

4. MITTELDEUTSCHER ALGENSTAMMTISCH (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking –

Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

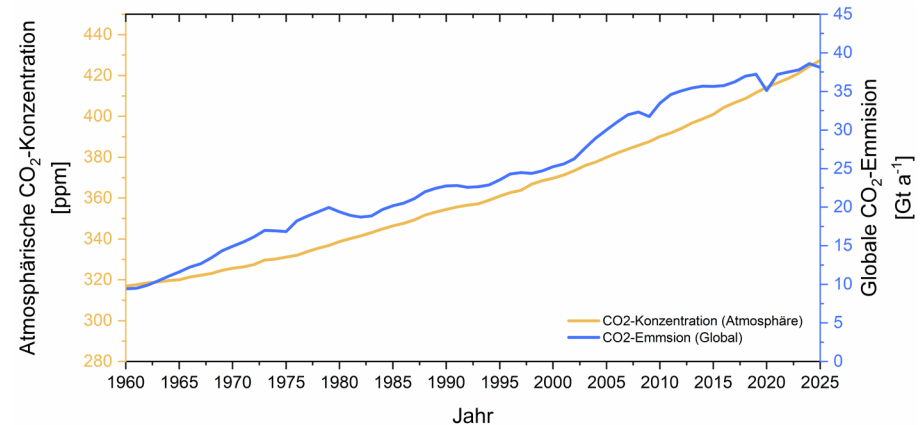
*Competence Center Algal Biotechnology, Anhalt University of Applied Sciences,
Bernburger Str. 55, 06366 Köthen, Germany*



Hintergrund und Relevanz

Einfluss von CO₂ und Erdöl auf das Klima:

- fortschreitende Freisetzung von CO₂
- 30% CO₂-Emissionen sind auf Erdöl zurückzuführen
- Anstieg der globalen Temperaturen bis 2100 zwischen 1,4 – 4,4°C)
- Zunahme von Wetterextremen, Verschlechterung der Lebensbedingungen
- 90% aller chemischen Erzeugnisse haben Erdöl als Grundlage
- jährliche Zunahme der CO₂-Emission durch Erdöl
 - 0,9% von 1990 bis 2024
 - 1,6% von 2023 bis 2024

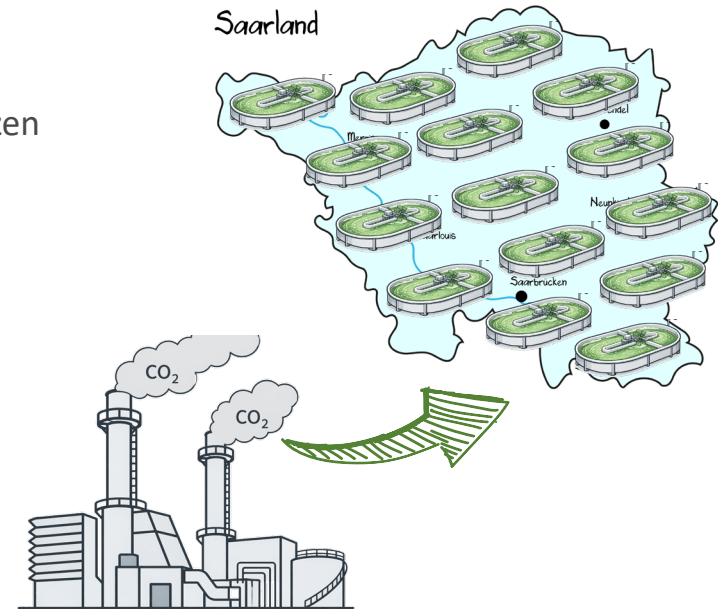


Mikroalgen als Klimaretter?

CO₂-Fixierung mit Mikroalgen:

- Mikroalgen fixieren CO₂ 10 bis 50-mal effizienter als Landpflanzen
- für 1 kg Mikroalgen werden ca. 1,8 kg CO₂ benötigt
- Mikroalgen sind “zweite grüne Lunge” des Planeten
- Algen fixieren ca. 40% des Kohlenstoffs auf der Erde
- 45 bis 50 Gt wird jährlich in Phytoplanktonbiomasse gebunden
- 8 bis 10 Gt sinken in die Tiefe (absterbende Diatomeen)

**Mikroalgen können die Menschheit nicht retten, aber einen
Beitrag leisten**



Großes Gaskraftwerk (1.500 MW) produziert ca. 5 Mt CO₂ pro Jahr

(ca. 1700 Gaskraftwerke in Deutschland > 1 MW)



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

Ausgangssituation und Voraussetzung für eine Kopplung mit Mikroalgen

CO₂-Emitenten:

Industrie / Prozess	CO ₂ -Anteil	Betrieb / Prozessfluss
Ammoniaksynthese	bis 95 %	Kontinuierlich
Zement & Kalk	20–30 %	Kontinuierlich
Eisen & Stahl (Hochofen)	20–30 %	Kontinuierlich
Glasindustrie	10–20 %	Kontinuierlich
Kohlekraftwerke	11–15 %	Variabel
Zellstoff & Papier	12–15 %	Kontinuierlich
Raffinerien	8–13 %	Kontinuierlich
Müllverbrennung	8–12 %	Kontinuierlich
Erdgaskraftwerke	3–10 %	Sehr variabel
Aluminium / Kupfer	4–8 %	Kontinuierlich

Mikroalgen:

- nicht alle Mikroalgen wachsen unter Dauerbeleuchtung (Hell/Dunkel-Rhythmus)
- nicht alle Mikroalgen tolerieren hohe CO₂-Konzentrationen
- Einschränkungen bei der Verwendung industrieller Abgase für Lebensmittelproduktion

Mikroalgen allein zur CO₂-Fixierung sind ökonomisch nicht tragbar



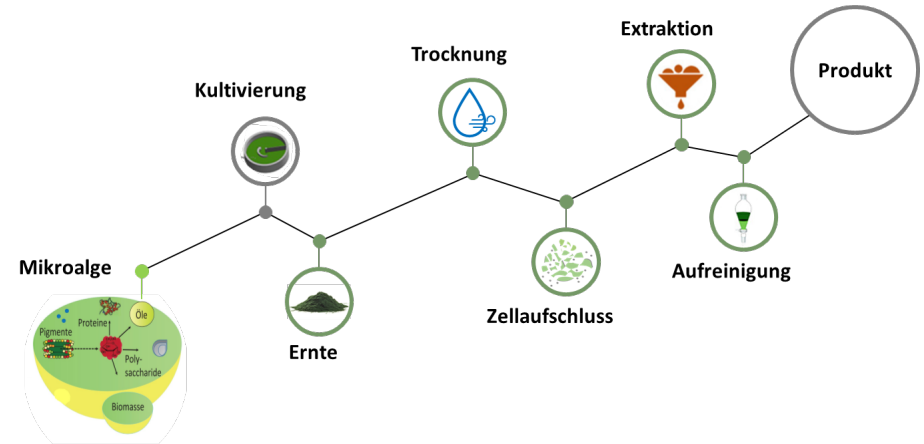
4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

Produktgewinnung aus Mikroalgen

Hohe Produktionskosten:

- vorwiegend intrazelluläre Wertstoffe (viele Algen)
- viele Prozessschritte
- hoher Energiebedarf für die Aufarbeitung



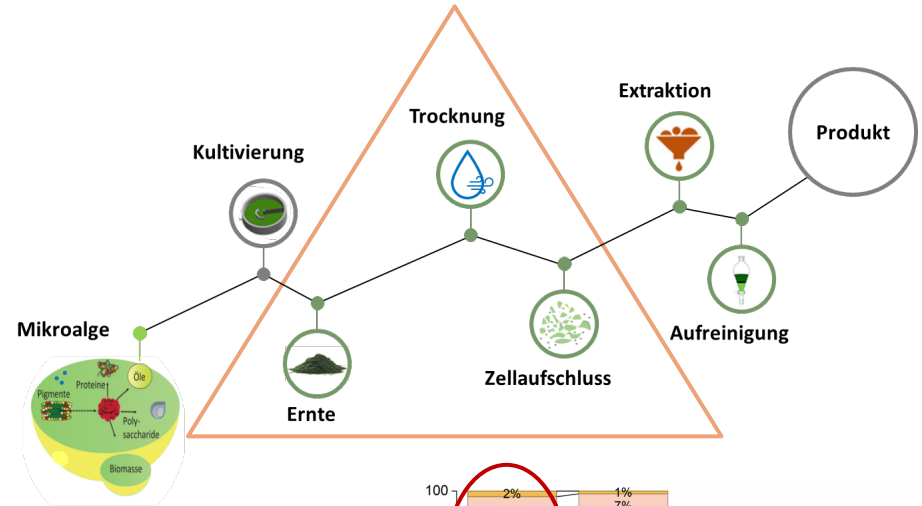
4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

Produktgewinnung aus Mikroalgen

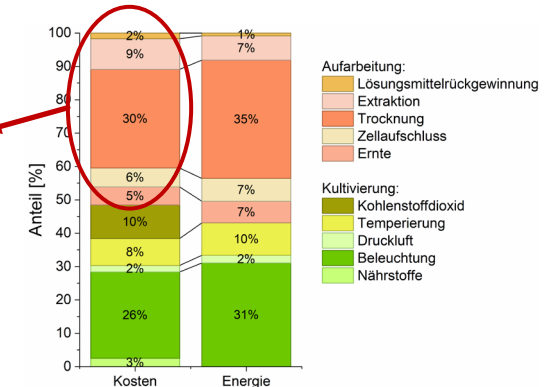
Hohe Produktionskosten:

- vorwiegend intrazelluläre Wertstoffe (viele Algen)
- viele Prozessschritte
- hoher Energiebedarf für die Aufarbeitung



Kosten und Energie:

- Anteil der Aufarbeitung oftmals mehr als 50% des Gesamtbetrags



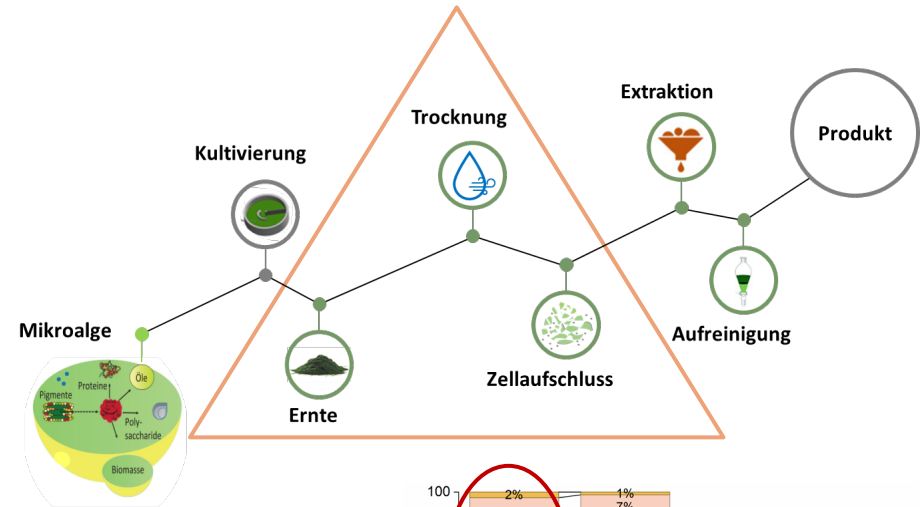
4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

Produktgewinnung aus Mikroalgen

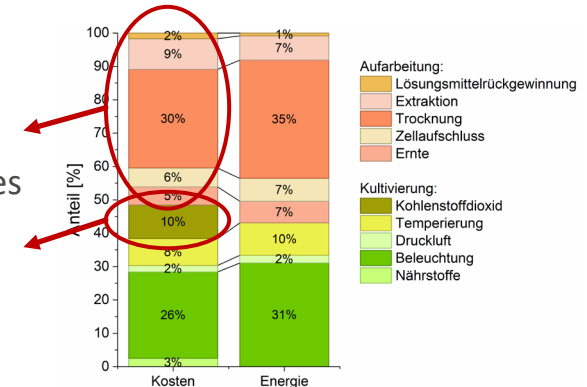
Hohe Produktionskosten:

- vorwiegend intrazelluläre Wertstoffe (viele Algen)
- viele Prozessschritte
- hoher Energiebedarf für die Aufarbeitung



Kosten und Energie:

- Anteil der Aufarbeitung oftmals mehr als 50% des Gesamtbetrags
- CO₂ ist ebenfalls ein Kostenfaktor



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

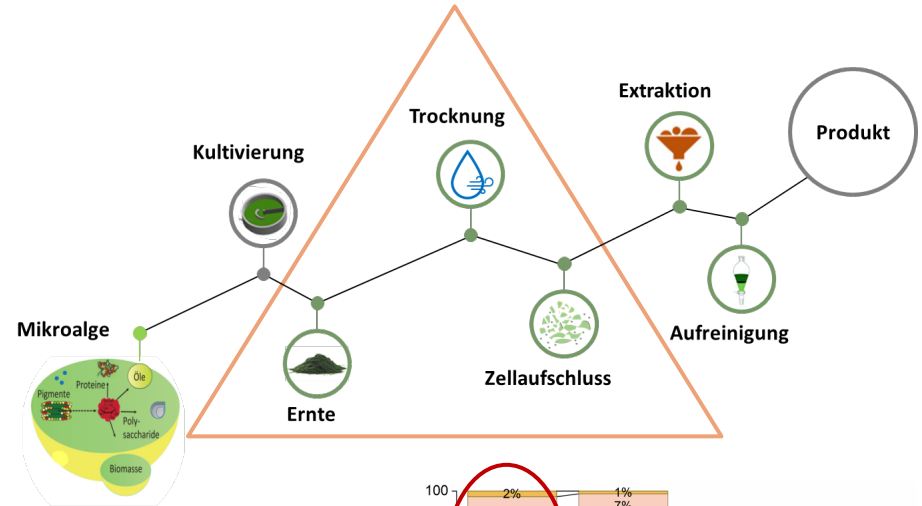
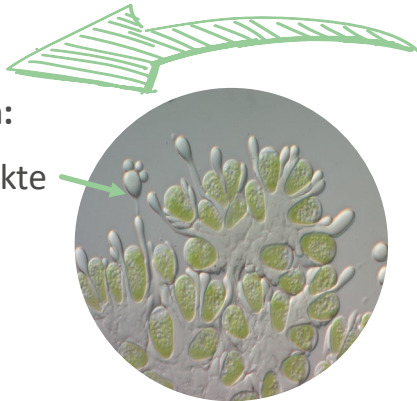
Produktgewinnung aus Mikroalgen

Hohe Produktionskosten:

- vorwiegend intrazelluläre Wertstoffe (viele Algen)
- viele Prozessschritte
- hoher Energiebedarf für die Aufarbeitung

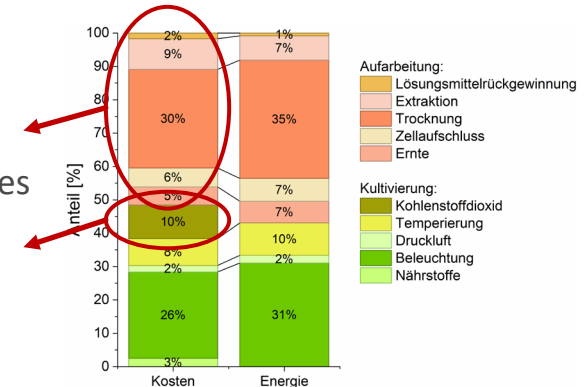
Milking von Mikroalgen:

- Extrazelluläre Produkte
- Reduzierung der Prozessschritte
- wenige Algen



Kosten und Energie:

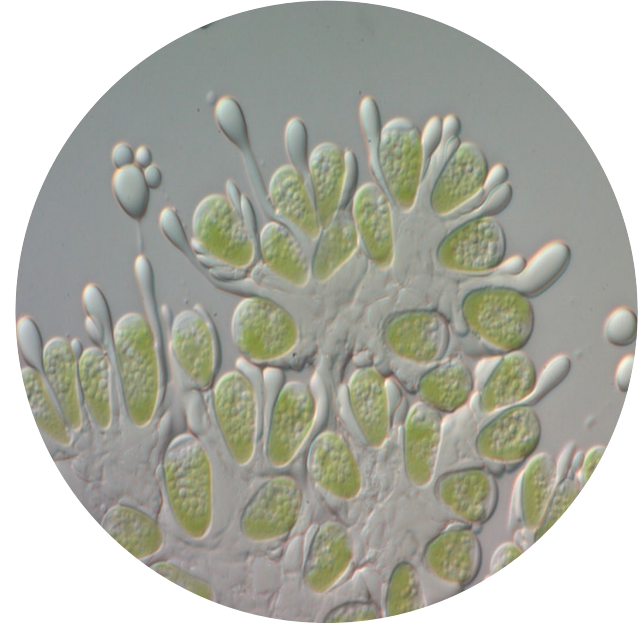
- Anteil der Aufarbeitung oftmals mehr als 50 % des Gesamtbetrags
- CO₂ ist ebenfalls ein Kostenfaktor



Mikroalgenauswahl

Botryococcus braunii:

- koloniebildende Grünalge (Trebouxiophyceae)
- Sekretion langkettiger Kohlenwasserstoffe
- hoher Lipidgehalt (bis zu 86% der Biomasse)



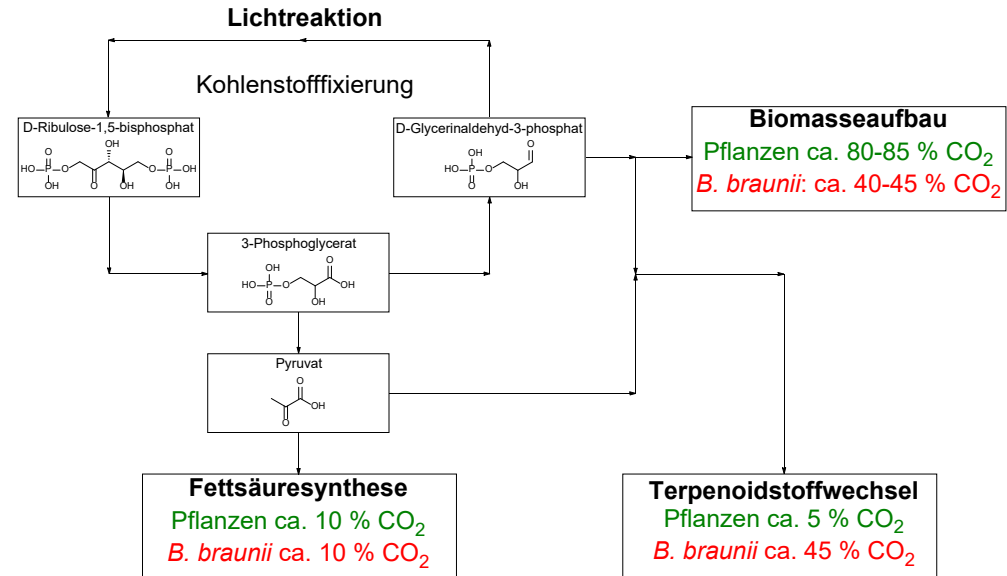
Mikroalgenauswahl

Botryococcus braunii:

- koloniebildende Grünalge (Trebouxiophyceae)
- Sekretion langkettiger Kohlenwasserstoffe
- hoher Lipidgehalt (bis zu 86% der Biomasse)

Kohlenstoffverwertung:

- 50% des aufgenommenen CO₂ für Lipidbildung
- Hohe CO₂-Konzentrationen bis 20%
- langsames Wachstum, hoher Lipidgehalt



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl



Mikroalgenauswahl

Botryococcus braunii:

- koloniebildende Grünalge (Trebouxiophyceae)
- Sekretion langkettiger Kohlenwasserstoffe
- hoher Lipidgehalt (bis zu 86% der Biomasse)

Lichtintensität und Hell/Dunkel-Zyklus:

- 50% des aufgenommenen CO₂ für Lipidbildung
- langsames Wachstum, hoher Lipidgehalt



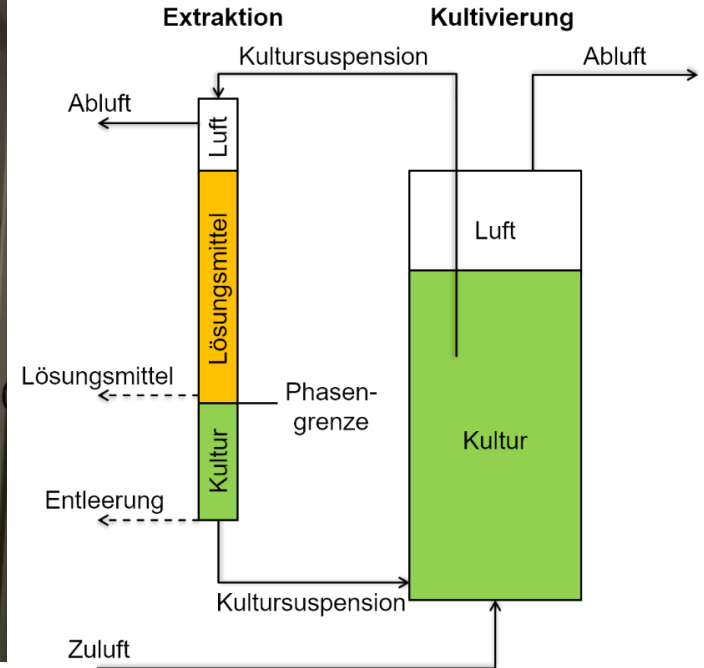
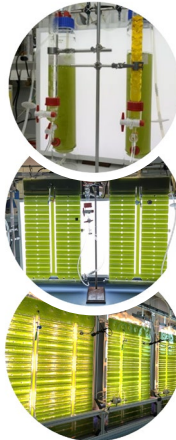
Kontinuierliche Gewinnung erdölähnlicher Kohlenwasserstoffe

In situ-extraction:

- Produktgewinnung direkt aus Kultursuspension
- Ernte, Trocknung und Zellaufschluss entfallen
- Zellen bleiben vital
- erneute Produktextraktion

Erprobt in Blasensäulen und Flat-Panel-Airlift-Reaktoren (6 und 28 L)

- patentiertes Verfahren
- Patent-Nr.: DE10 2014 005 372



Zielstellung



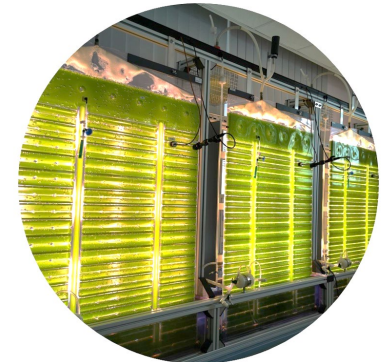
4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

In situ-Extraktion in 25 L Flat-Panel-Airlift-Reaktoren unter Zusammenführung aller Optimierungen (Showa)

In situ-Extraktion:

- Biomassekonzentration: 5,0 g L⁻¹
- Lichtintensität: 500 μmol_{Photonen} m⁻² s⁻¹
- Kohlenwasserstoffproduktivität: +235 %/ +24 % (Volumen/Biomasse)
- Kohlenwasserstoffausbeute: 2,44 g Reaktor⁻¹ d⁻¹



Extraktion		3 L Blasensäule	6 L FPA-Reaktor	25 L FPA-Reaktor
Startbiomasse	[g _X L ⁻¹]	1.482 ± 0.012	2.533 ± 0.091	5,0
Durchschnittliche Biomasse	[g _X L ⁻¹]	1.619 ± 0.238	2.636 ± 0.145	5,0
Biomasseproduktivität	[g _X L ⁻¹ d ⁻¹]	0.005 ± 0.103	0.002 ± 0.112	0,0
Kohlenwasserstoffproduktivität	[mg _{HC} L ⁻¹ d ⁻¹]	16.989 ± 3.241	41.380 ± 6.283	97,56
Kohlenwasserstoffproduktivität	[mg _{HC} g _X ⁻¹ d ⁻¹]	10.534 ± 1.544	15.721 ± 2.190	19,51
Kohlenwasserstoffausbeute	[g _{HC} Reaktor ⁻¹ d ⁻¹]	0,005	0,248	2,439



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

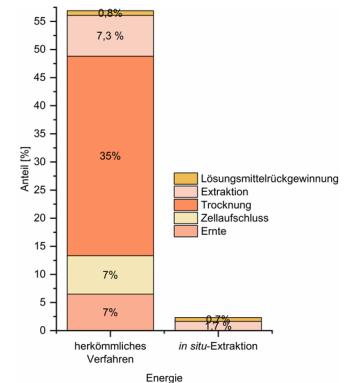
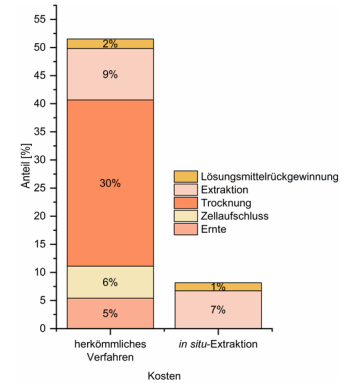
Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

In situ-Extraktion in 25 L Flat-Panel-Airlift-Reaktoren unter Zusammenführung aller Optimierungen (Showa)

In situ-Extraktion:

- Biomassekonzentration: 5,0 g L⁻¹
- Lichtintensität: 500 μmol_{Photonen} m⁻² s⁻¹
- Kohlenwasserstoffproduktivität: +235 %/ +24 % (Volumen/Biomasse)
- Kohlenwasserstoffausbeute: 2,44 g Reaktor⁻¹ d⁻¹

Extraktion		3 L Blasensäule	6 L FPA-Reaktor	25 L FPA-Reaktor
Startbiomasse	[g _X L ⁻¹]	1.482 ± 0.012	2.533 ± 0.091	5,0
Durchschnittliche Biomasse	[g _X L ⁻¹]	1.619 ± 0.238	2.636 ± 0.145	5,0
Biomasseproduktivität	[g _X L ⁻¹ d ⁻¹]	0.005 ± 0.103	0.002 ± 0.112	0,0
Kohlenwasserstoffproduktivität	[mg _{HC} L ⁻¹ d ⁻¹]	16.989 ± 3.241	41.380 ± 6.283	97,56
Kohlenwasserstoffproduktivität	[mg _{HC} g _X ⁻¹ d ⁻¹]	10.534 ± 1.544	15.721 ± 2.190	19,51
Kohlenwasserstoffausbeute	[g _{HC} Reaktor ⁻¹ d ⁻¹]	0,005	0,248	2,439



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl



CO₂-Fixierung

Einfluss auf die Biomasseproduktivität:

- Biomassekonzentration: 5,0 g L⁻¹
- Lichtintensität: 100, 250, 500, 1000 μmol m⁻² s⁻¹
- CO₂-Konzentration: 1%, 2%, 3%, 4% ($\dot{V} = 150$ NL/h)



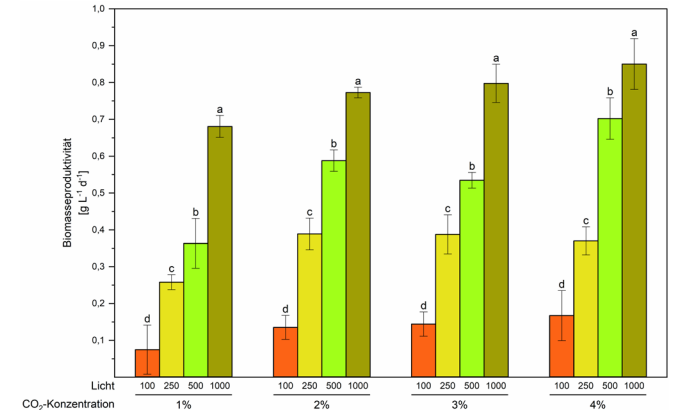
CO₂-Fixierung

Einfluss auf die Biomasseproduktivität:

- Biomassekonzentration: 5,0 g L⁻¹
- Lichtintensität: 100, 250, 500, 1000 μmol m⁻² s⁻¹
- CO₂-Konzentration: 1%, 2%, 3%, 4% ($\dot{V}$ = 150 NL/h)

- Zunahme der Biomasseproduktivität bei erhöhter Lichtintensität
- Zunahme der Biomasseproduktivität mit steigendem CO₂-Anteil

- Biomasseproduktivität von $0,85 \pm 0,07$ g L⁻¹ d⁻¹ (4 % CO₂/1000 μmol)
- Biomasseproduktivität von $0,70 \pm 0,06$ g L⁻¹ d⁻¹ (4 % CO₂/500 μmol)



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

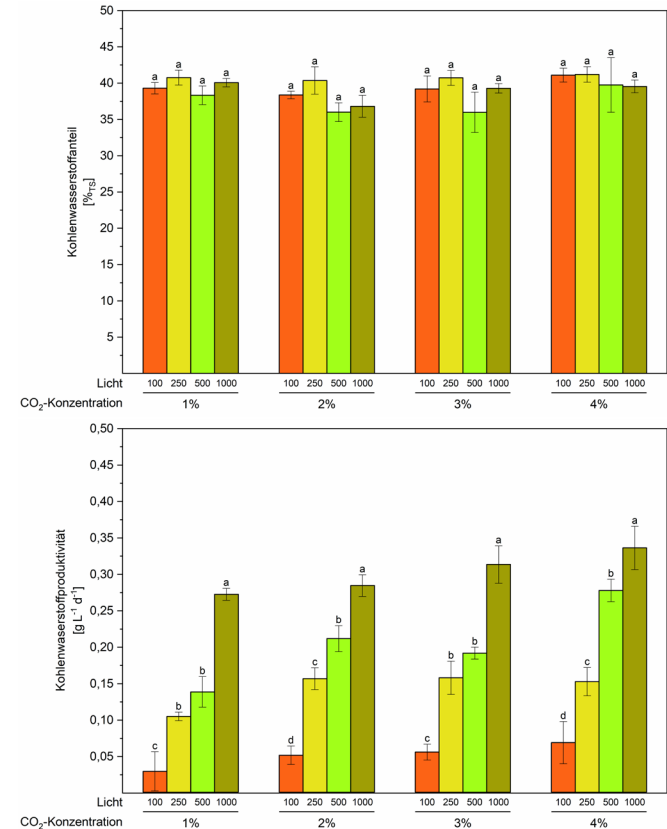
Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

CO₂-Fixierung

Einfluss auf den Kohlenwasserstoffanteil:

- Biomassekonzentration: 5,0 g L⁻¹
- Lichtintensität: 100, 250, 500, 1000 μmol m⁻² s⁻¹
- CO₂-Konzentration: 1%, 2%, 3%, 4% (Ṽ = 150 NL/h)

- Kein Einfluss auf die Kohlenwasserstoffkonzentration in der Biomasse
- Zunahme der Kohlenwasserstoffproduktivität mit steigendem CO₂-Anteil und Lichtintensität
- KW-Produktivität von $0,34 \pm 0,03$ g L⁻¹ d⁻¹ (4 % CO₂/1000 μmol)
- KW-Produktivität von $0,28 \pm 0,02$ g L⁻¹ d⁻¹ (4 % CO₂/500 μmol)



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl



Competence
Center
ALGAL
BIOTECH



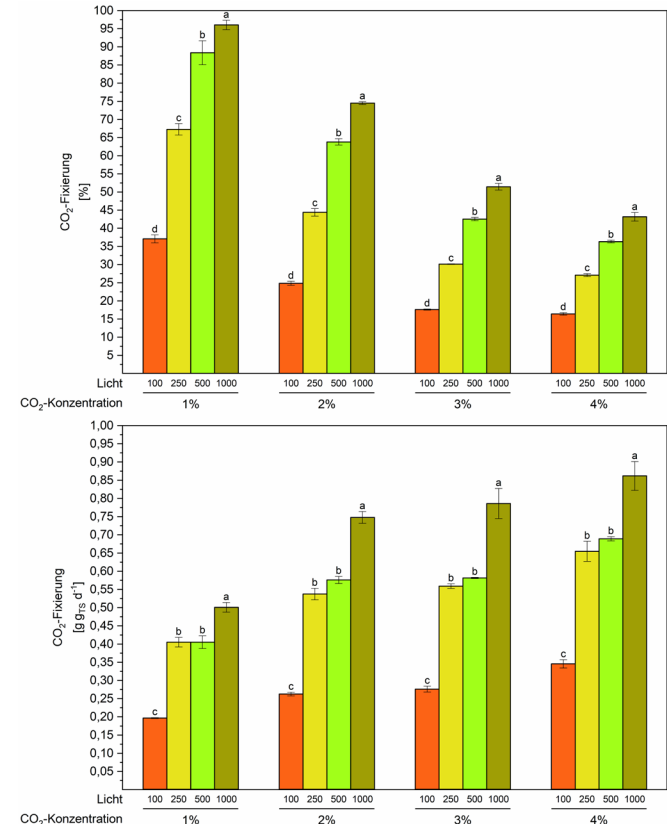
HOCHSCHULE
ANHALT University
of Applied Sciences

CO₂-Fixierung

Maximale CO₂-Fixierung:

- Biomassekonzentration: 5,0 g L⁻¹
- Lichtintensität: 100, 250, 500, 1000 μmol m⁻² s⁻¹
- CO₂-Konzentration: 1%, 2%, 3%, 4% (Ṡ = 150 NL/h)

- CO₂-Fixierung nimmt mit steigender Lichtintensität zu
- Fixierung (prozentuale) sinkt mit steigender CO₂-Konzentration
- Fixierung (masse) steigt mit steigender CO₂-Konzentration
- Maximale prozentuale CO₂-Fixierung > 95 % (< 280 ppm)
- Max. CO₂-Fixierung (Masse) von 0,86 ± 0,02 gCO₂ gTS⁻¹ d⁻¹



4. Mitteldeutscher Algenstammtisch (MISTA)

Vom CO₂ zu erdölähnlichen Kohlenwasserstoffen – Kontinuierliche Gewinnung aus Mikroalgen mittels Milking
Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Erfolgreiche Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 28 L FPA-Reaktoren
 - $97,56 \text{ mg}_{\text{KW}} \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$
- CO₂-Fixierung >95% bei 1% CO₂-Anteil
 - $0,5 \text{ g}_{\text{CO}_2} \text{ g}_{\text{TS}}^{-1} \text{ d}^{-1}$
 - > 280 ppm im Offgas
- CO₂-Fixierung von 45% bei 4% CO₂-Anteil
 - $0,86 \text{ g}_{\text{CO}_2} \text{ g}_{\text{TS}}^{-1} \text{ d}^{-1}$



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Erfolgreiche Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 28 L FPA-Reaktoren
 - 97,56 mg_{KW} L⁻¹ d⁻¹
- CO₂-Fixierung >95% bei 1% CO₂-Anteil
 - 0,5 g_{CO₂} g_{TS}⁻¹ d⁻¹
 - > 280 ppm im Offgas
- CO₂-Fixierung von 45% bei 4% CO₂-Anteil
 - 0,86 g_{CO₂} g_{TS}⁻¹ d⁻¹

Ausblick:

- Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 180 L FPA-Reaktoren (Technikum)



4. Stufe

180 L Flat-Panel Reaktoren



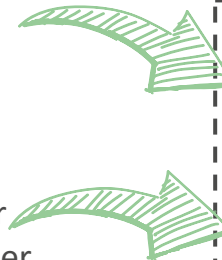
Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Erfolgreiche Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 28 L FPA-Reaktoren
 - 97,56 mg_{KW} L⁻¹ d⁻¹
- CO₂-Fixierung >95% bei 1% CO₂-Anteil
 - 0,5 g_{CO₂} g_{TS}⁻¹ d⁻¹
 - > 280 ppm im Offgas
- CO₂-Fixierung von 45% bei 4% CO₂-Anteil
 - 0,86 g_{CO₂} g_{TS}⁻¹ d⁻¹

Ausblick:

- Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 180 L FPA-Reaktoren (Technikum)
- Implementierung einer sensorbasierten Regelung für künstliche Beleuchtung (Poster Leander Haftenberger)



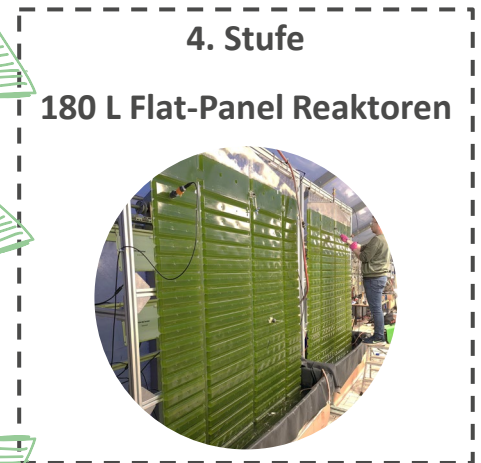
Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- Erfolgreiche Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 28 L FPA-Reaktoren
 - 97,56 mg_{KW} L⁻¹ d⁻¹
- CO₂-Fixierung >95% bei 1% CO₂-Anteil
 - 0,5 g_{CO₂} g_{TS}⁻¹ d⁻¹
 - > 280 ppm im Offgas
- CO₂-Fixierung von 45% bei 4% CO₂-Anteil
 - 0,86 g_{CO₂} g_{TS}⁻¹ d⁻¹

Ausblick:

- Übertragung der *in situ*-Extraktion auf 180 L FPA-Reaktoren (Technikum)
- Implementierung einer sensorbasierten Regelung für künstliche Beleuchtung (Poster Leander Haftenberger)
- Untersuchung zur kontinuierlichen CO₂-Fixierung bei Konzentrationen > 4%



4. MITTELDEUTSCHER ALGENSTAMMTISCH (MISTA)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Christian Kleinert – Max Weidemann – Max Hobohm – Beate Jung – Carola Griehl

*Competence Center Algal Biotechnology, Anhalt University of Applied Sciences,
Bernburger Str. 55, 06366 Köthen, Germany*

