



Fraunhofer

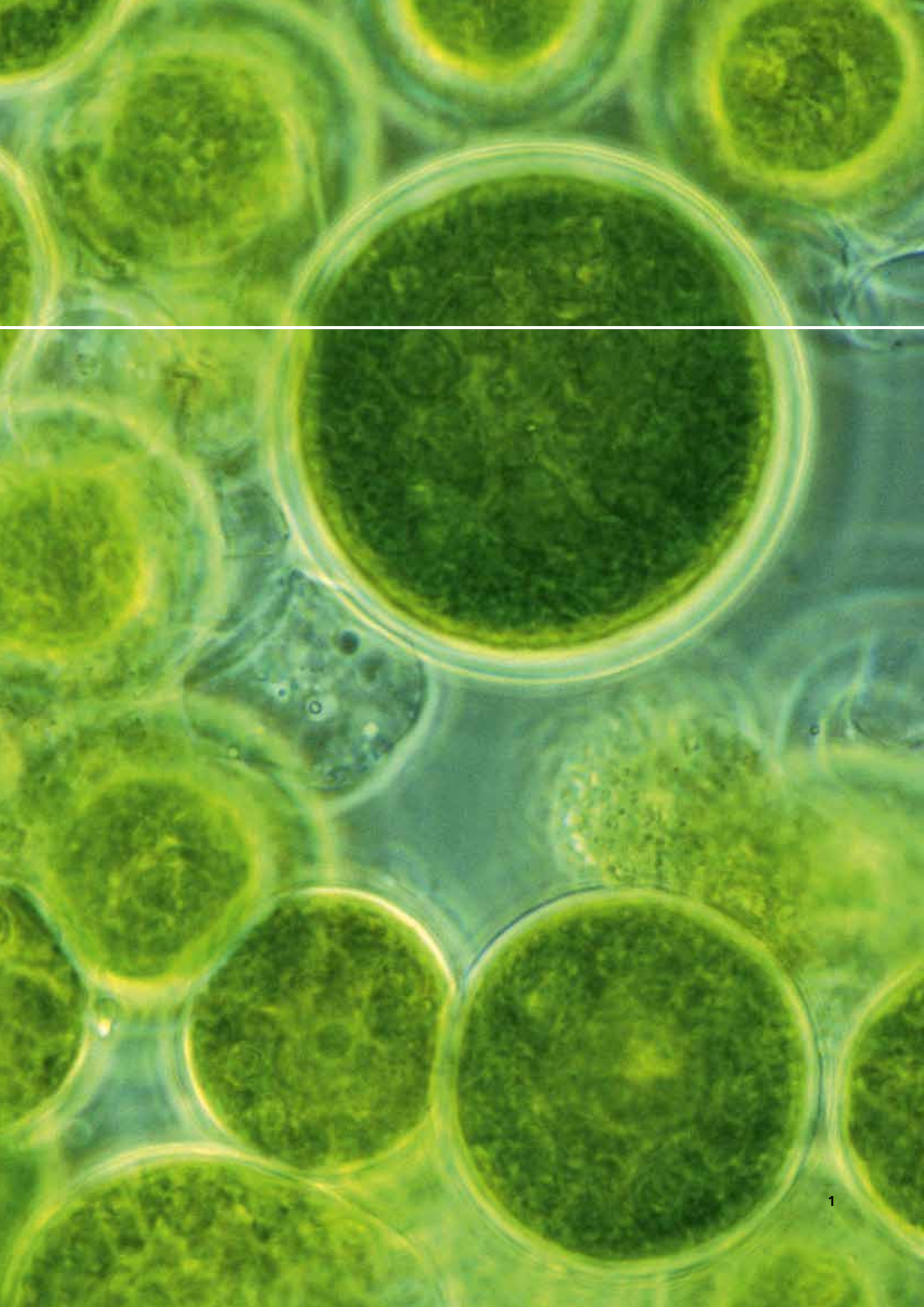
IGB

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR GRENZFLÄCHEN- UND BIOVERFAHRENSTECHNIK IGB

ALGEN

NACHHALTIGE ROHSTOFFQUELLE FÜR
WERTSTOFFE UND ENERGIE





WERTSTOFFPRODUKTION MIT MIKROALGEN

Die Photosynthese ist als einziger Bioprozess in der Lage, mit Sonnenlicht als Energiequelle und Kohlenstoffdioxid als C-Quelle Biomasse aufzubauen. Für eine stoffliche oder energetische Nutzung photosynthetisch hergestellter Biomasse eignen sich Mikroalgen besonders gut, da die einzelligen phototrophen Organismen das Sonnenlicht effizienter ausnutzen können als höhere Pflanzen. Mikroalgen produzieren eine Vielzahl chemischer Grundstoffe wie Vitamine, Fettsäuren oder Carotinoide mit einem hohen Wert schöpfungspotenzial für die Pharma-, Nahrungsmittel- und die Kosmetikindustrie.

Was macht Mikroalgen als neue Rohstoffquelle so interessant?

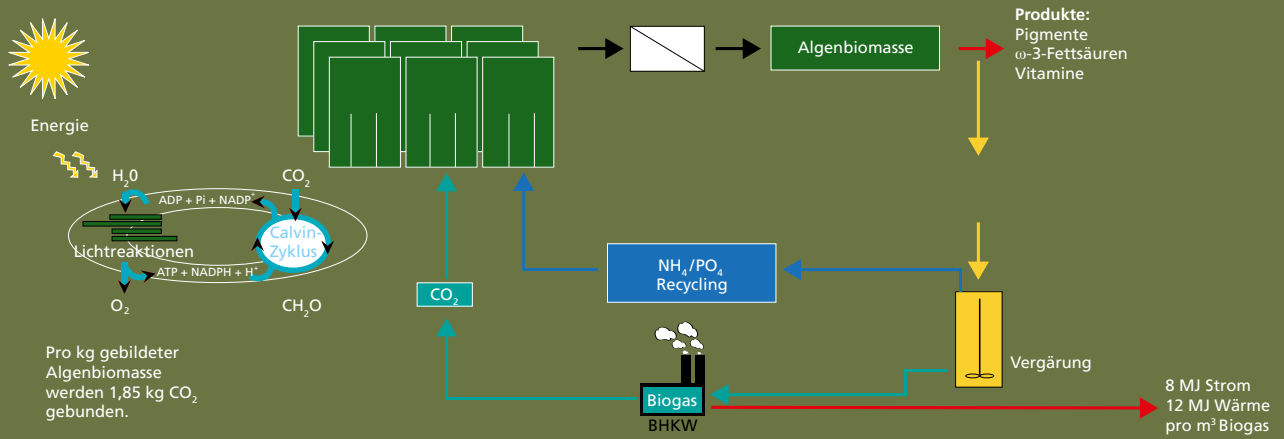
- Mikroalgen haben, verglichen mit Landpflanzen, eine fünf- bis zehnmal höhere Biomasseproduktivität.
- Neben Sonnenlicht und CO₂ benötigen Algen nur anorganische Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor.
- Für die Algenkultivierung können CO₂-haltige Abgase genutzt werden.
- Für die Kultivierung sind keine landwirtschaftlichen Nutzflächen erforderlich.
- Algenbiomasse kann kontinuierlich, über das ganze Jahr hinweg, geerntet werden.
- Algenbiomasse ist homogen und frei von Lignocellulose.
- Die Zusammensetzung der Algenbiomasse lässt sich über gezielte Kultivierungsbedingungen steuern.
- Im Vergleich zu höheren Pflanzen ist der Wasserbedarf für die Produktion von Algenbiomasse gering.
- Marine Mikroalgen sind in Meerwasser kultivierbar.
- Abwasserströme können als Quelle für anorganische Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor verwendet werden.
- Eine Nettoenergieproduktion ist möglich.

Dennoch sind Algen eine bislang nur für hochpreisige Produkte genutzte natürliche Rohstoffquelle. Denn diesen Vorteilen stehen derzeit noch hohe Investitionskosten und je nach Photobioreaktorart auch hohe Betriebskosten für die Algenbiomasseproduktion gegenüber.

Wertstoffe aus Mikroalgen

Das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB entwickelt Prozesse für die Herstellung verschiedenster Produkte aus Mikroalgen. Dazu gehören beispielsweise Fettsäuren für Biodiesel oder für Plattformchemikalien, Stärke als Rohstoff für biotechnologische Prozesse wie die fermentative Ethanolherstellung oder schädlingsabwehrende Wirkstoffe aus Algen und Cyanobakterien für den ökologischen Landbau. Für Anwendungen spezieller Mikroalgen im ökologischen Anbau von Kohl oder im Weinbau hat das Fraunhofer IGB Prozesse zur Produktion von Mikroalgen mit Repellent- bzw. antifungischer Aktivität entwickelt.

Ausgangsprodukte für Nahrungsergänzungsmittel, wie zum Beispiel mehrfach ungesättigte langkettige Fettsäuren (Omega-3-Fettsäuren) oder Farbstoffe aus Algen, liegen ebenfalls im Fokus des IGB. Die Omega-3-Fettsäure EPA (Eicosapentaensäure) macht bis zu 40 Prozent aller Fettsäuren in der Mikroalge *Phaeodactylum tricornutum* aus. EPA ist essenziell für den Menschen: Ein ernährungsbedingter Mangel an EPA wird in Zusammenhang mit einem erhöhten Risiko für Zivilisationskrankheiten wie Herzinfarkt und Schlaganfall gebracht. Die entzündungshemmende Wirkung von EPA wird bei Gelenkrheumatismus und Multipler Sklerose pharmazeutisch genutzt.



1

ENERGETISCHE NUTZUNG DER ALGENBIOMASSE

Algen weisen je nach Wachstumsbedingungen einen hohen Protein-, Kohlenhydrat- oder Lipidgehalt auf. Schnell wachsende Algen haben einen hohen Proteingehalt, der alle proteino-genen Aminosäuren enthält. Bei Wachstums-limitierung durch Stickstoff- oder Phosphatmangel und gleichzeitigem CO₂- und Lichtangebot bilden viele Algen jedoch Kohlenhydrate oder Lipide als Speicherstoffe.

Algen können dabei Lipidgehalte von bis zu 70 Prozent und Stärkegehalte von bis zu 60 Prozent erreichen. Speicherlipide sind vor allem Triacylglyceride mit den Hauptfettsäuren C16:0, C16:1 und C18:1, welche vorwiegend als Kraftstoff – entweder durch die Gewinnung des Öls oder nach Umesterung als Biodiesel – von Interesse sind.

Stärke kann als Substrat für verschiedenste biotechnologische Prozesse zur Produktion von Kraftstoffen oder Basischemikalien genutzt werden. Für die Stärkeproduktion mit Mikroalgen wurde im IGB ein zweistufiger Prozess etabliert, ins Freiland übertragen und bis zur Pilotproduktion im kg-Maßstab weiterentwickelt.

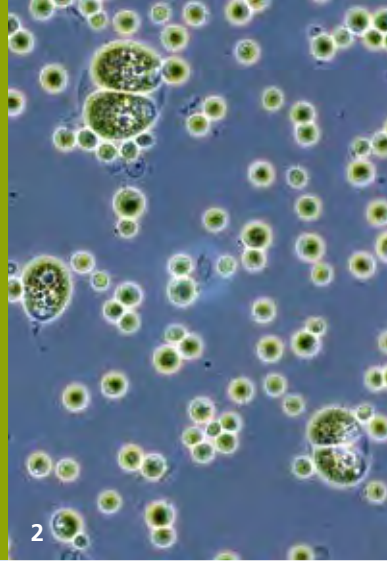
- 1 *Kopplung von Algenproduktion und Biogastechnik durch Kreislaufführung von CO₂ und Nährstoffen.*
- 2 *Mischkultur auf Flüssiggärrest adaptiert.*
- 3 *Chlamydomonas reinhardtii nach Stärkeakkumulation.*
- 4 *Pilotanlage mit 180-Liter-FPA-Reaktoren.*
(© Thomas Ernsting).

Nachhaltigkeit durch Kreislaufführung

Um in Zukunft nachhaltige, ressourcenschonende und umweltverträgliche Verfahren für die stoffliche und energetische Nutzung von Algenbiomasse zu etablieren, entwickelt das Fraunhofer IGB Prozesse, bei denen Mikroalgen Abgas-CO₂ photosynthetisch nutzen. Das Abgas-CO₂ kann hierbei sowohl aus Verbrennungsprozessen als auch aus biotechnologischen Prozessen wie z. B. der Ethanolherstellung stammen.

Der vom IGB verfolgte Ansatz sieht vor, zunächst die Wertstoffe aus den Algen zu gewinnen und anschließend die Restbiomasse in einer Biogasanlage zu vergären. Nach der Erzeugung von Strom und Wärme aus dem Biogas im Blockheizkraftwerk kann das entstandene CO₂ wieder in den Kreislaufprozess zur Algenbiomasseproduktion zurückgeführt werden. Für eine positive Energiebilanz der photoautotrophen Algenproduktion ist die Nutzung von Abfall-CO₂ eine wichtige Grundvoraussetzung.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Abwasserströme aus der Biogastechnik, welche anorganische Nährstoffe wie Ammonium und Phosphat enthalten, zu nutzen. Die Algen sind bei diesem Ansatz das Bindeglied zwischen unbelebter und belebter Materie, da sie mittels Sonnenlicht in der Lage sind, aus anorganischen Komponenten organische Stoffe zu synthetisieren.



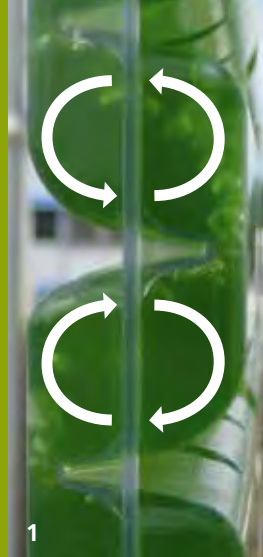
2



3



4





 der Sonne
 zugewandte
 Seite





 schattige
 Rückseite



FLACHPLATTEN-AIRLIFT-PHOTOBIOREAKTOR

Wichtigster Prozessparameter in der Photobioreaktortechnik ist die Intensität des Lichts, die auf jede einzelne Zelle im Reaktorvolumen wirkt. Sie bestimmt die Wachstumsrate und Zellkonzentration der Algen und damit die Biomasseproduktivität. Die gleichmäßige Lichtverteilung auf alle Zellen, welche durch eine gezielte Durchmischung im Reaktor erreicht wird, ist demnach der bedeutendste Faktor in der Algenbiomasseproduktion.

Im Fraunhofer IGB wurde eine Reaktorplattform entwickelt und patentiert (WO 00926833.5; EP 1326959), die nach dem Prinzip eines Airlift-Reaktors funktioniert und hinsichtlich Lichtverteilung und Energieeintrag optimiert wurde. Im Gegensatz zu bisher entwickelten Reaktoren handelt es sich beim FPA-Reaktor (Flachplatten-Airlift-Reaktor) um einen voll durchmischten Reaktor, in welchem durch eine geringe Schichtdicke und gezielte Strömungsführung über statische Mischer eine verbesserte Licht- und Substratversorgung aller Algenzellen erreicht wird.

Zwischen den statischen Mixern erzeugen aufsteigende Gasblasen eines Luft-CO₂-Gemisches ein Strömungsprofil, in dem die Algen in kurzen Zeitabständen aus der unbeleuchteten Reaktorzone zum Licht an die Reaktoroberfläche transportiert werden. Mittels dieser Technik werden hohe (direkte) Sonnenlichtintensitäten auf alle Zellen gleichmäßig verteilt. So ist garantiert, dass alle Zellen ausreichend mit Licht versorgt und hohe Zelldichten erreicht werden. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit des Produktionsprozesses.

Der Reaktor wird mittels Tiefziehtechnik aus Kunststoffolie in Form von zwei Halbschalen inklusive der statischen Mischer hergestellt und ist in Größen von 6, 28 und 180 Litern über die Subitec GmbH, ein Spin-off des Fraunhofer IGB, erhältlich. Mehrere 180-Liter-Reaktoren können für Pilotanlagen modular miteinander verbunden werden.

Automatisierung der Photobioreaktoren

Um den Prozessablauf auch im Freiland licht- und temperaturunabhängig zu gestalten, wurde ein Automatisierungskonzept mit möglichst einfacher Messtechnik entwickelt. Über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SIMATIC S7-1200, Siemens) werden sowohl die Reaktortemperatur als auch der pH-Wert in den Reaktoren geregelt.

Die Regelung des pH-Werts erfolgt über den CO₂-Gehalt in der Zuluft: Je höher dieser ist, desto mehr CO₂ löst sich als Kohlensäure im Kulturmedium, wodurch der pH-Wert sinkt. Dem entgegen wirkt das im Medium gelöste Ammonium: Steigt die Ammoniumkonzentration, erhöht sich der pH-Wert im Kulturmedium. Durch die kontinuierliche Regelung kann aus dem CO₂-Gehalt in der Zuluft auf die Ammoniumkonzentration im Reaktor geschlossen werden. Dieser Zusammenhang wurde herangezogen, um den Nährstoffverbrauch im Reaktor zu ermitteln. Basierend auf diesen Berechnungen können wir erfolgreich Fütterungs- und Erntezyklen automatisieren, die eine Prozessführung unabhängig von den klimatischen Bedingungen erlaubt. Daneben ist auch eine zeitliche Steuerung von Fütterungs- und Erntezyklen möglich.

Beim Aufbau der Steuerungssoftware wurde auf ein hohes Maß an Anwender- und Bedienerfreundlichkeit geachtet. Der Gesamtprozess wird auf einem Touchpanel visualisiert und alle Online-Daten werden kontinuierlich erfasst. Die Steuerungssoftware ist modularisiert und somit einfach auf weitere Produktionsprozesse in der Algenbiotechnologie übertragbar.



3



4

Vorteile der Automatisierung

- Kontinuierliche Prozessüberwachung
- Automatisierte Fütterungs- und Erntezyklen möglich

Bei Abschätzung der Ammoniumkonzentration in der Kultur über den CO₂-Gehalt in der Zuluft:

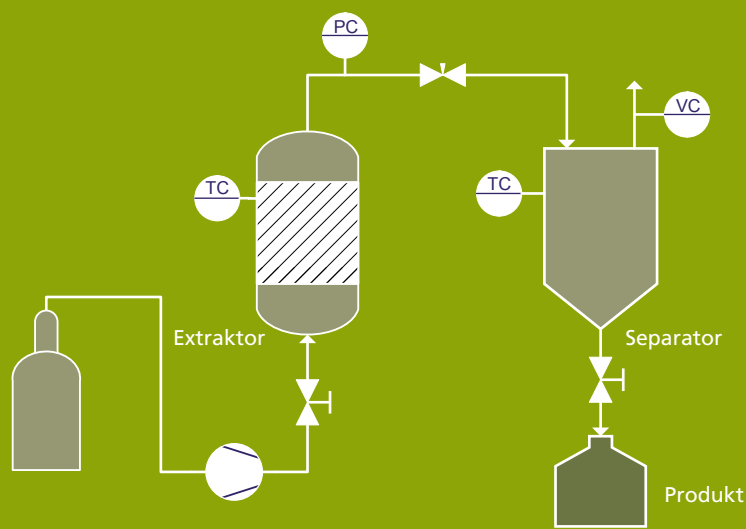
- Konstante Nährstoffversorgung der Algen
- Gleichmäßige Nährstoffkonzentration in der Kultur durch geringe Fütterungsmengen
- Fütterung abhängig von Verbrauch, unabhängig von Witterung und damit insbesondere für die Freilandkultivierung geeignet
- Wachstumslimitierungen durch Mediumskomponenten sind detektierbar (über sinkende Ammoniumverbrauchsrate)
- Überwachung des Wachstums möglich, wenn die benötigte Ammoniummenge pro Gramm Biomasse bekannt ist

Pilotanlage in Leuna

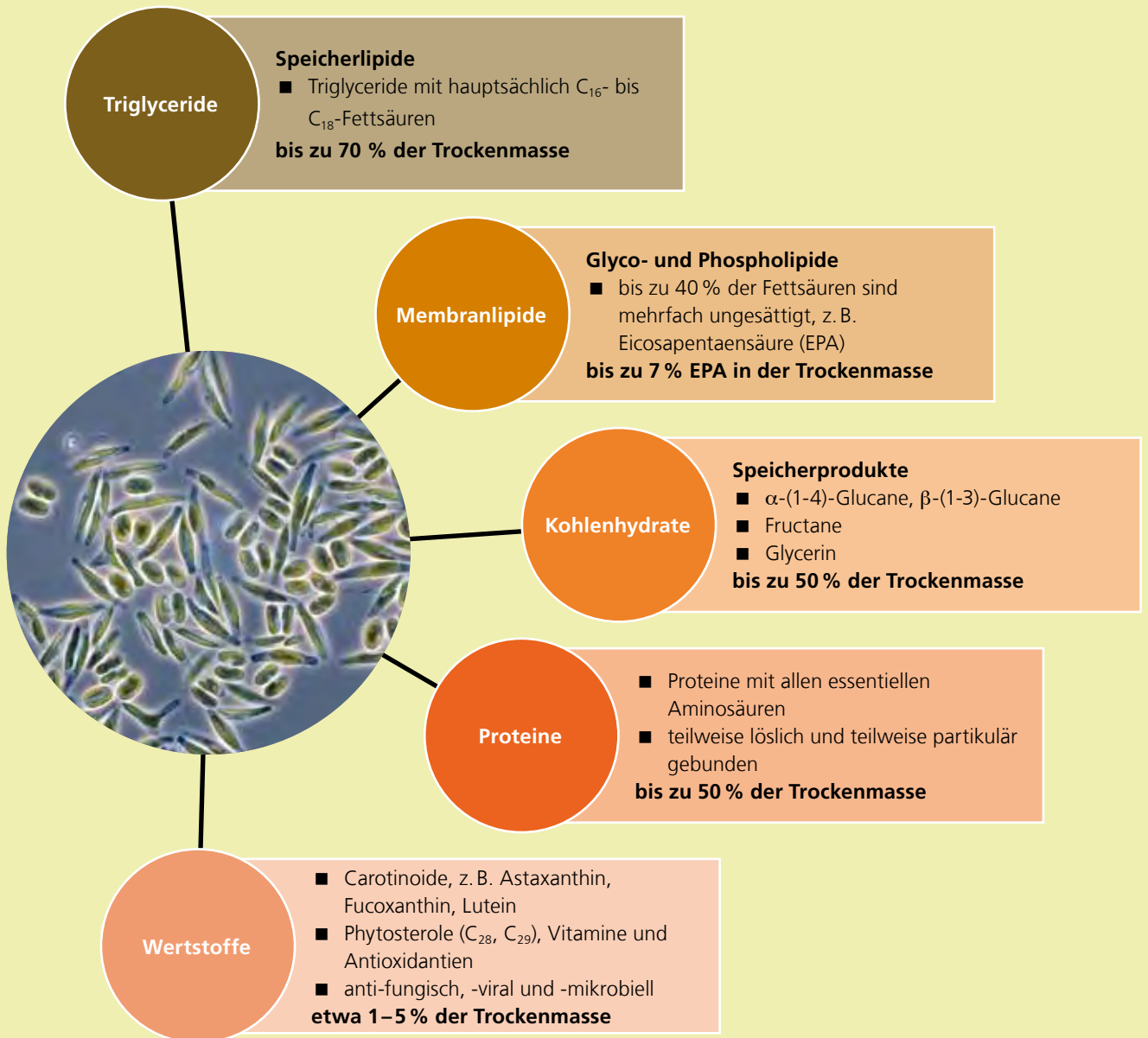
Am Standort Leuna, Sitz des Fraunhofer-Zentrums für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP, einem Institutsteil des Fraunhofer IGB, wurde eine Algenpilotanlage aufgebaut. Die Gesamtkapazität der Anlage beträgt 11,7 Kubikmeter in insgesamt 110 Reaktoren mit 6, 28 oder 180 Litern Volumen. Für die Freilandproduktion stehen 7,2 Kubikmeter Produktionskapazität in vier Linien mit je zehn 180-Liter-Reaktoren zur Verfügung. Der modulare Aufbau erlaubt eine sehr flexible Durchführung verschiedenster Experimente. Auch hier ist die bereits erwähnte Automatisierungstechnik im Einsatz.

Somit steht dem Fraunhofer IGB und Fraunhofer CBP eine Algenproduktionsanlage zur Verfügung, in der sowohl für eigene Projekte, aber auch im Auftrag von Kunden, Algenbiomasse mit definierter Zusammensetzung produziert werden kann.

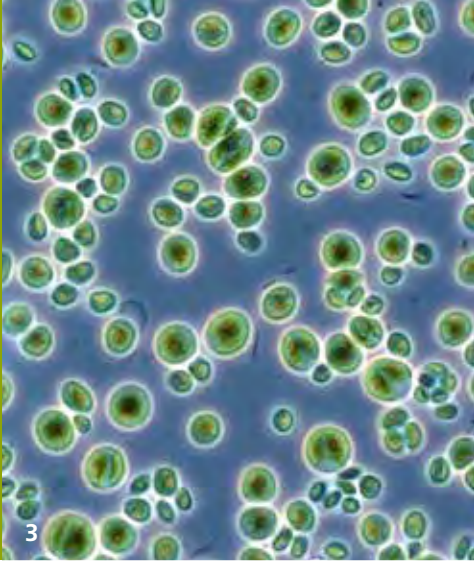
- 1 Aufsteigende Gasblasen erzeugen eine definierte Durchmischung im FPA-Reaktor.
- 2 Prozessvisualisierung auf dem Anzeigedisplay der Steuerung SIMATIC S7-1200.
- 3 Reaktormodule der Freilandanlage.
- 4 Freilandanlage am Fraunhofer CBP.



1



2



3



4

BIORAFFINERIEKONZEPTE

Grundgedanke von Bioraffineriekonzepten ist die vollständige Verwertung von Biomasse durch Gewinnung verschiedener Produkte und Fraktionen. Dies führt zu einer Erhöhung der Wertschöpfung aus Algenbiomasse, denn aus wirtschaftlichen Gründen kann die energetische Nutzung von Algenbiomasse nur über eine Kopplung an die stoffliche Nutzung weiterer Biomassefraktionen wie Proteine erfolgen.

Um die Gesamtalgenbiomasse stofflich im Bereich der Ernährung zu nutzen, sollten nicht nur Bestandteile, die einen geringen Anteil der Biomasse darstellen, wie die Pigmente, genutzt werden, sondern stattdessen vor allem die Hauptfraktionen Proteine, Speicherlipide und Stärke, die bis zu 50 Prozent der Biotrockenmasse ausmachen. Deshalb untersucht das Fraunhofer IGB zusammen mit Partnern, welchen Einfluss die Biomassezusammensetzung auf die anwendbaren Aufarbeitungstechnologien ausübt. Zielfraktionen sind Proteine, polare Membranlipide mit Omega-3-Fettsäuren, unpolare Triglyceride sowie Pigmente und ihr Einsatz in Lebensmitteln.

Aufarbeitung von Algenprodukten

Bei der Gewinnung von Wertstoffen aus Algenbiomasse und einer weiteren Nutzung der Restbiomasse, insbesondere bei Kaskadennutzung, gelten besondere Anforderungen an die Aufarbeitung. Prinzipiell bestimmen der chemische Charakter und die Marktspezifikation, wie etwa der geforderte Reinheitsgrad des Produkts, die Aufarbeitungstechnik.

Weitere Anforderungen sind

- die weitestgehende Vermeidung eines energieaufwendigen Trocknungsschritts,
- die Lokalisierung der Komponenten in der Zelle und ein gezielter schonender Aufschluss, der die Funktionalität erhält (z. B. Vermeidung von Wärmeentwicklungen, welche die Funktionalität beeinträchtigen könnten), und
- eine schonende Extraktion, um eine Aufarbeitung weiterer Zellkomponenten zu ermöglichen.

Zur Gewinnung von lipophilen Inhaltsstoffen wie beispielsweise Fettsäuren und Carotinoiden gewinnt die Extraktion mittels überkritischer Fluide (supercritical fluids, SCF) immer mehr an Bedeutung. Der Vorteil hierbei ist, dass sowohl der Extrakt als auch die zurückbleibende Biomasse – im Gegensatz zur Extraktion mit organischen Stoffen – frei von gesundheitsschädlichen Lösungsmitteln ist. Das extrahierte Produkt kann somit direkt weiterverarbeitet und dem Markt als Nahrungsergänzungsmittel zur Verfügung gestellt werden.

Aus der Restbiomasse können weitere Fraktionen gewonnen und aufbereitet werden, wie Proteine oder Kohlenhydrate aus Zellwänden. In einem integrierten Prozess zur Extraktion von polaren Lipiden wie Glyco- und Phospholipiden werden zur Erhöhung der Polarität überkritischer Fluide Co-Solventen wie Ethanol eingesetzt. Dies führt zu einer selektiven Extraktion polarer Lipide wie Eicosapentaensäure EPA; 20:5 n-3. Das unterschiedliche Extraktionsverhalten ohne und mit Co-Solvent kann auch für die aufeinanderfolgende selektive Extraktion von unpolaren Lipiden wie Triacylglyceriden oder Carotinoiden und polaren Lipiden gezielt genutzt werden.

1 *Fließbild der Anlage zur Extraktion mit überkritischen Fluiden.*

2 *Nutzbare Algeninhaltsstoffe.*

3 *Nannochloropsis limnetica.*

4 *Geerntete Algenbiomasse von Chlorella sorokiniana.*



1

LEISTUNGSANGEBOT

- Screening nach Mikroalgen und Cyanobakterien mit verschiedensten Eigenschaften und Inhaltsstoffen
- Entwicklung photoautotropher Prozesse vom Labor- bis zum Pilotmaßstab für Mikroalgen und Cyanobakterien in Flachplatten-Airlift-Reaktoren
- Verfahrensoptimierung zur Verbesserung der Produktivität und Biomasseausbeute auch unter Nutzung von Abgas-CO₂ und Flüssiggärresten
- Entwicklung und Anpassung von Steuerungssoftware für die Algenproduktion im Freiland
- Entwicklung von Verfahren für die Isolierung, Fraktionierung und Aufreinigung von Algeninhaltsstoffen
- Auftragsproduktion von Algenbiomasse mit definierter Zusammensetzung im 100-kg-Maßstab

- 1 *Flachplatten-Airlift-Reaktoren im Labor mit LED-Beleuchtung und automatisierter Fütterungs- und Erntesteuerung.*
- 2 *28-Liter-Flachplatten-Airlift-Reaktor mit hoher Biomassekonzentration (Chlorella sorokiniana)*

Kontakt



Dr. Ulrike Schmid-Staiger

Gruppenleiterin Algentechnologie
 Telefon +49 711 970-4111
 ulrike.schmid-staiger@
 igb.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Gordon Brintzer

Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-
 Biotechnologische Prozesse CBP
 Am Haupttor, Bau 1251, 06237 Leuna
 Telefon +49 3461 43-9122
 gordon.brintzer@cbp.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut

für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4401

Fax +49 711 970-4200

info@igb.fraunhofer.de

www.igb.fraunhofer.de

Fraunhofer IGB Kurzprofil

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren und Produkte für die Geschäftsfelder der Gesundheit, Chemie und Prozessindustrie sowie Umwelt und Energie. Wir verbinden höchste wissenschaftliche Qualität mit professionellem Know-how in unseren Kompetenzfeldern – stets mit Blick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts. Kunden profitieren auch vom interdisziplinären Austausch zwischen den fünf FuE-Abteilungen in Stuttgart und den Institutsteilen an den Standorten Leuna, Straubing und Würzburg. Das konstruktive Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen am Fraunhofer IGB eröffnet neue Ansätze in Bereichen wie Medizintechnik, Nanotechnologie, industrieller Biotechnologie oder Umwelttechnologie. Das Fraunhofer IGB ist eines von 69 Instituten und Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft, Europas führender Organisation für angewandte Forschung.

www.igb.fraunhofer.de

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

