

# Integration von Mikroalgen in die Emissionsbehandlung von Hausmüldeponien

AG Prof. Miriam Sartor, Alexander Kuß



# **Agenda**

## **1. Einführung: Nutzung von Mikroalgen-Bakterien Konsortien**

- Internationale Entwicklungen
- Entwicklungen in Deutschland

## **2. Emissionsverwertung an Hausmülldeponien**

- Bisherige Verwertungsverfahren
- Integration von Mikroalgen
- Herausforderungen bei der industriellen Einsetzbarkeit

## **3. Lösungsansätze / Bisherige Forschungsarbeit am Standort :metabolon**

## **4. Ausblick und weiterführende Forschungsarbeit am :metabolon Institut**

## Wissenschaftliche Entwicklung: Integration von Mikroalgen in bakterielle Wasseraufbereitungsprozesse

**1953:**

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

Founded November 5, 1852

TRANSACTIONS

Paper No. 2849

PHOTOSYNTHESIS IN SEWAGE TREATMENT

By WILLIAM J. OSWALD,<sup>1</sup> A. M. ASCE, AND HAROLD B. GOTAAS,<sup>2</sup> M. ASCE

WITH DISCUSSION BY MESSRS. ISADORE NUSBAUM, AND WILLIAM J. OSWALD AND HAROLD B. GOTAAS

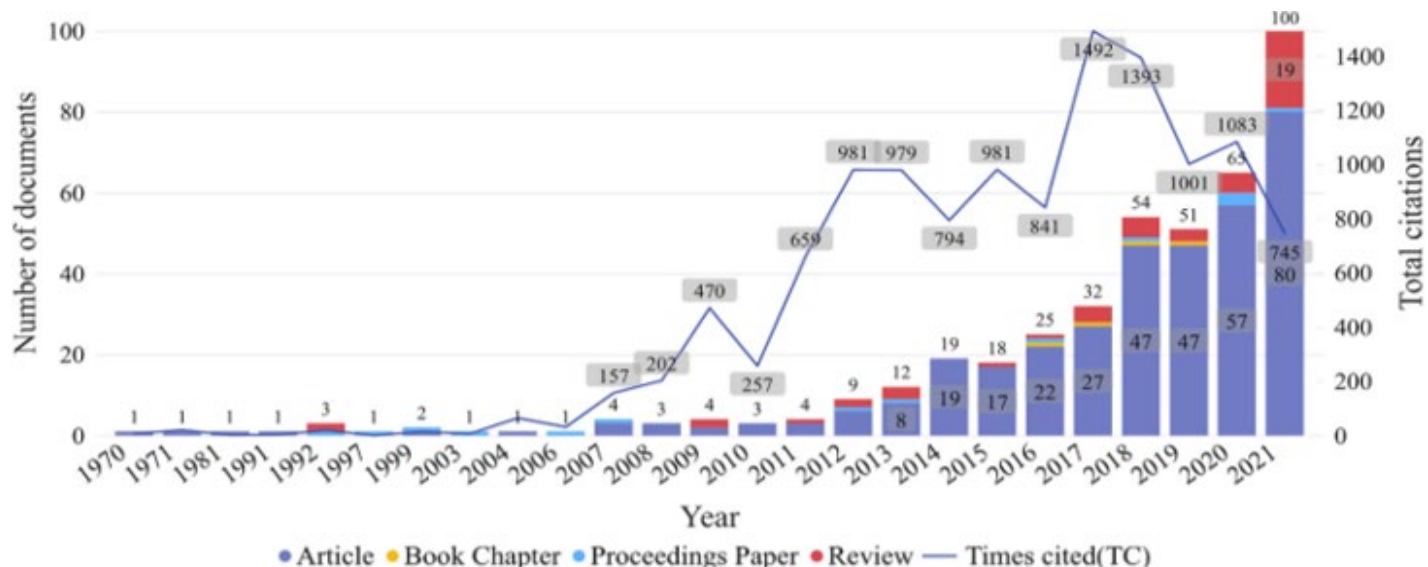
**1953:**

### ALGAE SYMBIOSIS IN OXIDATION PONDS \*

#### III. Photosynthetic Oxygenation

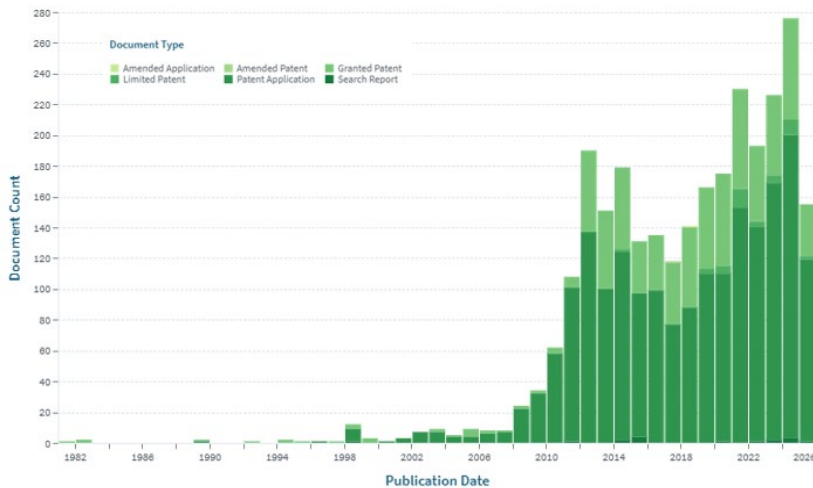
By WILLIAM J. OSWALD, H. B. GOTAAS, HARVEY F. LUDWIG,  
AND VICTORIA LYNCH

*Respectively, Research Engineer, University of California; Professor of Sanitary Engineering, University of California; Sanitary Engineer Director, U.S.P.H.S., Washington, D. C.; and Research Microbiologist, University of California, Berkeley, Calif.*

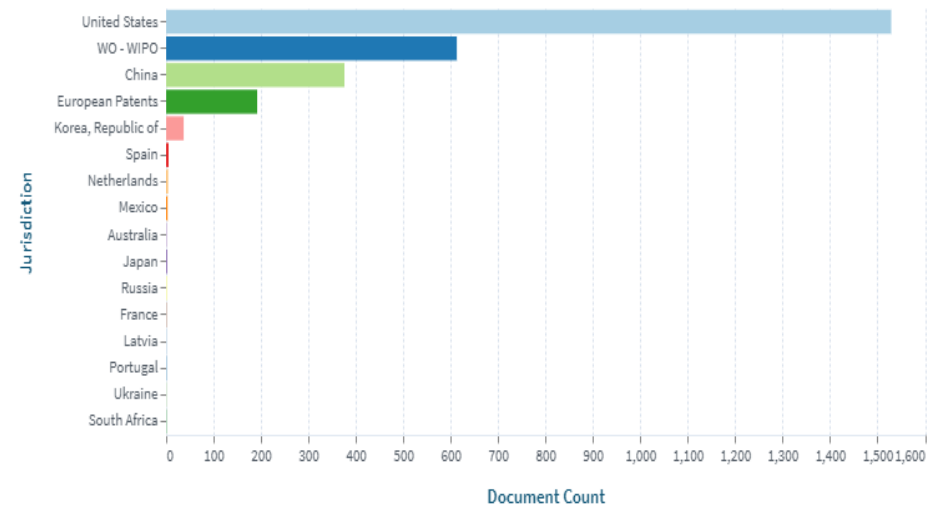


Quelle: Oviedo, J. A., Muñoz, R., Donoso-Bravo, A., Bernard, O., Casagli, F., & Jeison, D. (2022). A half-century of research on microalgae-bacteria for wastewater treatment. *Algal Research*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102828>

## Kommerzielle Entwicklung: Integration von Mikroalgen in bakterielle Wasseraufbereitungsprozesse



Quelle: <https://www.lens.org/lens/search/patent/structured>



Quelle: <https://www.lens.org/lens/search/patent/structured>

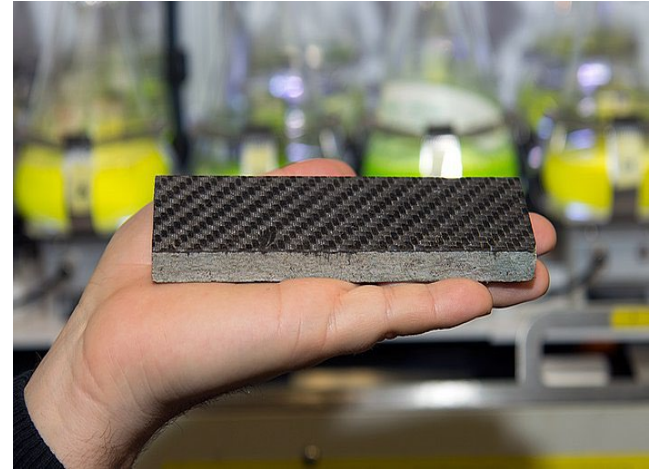


FZ Jülich, RWTH Aachen, TH Aachen (AlgaeFertilizerBox 2022-2026)



Quellen: [https://www.biooekonomierevier.de/Innovationslabor\\_AlgaeSolarBoxes](https://www.biooekonomierevier.de/Innovationslabor_AlgaeSolarBoxes); <https://www.fz-juelich.de/de/aktuelles/news/feature/alleskoenner-algen>

## TU München



Prof. Gisela Detrell baut auf die zukunftsweisende Rolle von Mikroalgen im All. Bild: Jens Hartmann / TUM

\*Quellen: Technische Universität München (TUM); u.a <https://www.tum.de/aktuelles/alle-meldungen/pressemitteilungen/details/nachhaltige-carbonfasern-auf-der-basis-von-algen>;  
<https://www.ed.tum.de/news-single-view-start/article/gruene-raumfahrt-mit-algen-ins-weltall/>

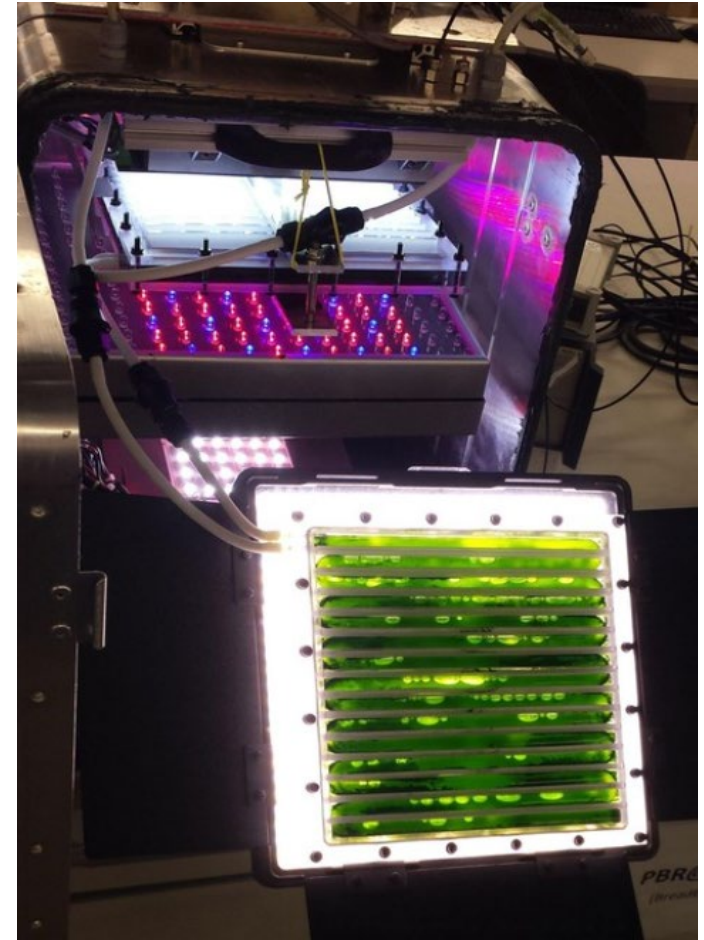


Fraunhofer IGB, Universität Stuttgart (RoKKa 2022-2024, SmartBioH2-BW, seit 2024)



Quelle: Fraunhofer IGB, Stuttgart; Prof. Timo Hardiman; <https://www.igb.fraunhofer.de/en/research/algae-biotechnology/process-development-in-photobioreactors.html>; [https://www.igvp.uni-stuttgart.de/forschung/bioraffinerietechnologie/projekt\\_rokka/](https://www.igvp.uni-stuttgart.de/forschung/bioraffinerietechnologie/projekt_rokka/); <https://www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/smartbioh2-bw.html>

## Universität Stuttgart, DLR, ESA



\*Quelle: European Space Agency (ESA); Entwicklung an der Universität Stuttgart; <https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/projects-and-missions/horizons/photobioreactor-pbr>; <https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/meldungen/Mikroalgen-bereit-fuer-das-All/>



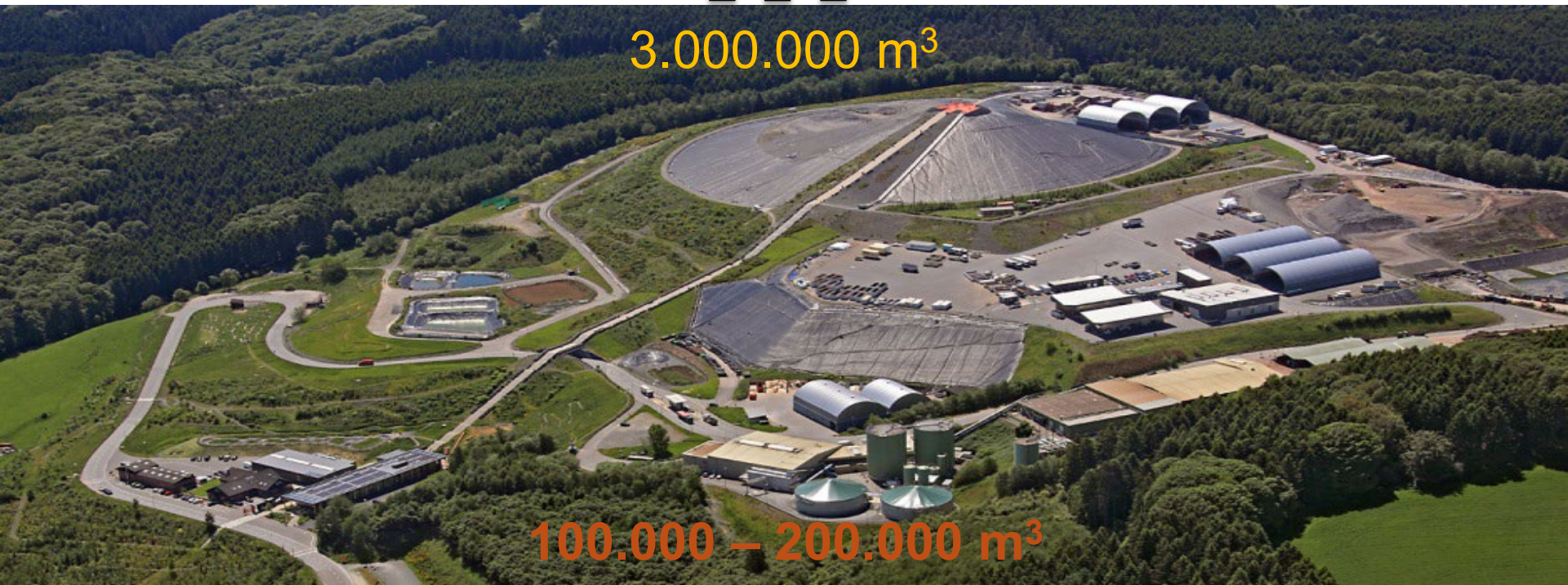
$\text{CH}_4 > 40\%$ :  
Verwertung

← Deponiegas (Biogas) →

$\text{CH}_4 < 40\%$ :  
Behandlung



3.000.000 m<sup>3</sup>

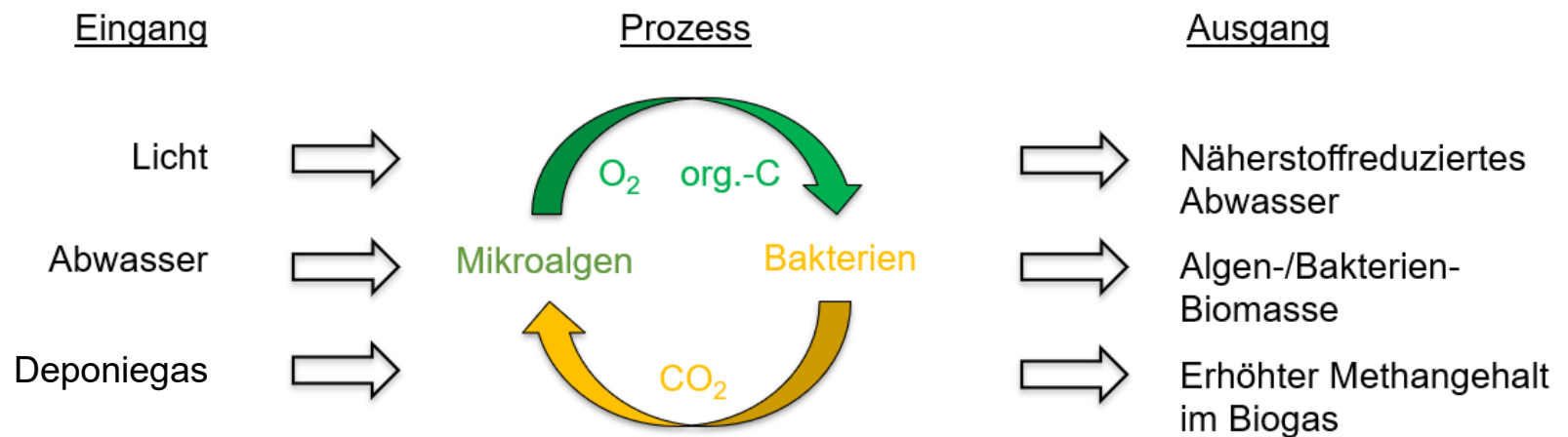


100.000 – 200.000 m<sup>3</sup>



Deponiesickerwasser → Behandlung

## Vereinfachter Prozess



## Die industrielle Implementierung ist bisher nicht sehr erfolgreich!

### Aktuelle Herausforderungen

1. Wachstumshemmende Faktoren (Ammonium/Ammoniak)<sup>1</sup>
2. Erntekosten<sup>3</sup>
3. Kontrollierbarkeit des komplexeren Prozesses<sup>2,3</sup>
4. Flächenbedarf<sup>2</sup>

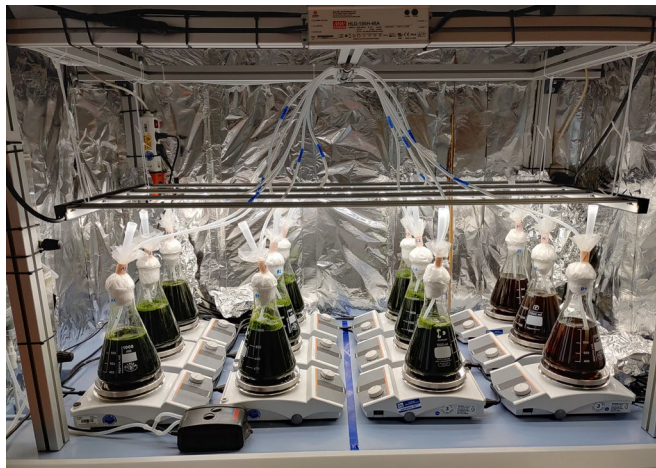
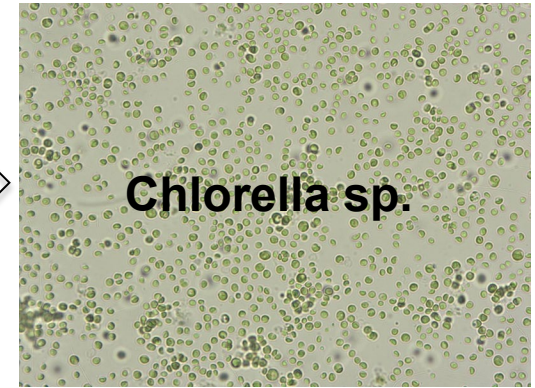


<sup>1</sup> **Nawaz, T. et al.** A review of landfill leachate treatment by microalgae: Current status and future directions. *Processes* 8, 1–20 (2020); <sup>2</sup> **Oviedo, J. A. et al.** A half-century of research on microalgae-bacteria for wastewater treatment. *Algal Research* vol. 67 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102828> (2022); <sup>3</sup> **Aditya, L., Mahlia, T. M. I., Nguyen, L. N., Vu, H. P. & Nghiem, L. D.** Microalgae-bacteria consortium for wastewater treatment and biomass production. *Science of the Total Environment* vol. 838 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155871> (2022).



## Aktuelle Herausforderungen

### 1. Wachstumshemmende Faktoren (Ammonium/Ammoniak)



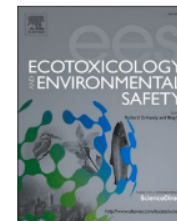
- Wachstum bei  $\sim 1 \text{ g NH}_4\text{-N L}^{-1}$  and  $0.2 \text{ g NH}_3\text{-N L}^{-1}$
- Verringerung von  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and CSB
- Keine Assimilation von  $\text{NH}_4^+$



Contents lists available at ScienceDirect

## Ecotoxicology and Environmental Safety

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecoenv](http://www.elsevier.com/locate/ecoenv)



# *Chlorella's* transport inhibition: A powerful defense against high ammonium stress

Lihe Xu<sup>a,b</sup>, Li Chen<sup>a,b</sup>, Longxing Jiang<sup>a,b</sup>, Jingni Zhang<sup>a,b</sup>, Peike Wu<sup>a,b</sup>, Wenguo Wang<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup> Biogas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China

<sup>b</sup> Key Laboratory of Development and Application of Rural Renewable Energy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China

## ARTICLE INFO

### Keywords:

*C. sorokiniana*

High  $\text{NH}_4^+$  concentration tolerance

Uptake of  $\text{NH}_4^+$

Transport inhibition

$\text{NH}_4^+$ -rich wastewater

## ABSTRACT

Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) is a primary nitrogen source for many species, yet  $\text{NH}_4^+$ -rich wastewater presents a substantial risk to environment. *Chlorella sorokiniana* is widely recognized for wastewater treatment. The development of high  $\text{NH}_4^+$  tolerant strains has the potential to significantly enhance wastewater treatment efficiency and reduce treatment costs. This study reports the identification of a *C. sorokiniana* strain designated hact (high ammonium concentration tolerance). This strain demonstrates a remarkable tolerance to  $\text{NH}_4^+$  (1000 mg/L). Integrative analyses of physiology, metabolomics, and transcriptomics demonstrated that transport inhibition is the principal resistance mechanism against high  $\text{NH}_4^+$  stress in *C. sorokiniana*. Notably, under elevated  $\text{NH}_4^+$  conditions, the hact strain maintained robust intracellular homeostasis. In contrast, the wild-type (WT) strain exhibited suppressed metabolic activity, reactive oxygen species (ROS), and an excess of detrimental metabolites such as amines. This research enriches our understanding of microalgal molecular responses to high  $\text{NH}_4^+$  stress, paving the way for the development of engineered optimization strategies for microalgal bioremediation systems treating  $\text{NH}_4^+$ -rich wastewater.

## **Die industrielle Implementierung ist bisher nicht erfolgreich!**

### Aktuelle Herausforderungen

1. Wachstumshemmende Faktoren (Ammonium/Ammoniak)<sup>1</sup>





## Aktuelle Herausforderungen

### 2. Erntekosten

- Sedimentation
  - Filtrierung
  - Zentrifugation
  - Flokkulation
  - Etc.
- } ~ 20 – 30% der Produktions-/Aufbereitungskosten

## Aktuelle Herausforderungen

### 2. Erntekosten

Lösungsansatz: Biofilme



Trockenmassegehalt ~ 5 to 8%



**Pudding**  
DELICIOUS SWEETS & CONNECTIONS

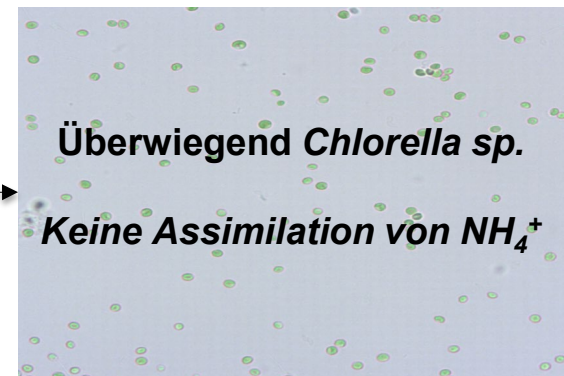
## Aktuelle Herausforderungen

### 2. Erntekosten

Lösungsansatz: Biofilme



Suspension



Biofilm





## Aktuelle Herausforderungen

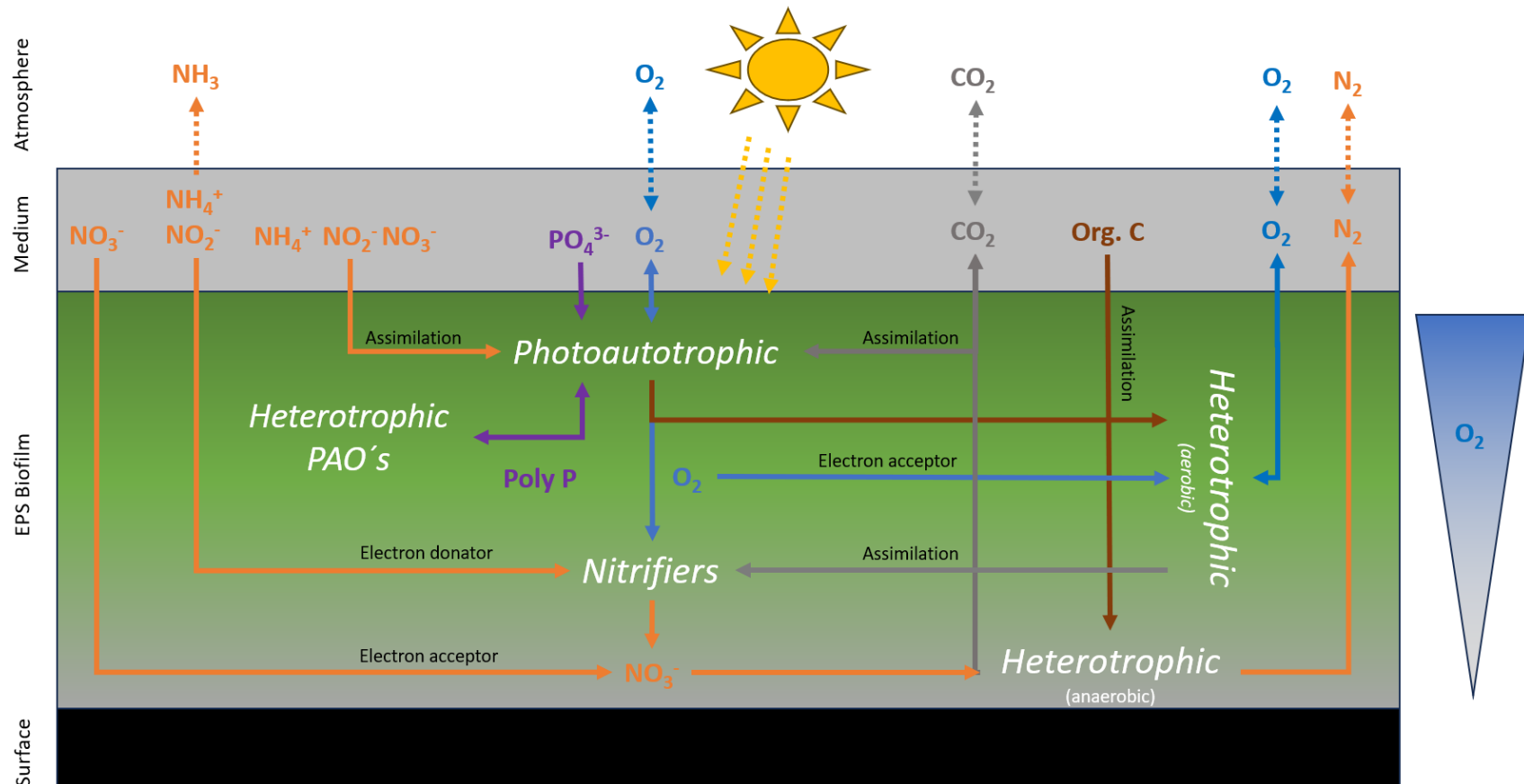
### 2. Erntekosten

Lösungsansatz: Biofilme



## Aktuelle Herausforderungen

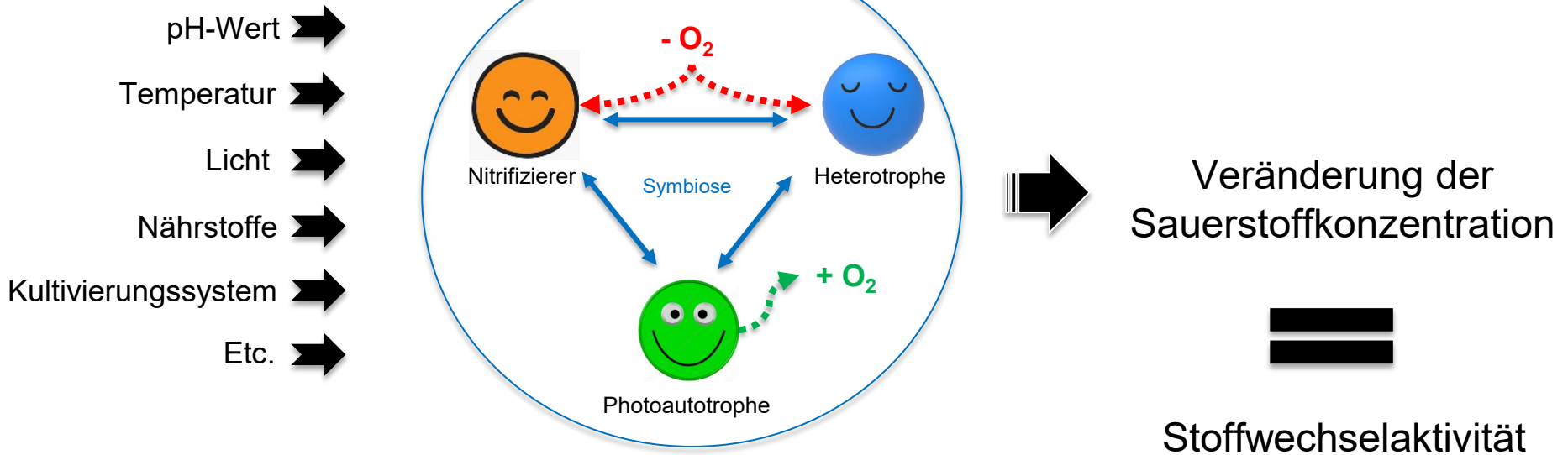
### 3. Kontrollierbarkeit des komplexen Stoffwechsels im Biofilm



## Aktuelle Herausforderungen

### 3. Kontrollierbarkeit des komplexen Stoffwechsels

#### Abwasseraufberietungsprozess





## Aktuelle Herausforderungen

### 3. Kontrollierbarkeit des Stoffwechsels:

„Photorespirometry“



3N-BBM+V  
(-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; -org. C)

Acetate

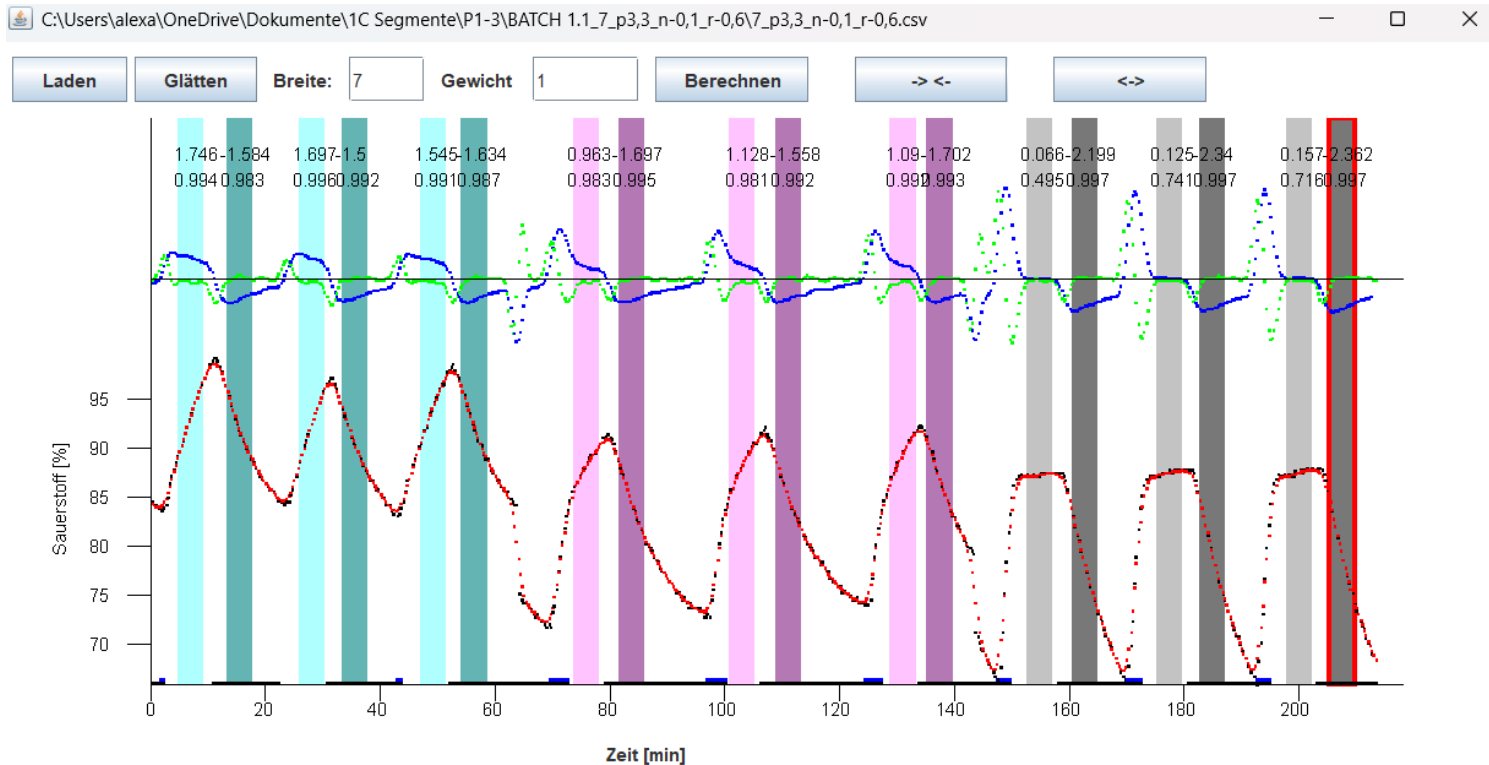
NH<sub>4</sub>Cl

	Programm 1	Programm 2	Programm 3
light on	Autotroph (PS)	Autotrophs (PS)	Autotrophs (PS)
	Autotroph (R)	Autotrophs (R)	Autotrophs (R)
	Endogenous Respiration*	Heterotrophs	Nitrifiers
light off	Endogenous Respiration*	Endogenous Respiration*	Heterotrophs
	Autotroph (R)	Autotrophic (R)	Endogenous Respiration*
	Endogenous Respiration*	Heterotrophs	Autotrophic (R)
Result 1	a Autotrophs PS = $\Delta$ m(DO) light on - m(DO) light off		Nitrifiers
			Heterotrophs
			Endogenous Respiration*
Result 2	a Heterotrophs = $\Delta$ (m(DO) Program 1 - m(DO) Program 2)		
Result 3	a Nitrifiers = $\Delta$ (m(DO) Program 3 - m(DO) Program 2)		



## Aktuelle Herausforderungen

### 3. Kontrollierbarkeit des Stoffwechsels:

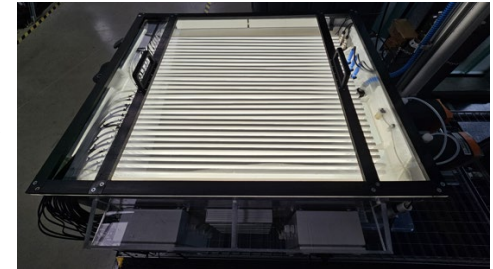
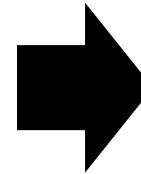
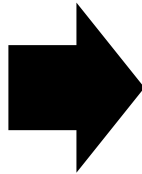


Programm 1 D:  $m = -1.573 \pm 0.068$   
 Programm 1 H:  $m = 1.663 \pm 0.105$   
 Programm 2 D:  $m = -1.652 \pm 0.082$   
 Programm 2 H:  $m = 1.06 \pm 0.086$   
 Programm 3 D:  $m = -2.3 \pm 0.089$   
 Programm 3 H:  $m = 0.116 \pm 0.046$

Photosynthesis 3.235  
 Nitrification -0.08  
 Respiration -0.648

## Aktuelle Herausforderungen

### 3. Kontrollierbarkeit des Stoffwechsels:



Labormaßstab



Pilotmaßstab



## Aktuelle Herausforderungen

### 4. Flächenbedarf

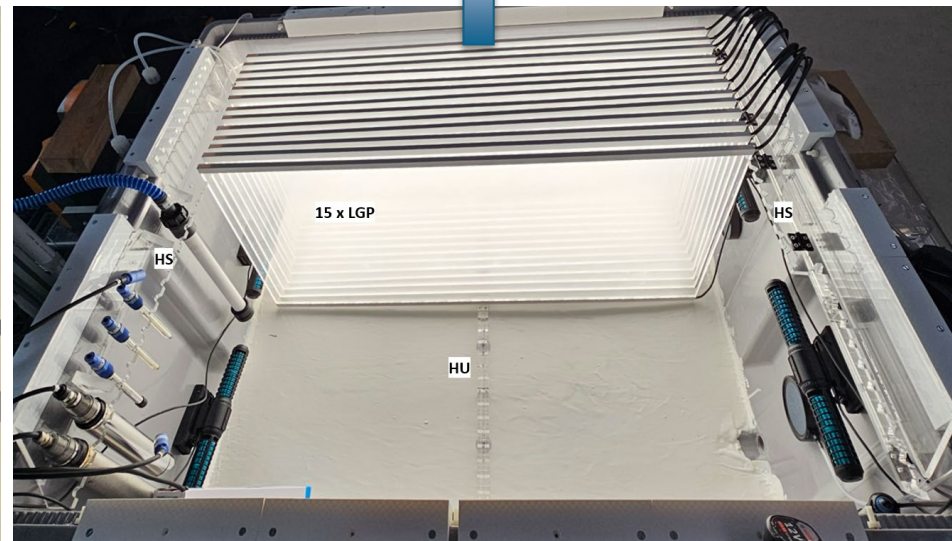
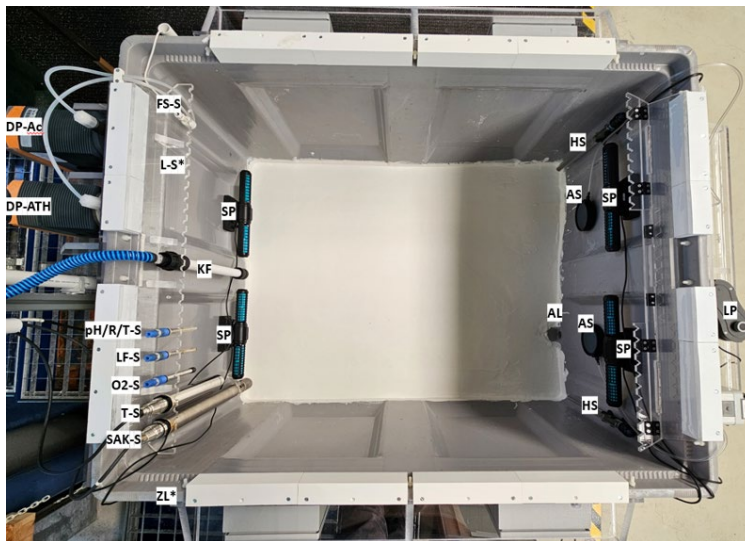
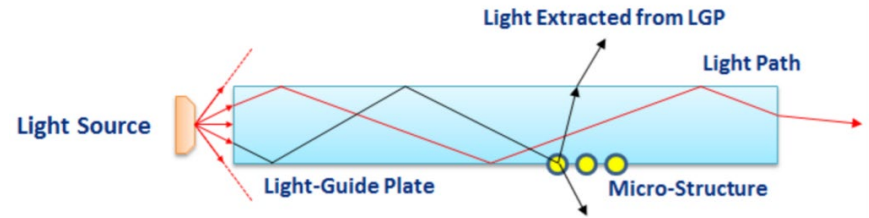




## Photobioreaktor mit „Lichtleiterplatten“



## Photobioreaktor mit „Lichtleiterplatten“

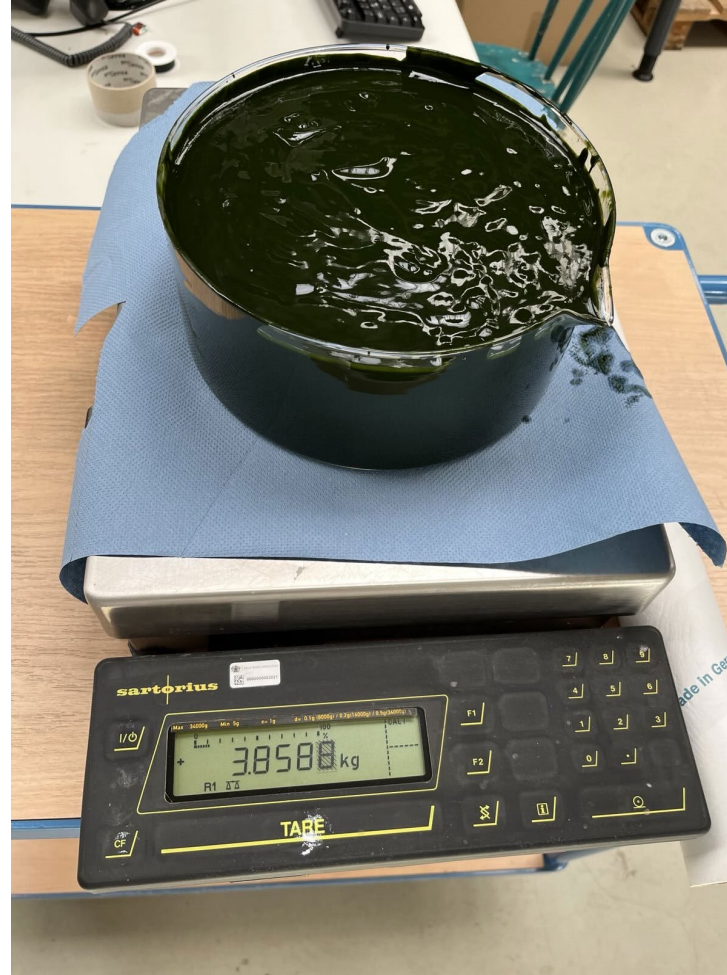
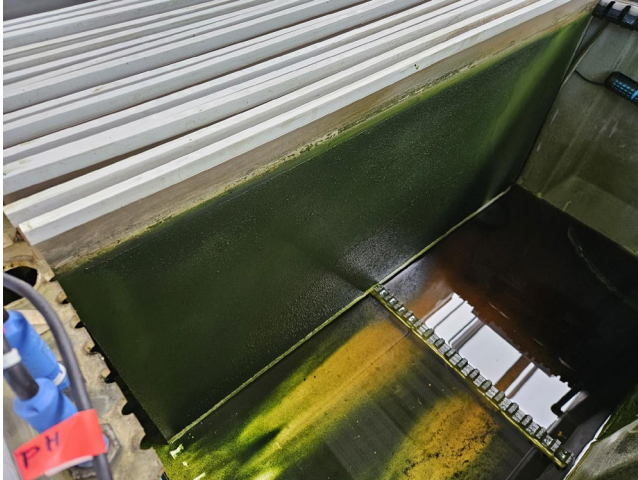


Abkürzungen: DP-Ac: Dosierpumpe Acetat; DP-ATH: Dosierpumpe Allylthioharnstoff; FS-S: Füllstandssensor; L-S\*: Lichtsensor; pH/R/T-S: pH-/Redox-/Temperatur-Sensor; LF: Leitfähigkeitssensor; O2-S: Sauerstoffsensor; T-S: Trübungssensor; SAK-S: Selektiv-Aktivitäts-Kodierender Sensor; ZL\*: Zuleitung; HS: Heizstab; AS: Ausströmer; AL: Auslauf; LP: Luftpumpe; LGP's: Light Guiding Plates; HS: LGP-Halterung an der PBR-Seite; HU: LGP-Halterung am PBR-Boden; die mit \* gekennzeichneten Komponenten wurden nachträglich in den PBR integriert und sind nicht abgebildet.



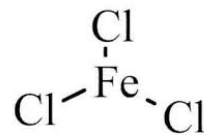
# Photobioreaktor mit „Lichtleiterplatten“

## Biofilmwachstum auf Lichtleiterplatten



## Photobioreaktor mit „Lichtleiterplatten“

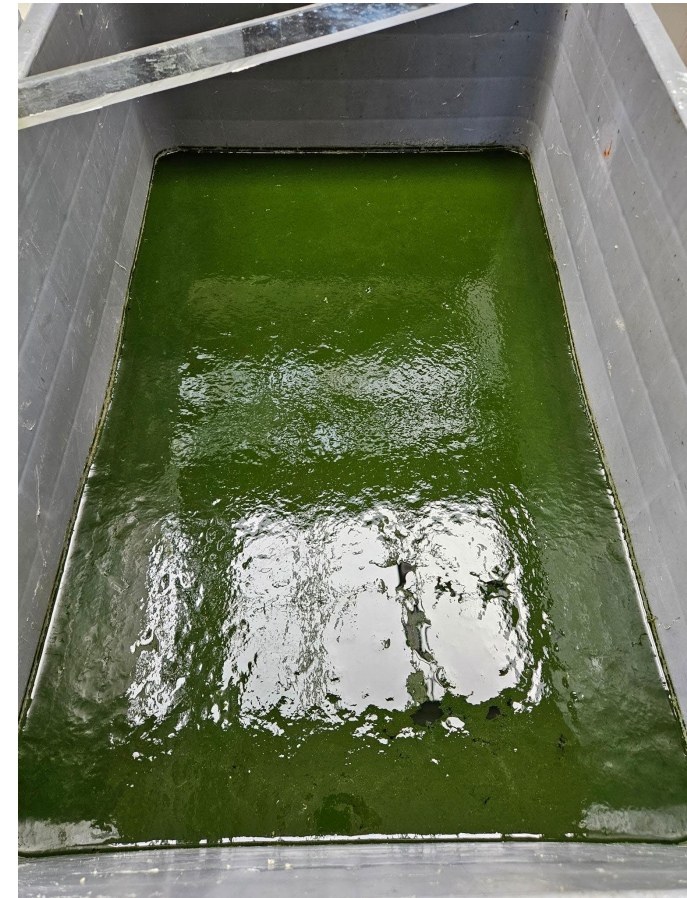
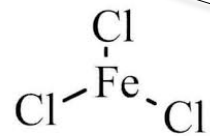
### Biofilmwachstum auf Aufwuchskörpern





## Photobioreaktor mit „Lichtleiterplatten“

### Algenwachstum in der Suspension



## **Die industrielle Implementierung ist bisher nicht sehr erfolgreich!**

### Aktuelle Herausforderungen

#### 4. Flächenbedarf





## Ausblick

- Weiterentwicklung eines kontinuierlichen Erntesystems
- Verwertung der Biomasse
  - Extraktion wertvoller Bestandteile (Hoher Zuckergehalt, Pigmente, Nährstoffe, etc.)
  - Prüfung des Schadstoffgehalts
  - Regelmäßige Testung der makromolekularen Zusammensetzung
- Zusammenarbeit mit Leibnitz Universität Hannover (Prof. Horn) und Universität Duisburg Essen (Prof. Beszteri) zum besseren Verständnis der relevanten biologischen Prozesse
- EXIST Forschungstransfer: Gründungsförderung für 4 Vollzeitstellen für 24 Monate zur Weiterentwicklung des Konzepts bis zur Marktreife

## Anlage I.2a - Projektbeschreibung gemäß Gliederungsvorschlag

### AGROU:

### Entwicklung innovativer Photobioreaktoren zur kombinierten Behandlung nährstoffreicher Abwässer und methanhaltiger Gase

Akronym: AGROU

**Schlagworte zum Vorhaben:** Mikroalgen-Bakterien-Konsortien, Deponiesickerwasser, hoch nährstoffbelastete Abwässer, Nährstoffrückgewinnung (Phosphor, Stickstoff), Deponiegas, Schwachgas, Biogas, Prozessmodellierung, Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen



Hochschule:	Technische Hochschule Köln
Institut:	Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften :metabolon
Ansprechpartner:	Alexander Kuß
Mentorin:	Prof. Dr. Miriam Sartor



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Das Projekt ERA<sup>3</sup> wurde gefördert von:

Ministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Verkehr  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Landesamt für Natur,  
Umwelt und Klima  
Nordrhein-Westfalen

