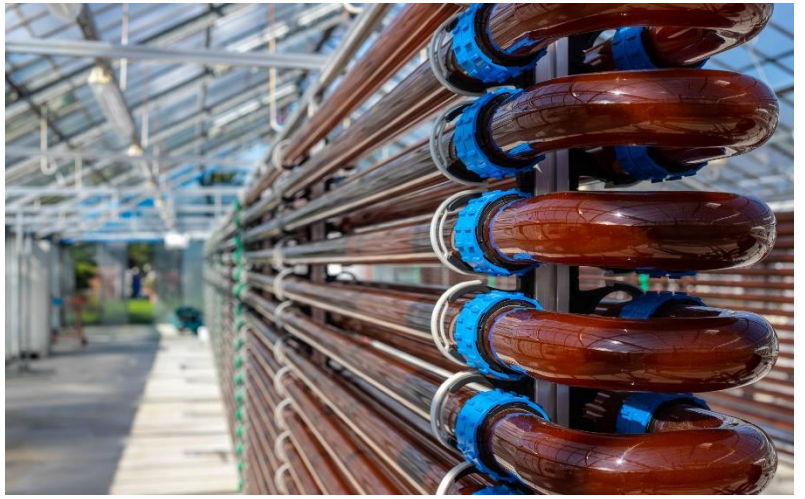
## Erfolgsfaktoren

Digitalisierung und Automatisierung

## Schlüsselfaktoren

- Ermittlung optimaler Produktionsbedingungen
- Automatisierte Realisierung optimaler und wirtschaftlicher Produktionsbedingungen
- Robustheit und Adaptivität
- Prädiktion durch Digitalen Zwilling und Softsensoren
- Integrierte und vernetzte Sensorik und Aktuatorik





## Makroskopische Modellierung

$$\frac{\mathrm{d}b}{\mathrm{d}t} = r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = k_0 \frac{s}{k_s + s}\left(1 - \frac{q}{L_q}\right) - r(CO_2, I)\left(q - k_q\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -k_0 \frac{s}{k_s + s}\, b\left(1 - \frac{q}{L_q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}CO_2}{\mathrm{d}t} = aK_{CO_2}\left(CO_{2_{eq}} - CO_2\right) - \gamma\, r(CO_2, I) b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}O_2}{\mathrm{d}t} = aK_{O_2}\left(O_{2_{eq}} - O_2\right) + \gamma\, r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

# Digitaler Zwilling

## Makroskopische Modellierung

$$\frac{\mathrm{d}b}{\mathrm{d}t} = r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

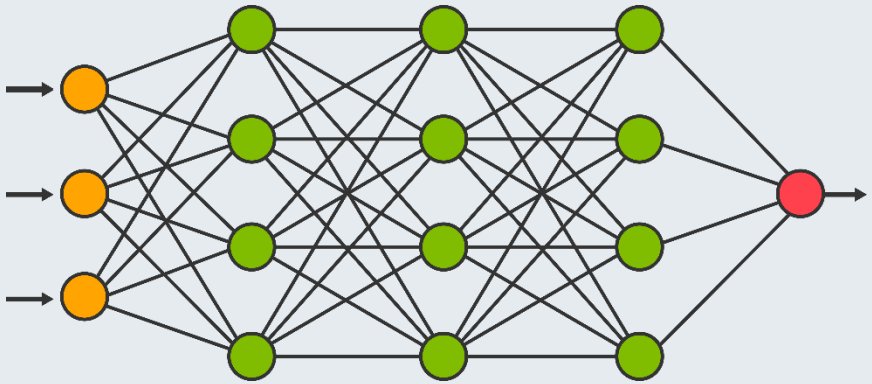
$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = k_0 \frac{s}{k_s + s}\left(1 - \frac{q}{L_q}\right) - r(CO_2, I)(q - k_q)$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -k_0 \frac{s}{k_s + s}\, b\left(1 - \frac{q}{L_q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}CO_2}{\mathrm{d}t} = aK_{CO_2}\left(CO_{2_{eq}} - CO_2\right) - \gamma\, r(CO_2, I) b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}O_2}{\mathrm{d}t} = aK_{O_2}\left(O_{2_{eq}} - O_2\right) + \gamma\, r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

## Datenbasierte Modellierung (*ML / NN*)



… typischerweise *Small-Data*-Probleme

## Makroskopische *Greybox*-Modellierung kombiniert mit ML / NN

### Makroskopische Modellierung

$$\frac{\mathrm{d}b}{\mathrm{d}t} = r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

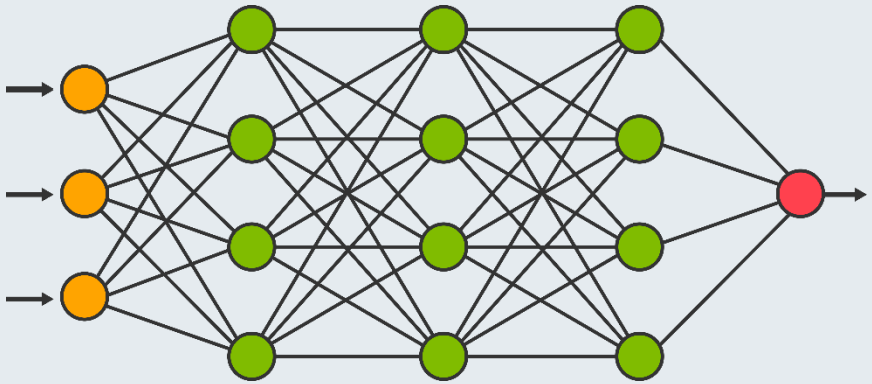
$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = k_0 \frac{s}{k_s + s}\left(1 - \frac{q}{L_q}\right) - r(CO_2, I)(q - k_q)$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -k_0 \frac{s}{k_s + s}\, b\left(1 - \frac{q}{L_q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}CO_2}{\mathrm{d}t} = aK_{CO_2}\left(CO_{2_{eq}} - CO_2\right) - \gamma\, r(CO_2, I) b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}O_2}{\mathrm{d}t} = aK_{O_2}\left(O_{2_{eq}} - O_2\right) + \gamma\, r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

### Datenbasierte Modellierung (*ML / NN*)



… typischerweise *Small-Data*-Probleme

## Makroskopische *Greybox*-Modellierung kombiniert mit ML / NN

### Makroskopische Modellierung

$$\frac{\mathrm{d}b}{\mathrm{d}t} = r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

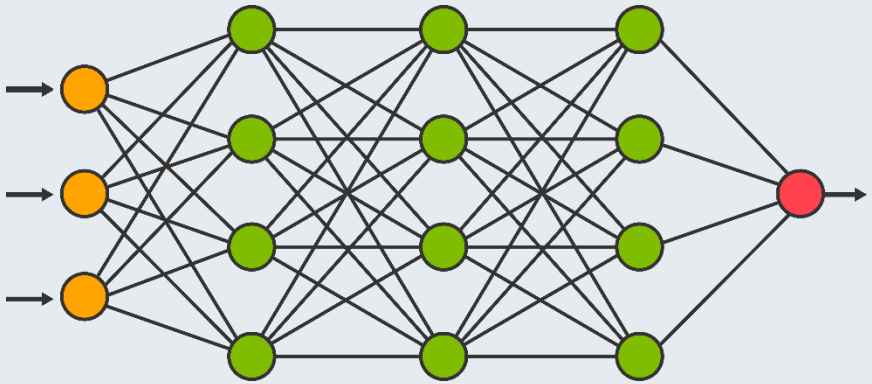
$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = k_0 \frac{s}{k_s + s}\left(1 - \frac{q}{L_q}\right) - r(CO_2, I)(q - k_q)$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -k_0 \frac{s}{k_s + s}\, b\left(1 - \frac{q}{L_q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}CO_2}{\mathrm{d}t} = aK_{CO_2}\left(CO_{2_{eq}} - CO_2\right) - \gamma\, r(CO_2, I) b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}O_2}{\mathrm{d}t} = aK_{O_2}\left(O_{2_{eq}} - O_2\right) + \gamma\, r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

### Datenbasierte Modellierung (*ML / NN*)



… typischerweise *Small-Data*-Probleme

## Makroskopische *Greybox*-Modellierung kombiniert mit ML / NN

### Makroskopische Modellierung

$$\frac{\mathrm{d}b}{\mathrm{d}t} = r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

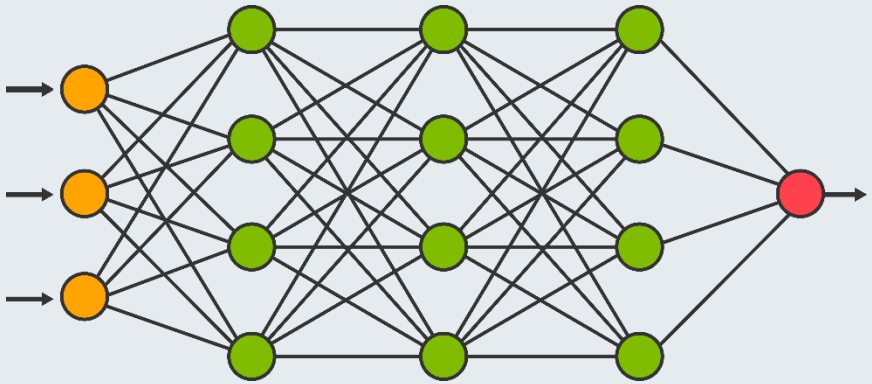
$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = k_0 \frac{s}{k_s + s}\left(1 - \frac{q}{L_q}\right) - r(CO_2, I)(q - k_q)$$

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = -k_0 \frac{s}{k_s + s}\, b\left(1 - \frac{q}{L_q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}CO_2}{\mathrm{d}t} = aK_{CO_2}\left(CO_{2_{eq}} - CO_2\right) - \gamma\, r(CO_2, I) b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}O_2}{\mathrm{d}t} = aK_{O_2}\left(O_{2_{eq}} - O_2\right) + \gamma\, r(CO_2, I)\, b\left(1 - \frac{k_q}{q}\right)$$

### Datenbasierte Modellierung (*ML / NN*)



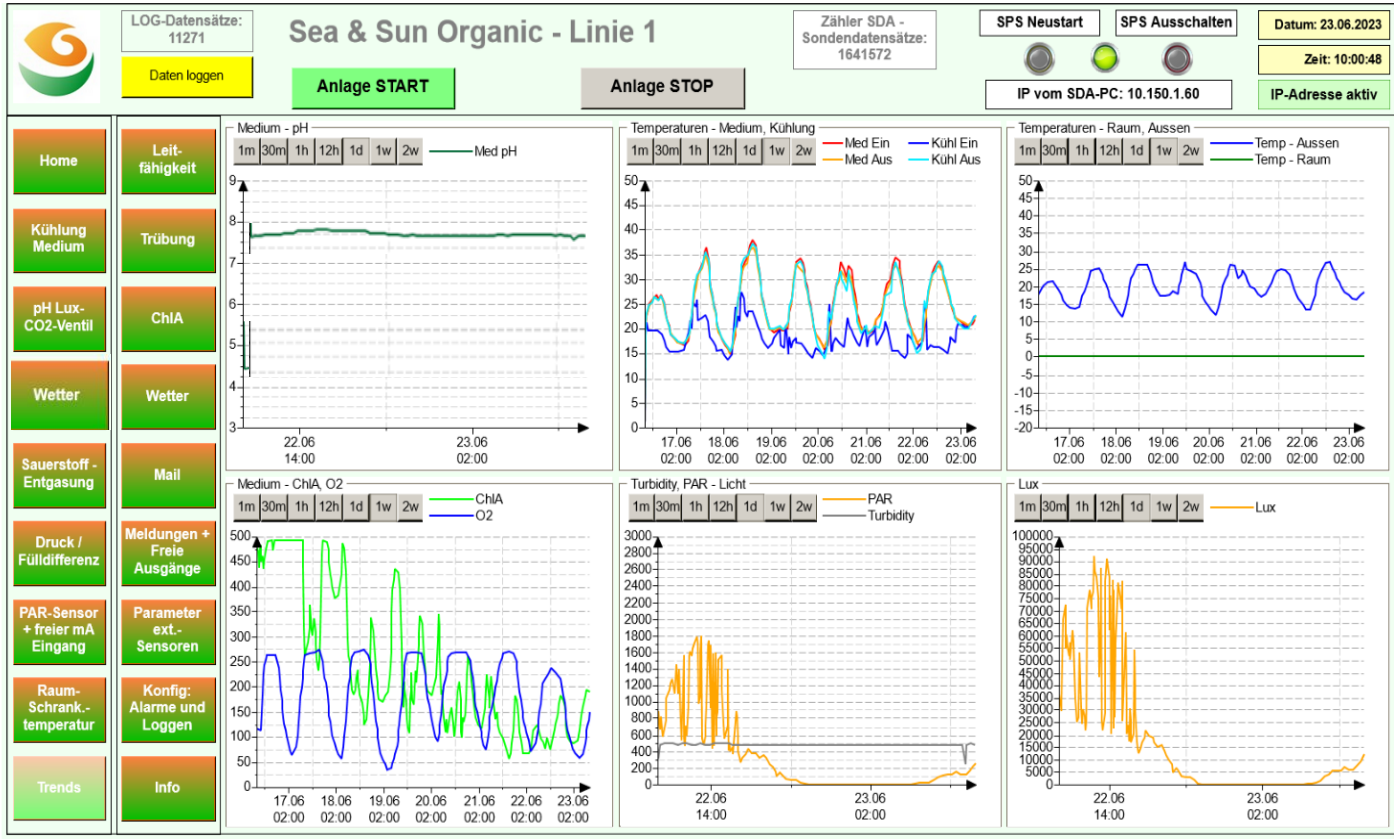
… typischerweise *Small-Data*-Probleme

- Datenbasierte Ermittlung funktionaler Zusammenhänge (Teilmodelle) und Modellparameter
- Mathematische Beschreibung des Algenwachstumsprozesses als Ausgangspunkt der Automation
- Vertieftes Prozessverständnis durch Simulation und digitale Analyse der Prozesskette

# Sensor-Integration, Datenerfassung und Datenaufbereitung

## SPS- Überwachung und Datenaustausch mit KIT

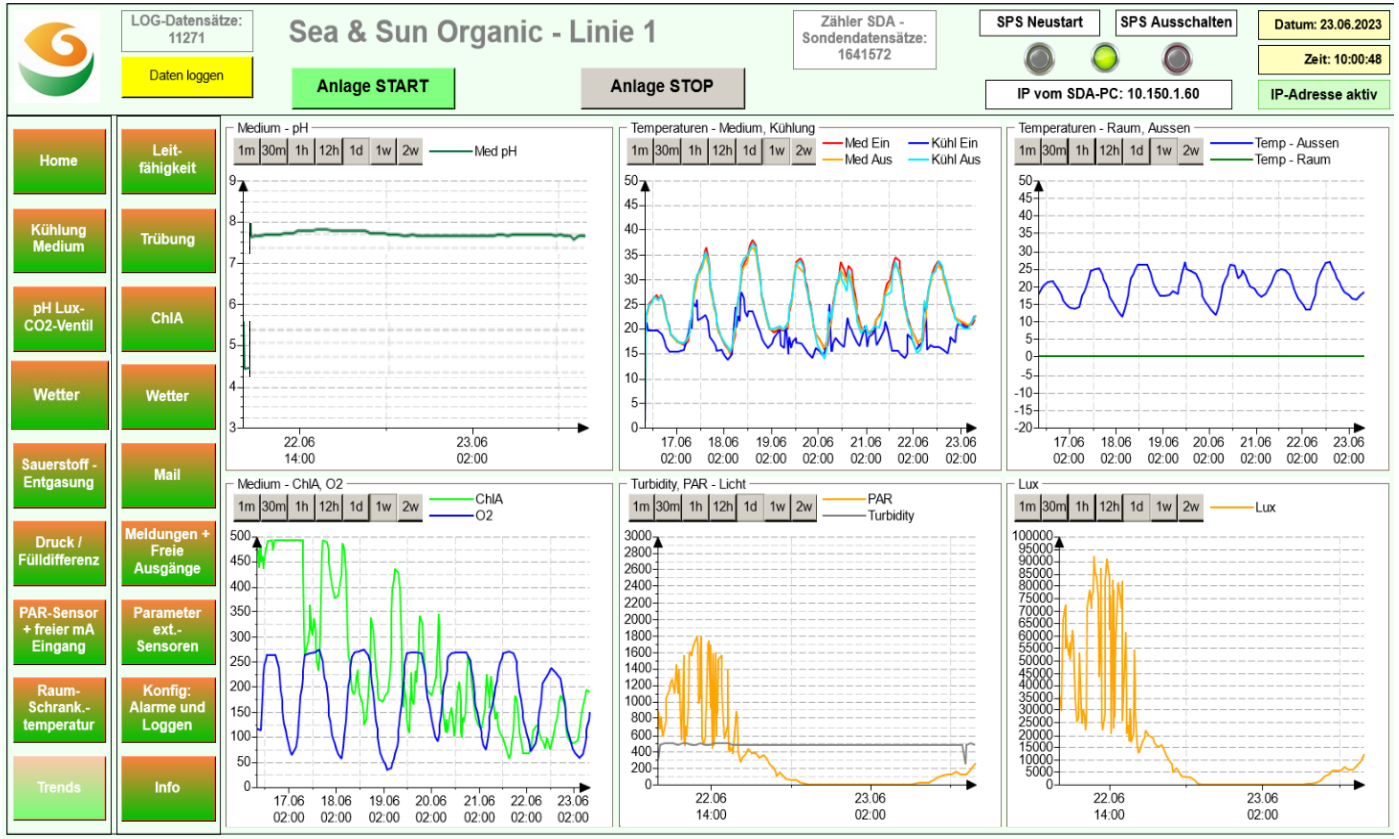
### Laborüberwachung der Prozessparameter



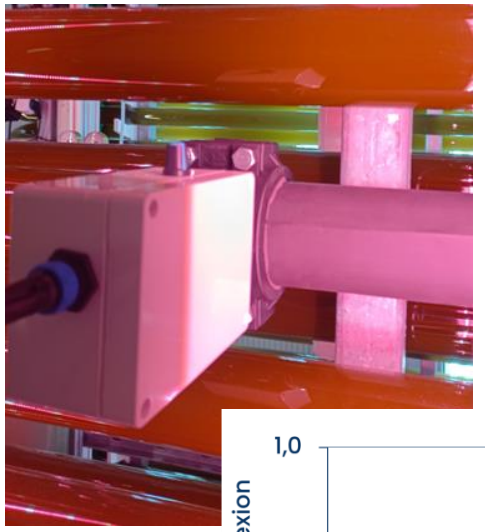
# Sensor-Integration, Datenerfassung und Datenaufbereitung

## SPS- Überwachung und Datenaustausch mit KIT

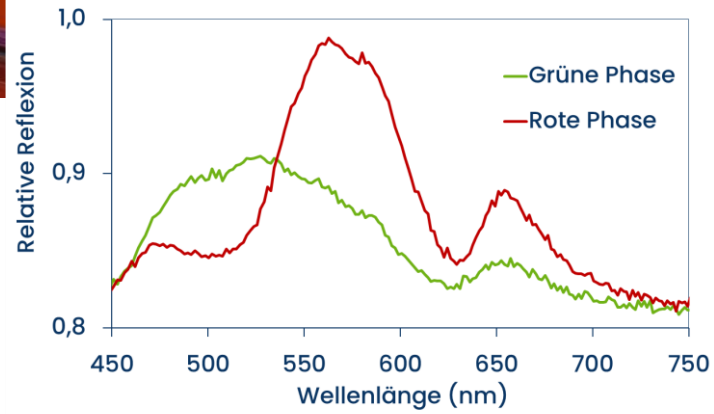
Laborüberwachung der Prozessparameter




## Entwicklung eines Sensors zur Überwachung der Astaxanthin-Bildungsrate (BaMS e.V.)



Blaue Bioökonomie OnAsta



# Was wurde bereits geschafft und was sind die nächsten Schritte …

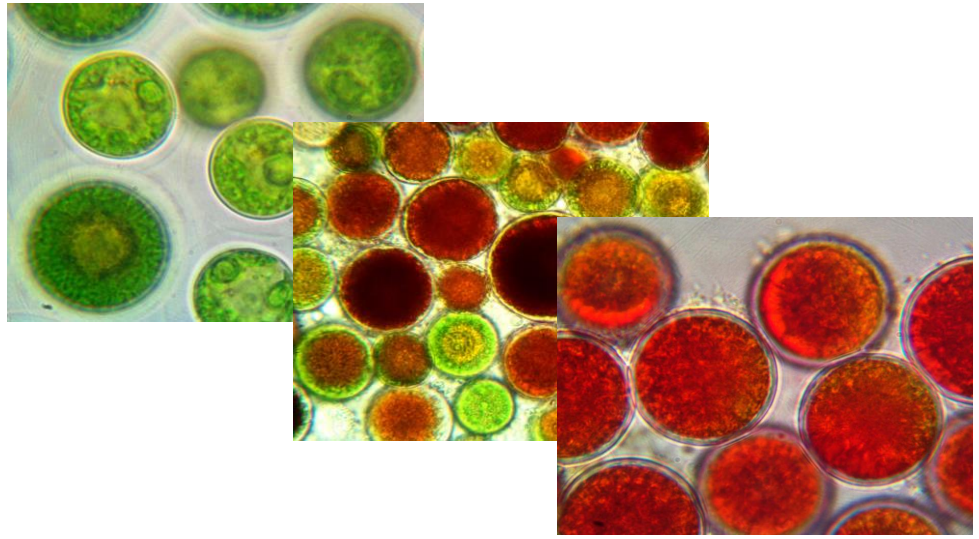
## Erreicht

- Erster Abgleich zwischen Digitalen Zwilling und Realprozess im Hinblick auf die iterative datenbasierte Anpassung von Modellparametern
- Erste Erweiterung der Sensorik in die Produktionsanlage und Integration in Prozessleitsystem
- Sicherer Austausch von Mess- und Prozessdaten zwischen Sea & Sun Technology und KIT

## Laufend

- Parametrierung des Digitalen Zwillings
- Erweiterung des Prozessleitsystems
- …

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## Pro-ASTAX

Automation und Prozessoptimierung der Astaxanthin-Produktion

https://bluehealthtech.de/projekte/pro-astax

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Meurer

Digital Process Engineering, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

thomas.meurer@kit.edu