

# Mikroalgen auf dem elektrischen Stuhl: Energieeffiziente Inhaltsstoffgewinnung aus Mikroalgen

Damaris Krust und Christian Gusbeth

*In Anbetracht des Klimawandels und der stetig wachsenden Weltbevölkerung können Mikroalgen als neue Energie- und Nahrungsressource zukünftig eine große Rolle spielen. Das im Meer befindliche Phytoplankton sorgt schon jetzt jedes Jahr für die Konvertierung der Hälfte des weltweit fixierten Kohlenstoffdioxids zu Sauerstoff. Warum diesen Rohstoff nicht nutzen?*

## Mikroalgen sind eine vielversprechende Rohstoffquelle der Zukunft

Die Algenkultivierung bietet gleichzeitig einen schnell wachsenden und erneuerbaren Rohstoff, welcher zudem nicht mit Nutzpflanzen um fruchtbares Ackerland konkurriert. Die einzellige grüne Mikroalge *Chlorella vulgaris* ist bereits für die Herstellung von Lebensmitteln zugelassen und besitzt hochwertige Inhaltsstoffe (Proteine, Omega-3-Fettsäuren, Vitamine, Antioxidantien) mit einem Gehalt von ca. 50-60 % Protein bezogen auf die Trockenbiomasse.

Dies hat großes Interesse daran geweckt, *C. vulgaris* als Nahrungsergänzungsmittel im Rahmen einer proteinreichen Ernährung einzusetzen. Doch aufgrund der starren Zellwand würden Mikroalgen ohne Zellaufschlussverfahren das Verdauungssystem des Menschen nur passieren und die wertvollen Nährstoffe nicht aufgenommen werden. Für die Extraktion der intrazellulären Inhaltsstoffe ist ein Zellaufschluss notwendig. Dabei sind physikalische Verfahren vorzuziehen, weil Zellaufschluss durch Chemikalien oft eine spätere Verwendung für die Lebensmittelindustrie verhindert.

## Zellaufschluss durch Elektroimpulsbehandlung (EIB) mit anschließendem Bioraffineriekonzept

Der Zellaufschluss durch Elektroimpulsbehandlung (EIB) bietet eine vorteilhafte und schonende Technologie. EIB führt in der Regel zu unumkehrbarer Elektroporation der Zellmembran, während die weiter außen liegende Zellwand unversehrt bleibt. Die

Zellen sterben aufgrund der Poren in der Zellmembran ab, lösliche intrazelluläre Komponenten wie Proteine beginnen auszutreten und reichern sich nach einer Wartezeit außerhalb der Zelle an. Weil EIB im Vergleich zu mechanischen Verfahren keine kleinen Zelltrümmer verursacht, ist die Abtrennung der Proteine durch Filtration oder Zentrifugation leicht zu erreichen.

Darüber hinaus enthält das verbleibende Sediment Lipidkomponenten wie intrazelluläre Öltröpfchen, die dann für die Lösungsmittelextraktion leicht zugänglich sind. Die restliche Biomasse kann zudem noch über thermochemische Umwandlung oder anaerobe Vergärung verwertet werden. Somit bietet EIB als Extraktionsmethode eine vielversprechende Technologie für die sequenzielle Extraktion von Proteinen für Lebensmittel, Lipiden für Biodiesel und Biogas im Kaskaden-Prozess (Abb. 1).

Es ist nicht genau bekannt, welche biologischen Prozesse durch EIB in der Zelle ausgelöst werden, die zur Freisetzung der wertvollen Inhaltsstoffe führen. Die Art des durch EIB induzierten Zelltodes hat Einfluss auf die Effizienz der Proteinextraktion, sodass ein besseres Verständnis des Zelltodes nach EIB

zu Möglichkeiten einer verbesserten Proteinextraktion führen könnte. Eine biotechnologische Strategie könnte darin bestehen, EIB mit sehr niedrigem Energieeintrag als biologisches Signal für die Induktion des programmierten Zelltodes einzusetzen. Dies könnte den Zellaufschluss durch EIB bezogen auf Energieeffizienz optimieren, da die bisher angewendete hohe Energie dafür ausgelegt ist, die Membranen möglichst vieler Zellen irreversibel zu permeabilisieren. Die biologischen Aspekte von EIB könnten somit zu einer energieeffizienten Extraktion der Proteine und weiterer Inhaltsstoffe beitragen.

## Zelltod durch EIB beinhaltet aktive biologische Prozesse im Zusammenhang mit einer letalen Komponente [1]

EIB als Extraktionsverfahren erfordert hohe Biomassekonzentrationen und somit hohe Zelldichten, um die Technologie wirtschaftlich zu machen. Ein erstes Experiment zielte darauf ab, den Einflussfaktor der Zelldichte auf die Mortalität nach EIB zu analysieren. *C. vulgaris*-Suspensionen mit hoher Zelldichte wurden direkt nach EIB zu Suspensionen mit niedriger Zelldichte ver-

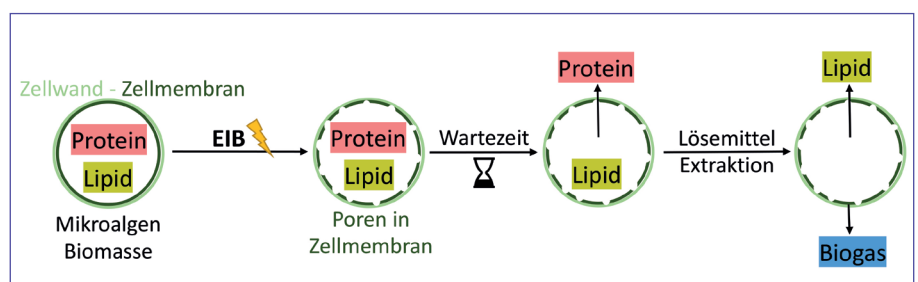
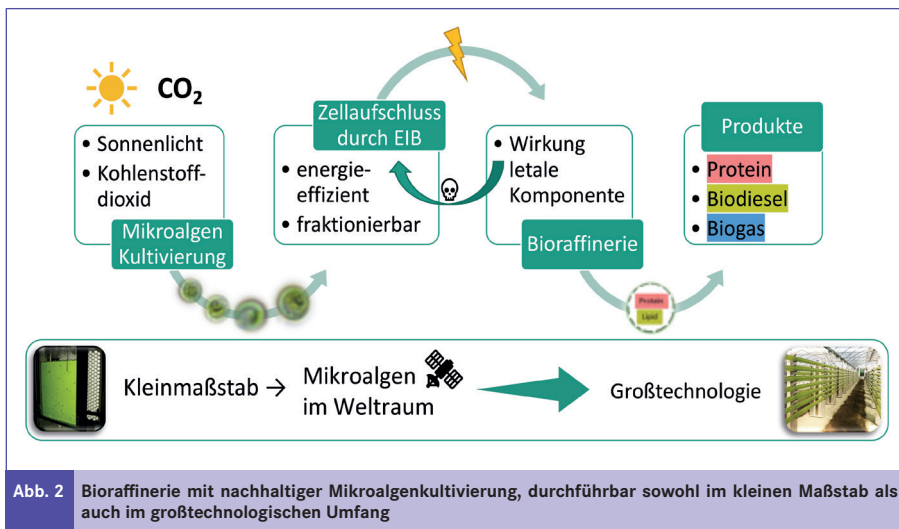


Abb. 1 Bioraffineriekonzept auf Basis der Elektroimpulsbehandlung (EIB), bei der alle Inhaltsstoffe effizient genutzt werden (Protein → Lebensmittel, Lipid → Biodiesel, restliche Biomasse → Biogas)



Diese Experimente wurden im Labormaßstab durchgeführt, jedoch lassen sich sowohl die Kultivierung in großen Photobioreaktoren, als auch die EIB-Technologie in großen Anlagen bis zum Industriemaßstab hochskalieren. Eine weitere Einsatzmöglichkeit wäre eine Bioraffinerie im kleinen Maßstab, um beispielsweise Mikroalgen im Weltraum zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung und als Nahrungsquelle zu nutzen. Die vielseitigen Vorteile durch Kohlenstoffdioxidaufnahme, Sauerstoffproduktion und Einsatz als mögliche Nahrungsquelle machen ein solches Konzept zu einer sehr interessanten Idee für morgen.

## Quelle

- [1] Krust, D.; Gusbeth, C.; Müller, A.S.K.; Scherer, D.; Müller, G.; Frey, W.; Nick, P.: Biological signalling supports biotechnology – Pulsed electric fields extract a cell-death inducing factor from *Chlorella vulgaris*. In: *Bioelectrochemistry* 143, S. 107991, 2022.

*D. Krust und Dr. C. Gusbeth, Wissenschaftliche Mitarbeiter, Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Eggenstein-Leopoldshafen*  
 damaris.krust@kit.edu  
 christian.gusbeth@kit.edu

## Acknowledgement

This work was conducted in the framework and financed by the Helmholtz Program MTET, Topic 5 „Resource and Energy Efficiency” and by the SABANA-project of the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation program [Grant Agreement No. 727874].

dünnt. Sehr niedrige Energien lassen nur einen geringen Anteil der Zellen nach der Behandlung absterben. Die Überwachung der Mortalität zeigt, dass bei niedriger Zelldichte EIB zu einer konstanten Mortalität von etwa 30 % führt. Bei höherer Zelldichte ist jedoch eine steigende Mortalität über einen Zeitraum von 24 h zu beobachten.

Da die Zellen erst direkt nach der Behandlung aufgetrennt wurden, kann der Unterschied nicht aus rein physikalischen Parametern der EIB resultieren, sondern muss auf biologische Prozesse zurückzuführen sein, die nach der Behandlung ablaufen. Dies führte zu der Hypothese, dass EIB mit niedrigen Energien zur Freisetzung einer letalen Komponente führt.

In den folgenden Experimenten stellte sich schnell heraus, dass der gewonnene zellfreie Überstand von EIB-behandelten Zellen eine letale Wirkung auf unbehandelte Mikroalgenzellen hat und mit hoher Potenz zum Absterben von frischen Mikroalgen führt, auch wenn diese nicht direkt mit EIB behandelt wurden. Zusammengefasst haben die Experimente gezeigt, dass der Zelltod durch EIB aktive biologische Prozesse im Zusammenhang mit einer letalen Komponente involviert und auf kein rein physikalisches Phänomen und Proteinextraktion durch Diffusion zurückzuführen ist. Aufgrund dessen besteht Grund zur Annahme, dass diese Prozesse auch bei niedriger Energie (1-10 J·ml<sup>-1</sup>) ausgelöst werden können und der gleiche Effekt wie bei höheren Energieeinträgen (150 J·ml<sup>-1</sup>) erzielt werden kann.

## Proteinextraktion möglich bei sehr niedrigen Energien

Daraufhin wurde die Proteinextraktionseffizienz abhängig von der spezifischen Behandlungsenergie gemessen. Dabei konnte gezeigt werden, dass selbst EIB mit sehr niedrigen spezifischen Energien zur Induktion des Zelltodes führte und somit vergleichbare Proteinextraktionseffizienzen erreicht werden können. Die Energiereduktion ist bis zu einem Faktor 100 möglich, verglichen mit bisher verwendeten Energien. Dies unterstützt die Hypothese, dass EIB bei sehr niedrigen Energien eine aktive Signalkaskade entfalten kann, die in der beobachteten Induktion des Zelltods kumuliert. Dieses energieeffiziente Zellaufschlüsselungsverfahren kann für die Proteinextraktion mit anschließender Biomasse-Fabrikation von wesentlichem Vorteil sein.

## Ausblick

Energieeffiziente EIB mit anschließender Inkubationszeit zur Aktivierung der biologischen Prozesse im Zusammenspiel mit der letalen Komponente könnte eine neuartige biotechnologische Strategie sein, um schonend und ohne großen Aufwand hochwertige Proteine aus *C. vulgaris* zu extrahieren. Durch die einfache Fraktionierung der Biomasse kann ein Bioraffineriekonzept auf Basis der EIB-Technologie entwickelt werden, bei der möglichst alle Inhaltsstoffe effizient genutzt werden (Abb. 2).

> PRINT  
> ONLINE  
> DIGITAL



Weitere Informationen unter:

[www.et-magazin.de](http://www.et-magazin.de)