

# Untersuchung von Algenwachstum unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen

Lennart Fedler, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung, Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

## Zusammenfassung

Die Maximierung des Wachstums von Mikroalgen erfordert die Erforschung der besten Bestrahlungsbedingungen. In diesem Paper werden daher verschiedene Bestrahlungsbedingungen an der Mikroalge *Nannochloropsis salina* untersucht. Dazu erfolgte eine Variation der spektralen Zusammensetzung des Lichtes sowie der Bestrahlungsintervalle. Bei den Variationen wird die tägliche Photonenstromdichte (Daily Light Integral - DLI) konstant gehalten und anschließend die Wachstumsrate verglichen. Neben der Betrachtung der Wachstumsrate wird auch die Trübung des Wassers über den Versuchszeitraum mithilfe eines Messverfahrens nach DIN EN ISO 7027-1 überwacht. Zwischen der gemessenen Trübung und der Wachstumsrate konnte eine Diskrepanz bei bestimmten Spektren festgestellt werden. Insgesamt führt eine konstante, quasi monochromatische blaue Bestrahlung zur höchsten Wachstumsrate von  $14,28 \text{ mg l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

**Index Terms:** Microalgenbelichtung, Wachstumsrate, Trübungsmessung

## 1 Einleitung

Eine wachsende Weltbevölkerung sowie der damit einhergehende steigende CO<sub>2</sub>-Ausstoß führen zu einem Wandel unseres Weltklimas [1]. Da die Auswirkungen der Veränderungen noch nicht vollständig vorhersehbar sind und sich die Ökosysteme schon heute merklich gewandelt haben, sollte mehr Aufwand in die Verhinderung weiterer Veränderung gesteckt werden [1]. Neben dem Einfluss der Menschen auf die Ökosysteme der Erde muss die wachsende Weltbevölkerung auch mit Nahrung versorgt werden. Für beide Probleme könnten Algen einen Teil der Lösung darstellen. So wie Pflanzen an Land benötigen sie dabei Energie aus Licht, um wachsen zu können. Gerade Algen eignen sich besonders für den Einsatz in der Ernährung, da sie im Vergleich zu Landpflanzen bis zu zehnmal schneller wachsen. Eingesetzt werden können Algen sowohl für menschliche Nahrungsmittel oder für die Versorgung von Nutztieren und für die Erzeugung von Biokraftstoffen für Transportmittel.



Für ein maximales Wachstum der Algen können die Einflussparameter auf das Wachstum optimiert werden. Einen großen Einfluss stellt die Belichtung der Algen dar. Abhängig von der spektralen Zusammensetzung sowie der Belichtungszeit konnten schon in anderen Studien unterschiedliche Wachstumsraten erzielt werden. Durch unterschiedliche Intensitäten, aber auch verschiedene Reaktoren, in denen die Versuche durchgeführt wurden, ist ein Vergleich der Studien untereinander wenig aussagekräftig. Die Abbildung 1.1 verdeutlicht die unterschiedlichen idealen Spektren verschiedener Studien an unterschiedlichen Mikroalgespezies.

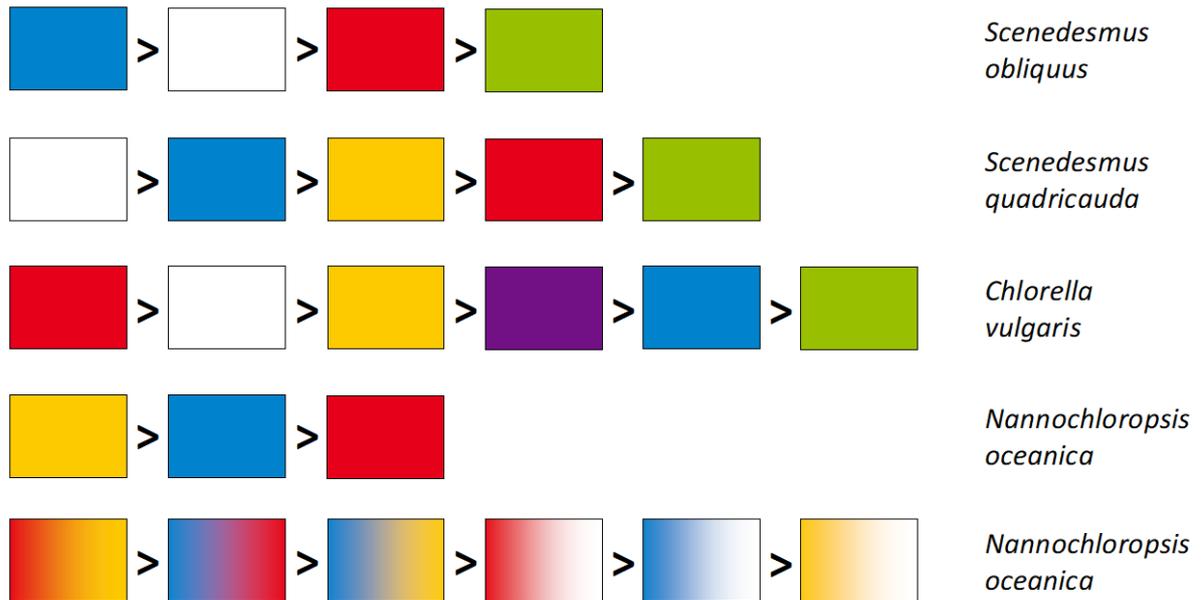


Abbildung 1.1: Vergleich verschiedener Wachstumsstudien mit unterschiedlichen Mikroalgenarten. *Scenedesmus obliquus* [2], *Scenedesmus quadricauda* [3], *Chlorella vulgaris* [4], *Nannochloropsis oceanica* [5], [6].

Neben dem Vergleich unterschiedlicher spektraler Bestrahlung wird in der Studie von Xu et al. auch die Dauer als Faktor auf das Wachstum untersucht [2]. Gerade bei höheren Intensitäten führt eine Bestrahlung von 18 Stunden am Tag zu einem höheren Wachstum als eine konstante Bestrahlung.

Künstliche Belichtung der Algen hat unterschiedliche Auswirkungen auf das Wachstum der Algen. Zusätzlich führt diese auch zu einem höheren Energieverbrauch. Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Bestrahlungsbedingungen untersucht, um eine möglichst allgemeine ideale Bestrahlung zu finden. Dafür werden mit der Mikroalge *Nannochloropsis salina* zehn unterschiedliche Bestrahlungsbedingungen getestet und verglichen. Zusätzlich wird untersucht, wie sich die Trübung der Algenmasse im Laufe des Versuchszeitraums verändert. Die Trübung wird häufig mit der Algenmasse in der Flüssigkeit des Mediums verknüpft und soll daher hier untersucht werden.

## 2 Konzeption des Reaktoraufbaus



Abbildung 2.1: Untersuchungsaufbau mit 12 einzelnen Reaktoren.

Der konzipierte Aufbau ist in Abbildung 2.1 zu sehen. Es handelt sich dabei um zwölf einzelne Röhrenreaktoren, welche durch auswechselbare LED-Platinen bestrahlt werden. Insgesamt wurden damit zehn unterschiedliche Bestrahlungsbedingungen untersucht. Durch unterschiedliche LED Mischungen wurden sechs verschiedene Spektren realisiert. Zusätzlich wurden vier unterschiedliche zeitliche Bestrahlungen untersucht. Die verschiedenen Spektren bestanden dabei aus einem quasi monochromatisch blauen, einem quasi monochromatisch grünen sowie einem RGB-gemischtem Spektrum, welches einen weißen Farbeindruck erzeugt. Zusätzlich wurden zwei blau-rot Mischungen sowie eine blaue Mischung mit Strahlung nahe der 400 nm-Grenze getestet. Alle Spektren sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Realisiert wurden die Spektren mithilfe von Mid-power LEDs der Firma Lumileds (USA). Die unterschiedlichen zeitlichen Bestrahlungen wurden alle mit dem weißen Spektrum durchgeführt. Es gab eine konstante Bestrahlung, welche als Referenz verwendet wurde sowie Bestrahlung mit 16 Stunden täglicher Bestrahlung. Weiter gab es einen stündlichen Wechsel zwischen eingeschalteter und ausgeschalteter Bestrahlung sowie zwei PWM modulierte Bestrahlungen bei 10 und 100 Hz. Alle Bestrahlungen wurden auf eine einheitliche Intensität von  $34,56 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  über dem Tagesmittel eingestellt, was das Daily Light Integral (DLI) darstellt.

Während der Versuche sind die Reaktoren durch Trennwände voneinander und von der Umgebung abgeschirmt, um Einflüsse untereinander zu verringern.

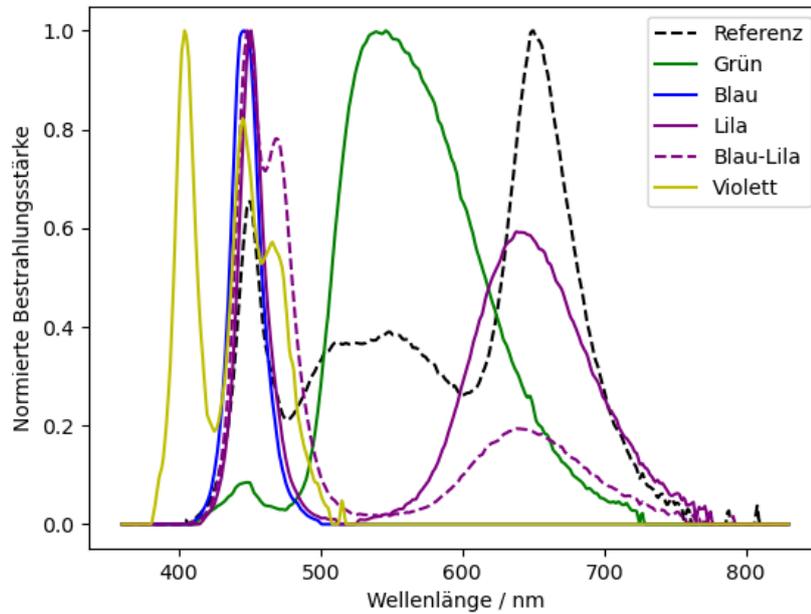


Abbildung 2.2: Verwendete Versuchsspektren gemischt mit LED der Firma Lumileds

Zusätzlich zur Belichtung verfügt der Aufbau über Temperatursensoren, mit denen die Wassertemperatur sowie die Umgebungstemperatur einiger Versuchsröhren gemessen werden kann. Des Weiteren werden alle Röhren mit Luft versorgt, um die Algen zum einen mit CO<sub>2</sub> zu versorgen sowie sie zu bewegen. Das Volumen der einzelnen Reaktoren beträgt 400 ml.

### 3 Wachstumsratenuntersuchung

Die Messung der Wachstumsrate erfolgte nach einer zweiwöchentlichen Wachstumsphase. Für die Ermittlung der Rate wurde die im Reaktor verbliebene Flüssigkeit filtriert und getrocknet.

Wachstumsraten mit Standardabweichung

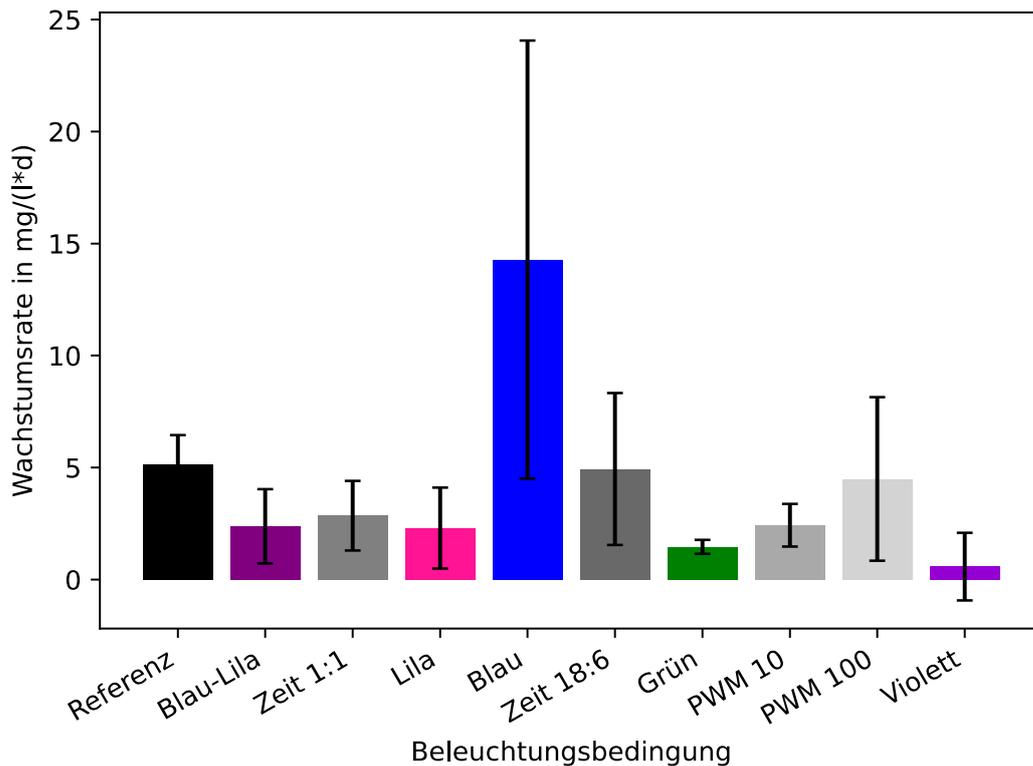


Abbildung 3.1: Wachstumsraten der verschiedenen Bestrahlungsbedingungen mit Standardabweichung.

Die im Versuch erreichten Wachstumsraten sind in Abbildung 3.1 dargestellt. Die höchste Wachstumsrate aller Versuche erreicht das quasi monochromatische blaue Spektrum mit einer Wachstumsrate von  $14,28 \text{ mg l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Alle anderen spektralen Untersuchungen haben geringere Wachstumsraten als die Referenzbestrahlung, welche mit  $5,15 \text{ mg l}^{-1} \text{ d}^{-1}$  auch die höchste Wachstumsrate der zeitlichen Bestrahlungen darstellt.

Die gewonnenen Ergebnisse decken sich mit den Versuchen von Niizawa et al. ab, welche auch das quasi monochromatisch blaue Spektrum als ideales Spektrum identifiziert haben [3]. Im Unterschied zu der genannten Untersuchung konnte in der vorliegenden Arbeit nur eine halb so große Wachstumsrate erreicht werden, welche durch unterschiedliche Umgebungsbedingungen erklärt werden könnte.

Neben der möglichen Einordnung zu anderen Arbeiten fallen bei den vorliegenden Ergebnissen die großen Standardabweichungen auf. Die verwendete

Trockenmassemessung könnte einen Beitrag zu diesen Abweichungen liefern, da sie schon bei einer Voruntersuchung eine Standardabweichung von 13 % und eine systematische Abweichung von 10 % aufwies. Neben dem Einfluss der Trockenmassemessung können auch die Umgebungsbedingungen noch einen Einfluss auf das Algenwachstum haben, welches nicht näher untersucht werden konnte.

#### 4 Trübungsmessungen

Die Trübungsmessungen wurden nach DIN 7021 durchgeführt [7]. Dabei wurden täglich die Trübungswerte der einzelnen Reaktoren aufgezeichnet. Eine Abweichung vom erwarteten Verlauf stellte dabei vor allem der erste Tag dar. Die Trübungswerte des ersten Tages einer Versuchsreihe sind in Abbildung 4.1 dargestellt. Vor dem Start der Belichtung war die Flüssigkeit in allen Reaktoren einheitlich. Durch eine homogene Flüssigkeit wurde auch in der Trübungsmessung nur eine geringe Abweichung zwischen den einzelnen Reaktoren erwartet. Die Abweichung wurde nach einer Belichtungszeit von 10 – 20 Minuten festgestellt und weist auf eine Abhängigkeit der Trübungsmessung von der verwendeten Bestrahlungsbedingung hin. Dabei lässt sich in Abbildung 4.1 erkennen, dass sowohl die spektrale Zusammensetzung, aber auch die Intensität der Bestrahlung selbst einen Einfluss haben. Bei dem gleichen Spektrum erzielt die höhere Intensität (Zeit 1:1) bei eingeschaltetem Licht einen niedrigeren Trübungswert als die Referenzbelichtung.

Andere Arbeiten im Gebiet der Algenuntersuchung verwenden häufig ein Optical Density (OD) Messverfahren, welches dem der Trübungsmessung sehr ähnlich ist. Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass auch auf die OD-Messverfahren ein Einfluss durch unterschiedliche Bestrahlungen existieren könnte. Überprüfen ließ sich diese These im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht.

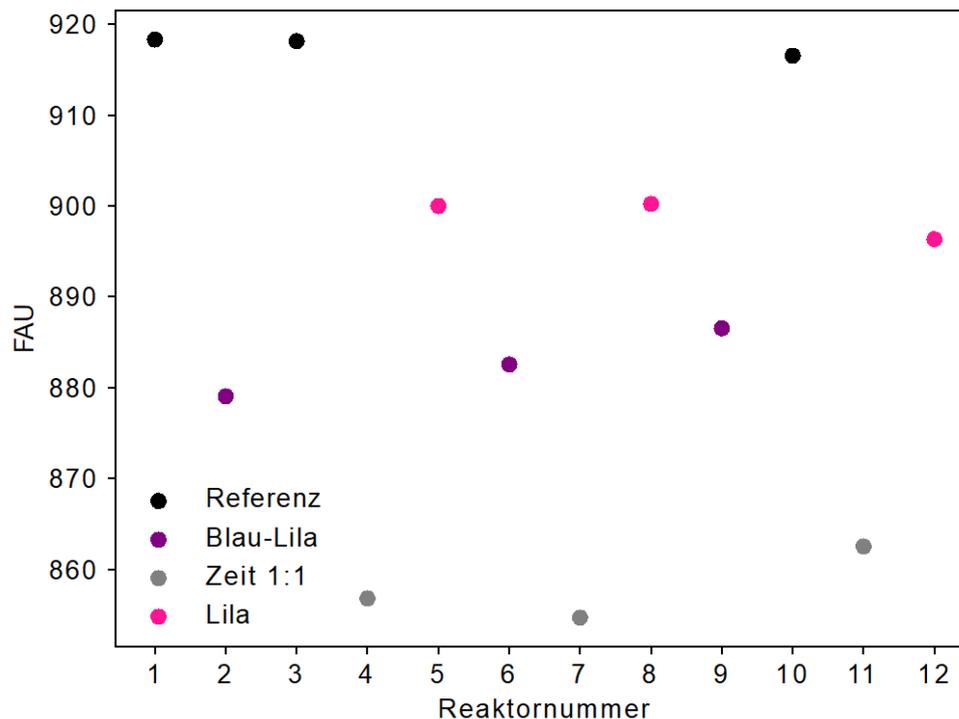


Abbildung 4.1: Trübungswerte (FAU) der Startmessung einer Versuchsdurchführung.

## 5 Fazit und Ausblick

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Versuche konnten die quasi monochromatische blaue Bestrahlung als ideale Belichtung für die Alge *Nannochloropsis Salina* bestimmen. Änderungen der Bestrahlungszeit konnten keine Verbesserung gegenüber einer konstanten Bestrahlung erzielen. Neben den Wachstumsraten konnten im Rahmen der Versuche die Trübungswerte der Flüssigkeit bestimmt werden. Dabei ließ sich ein Zusammenhang zwischen der Bestrahlungsbedingung und dem Trübungswert feststellen, obwohl die gleiche Startflüssigkeit verwendet wurde. Anhand dieser Erkenntnisse zur Trübungsmessung können weitere Untersuchungen folgen, welche die Ursache dieser Abweichung untersuchen.

## 6 References

- [1] I. P. on C. Change, *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 2023. doi: 10.1017/9781009157896.
- [2] H. Xu, X. Liu, Z. Mei, J. Lin, S. Aaron, und H. Du, „Effects of Various Light-Emitting Diode (LED) Wavelengths on the Growth of *Scenedesmus Obliquus* Fachb-12 and Accumulation of Astaxanthin“, *Phyton*, Bd. 88, Nr. 3, S. 335–348, 2019, doi: 10.32604/phyton.2019.06880.
- [3] I. Niizawa, R. J. Leonardi, H. A. Irazoqui, und J. M. Heinrich, „Light wavelength distribution effects on the growth rate of *Scenedesmus quadricauda*“, *Biochemical Engineering Journal*, Bd. 126, S. 126–134, 2017, doi: 10.1016/j.bej.2016.09.006.
- [4] C. Yan, L. Zhang, X. Luo, und Z. Zheng, „Effects of various LED light wavelengths and intensities on the performance of purifying synthetic domestic sewage by microalgae at different influent C/N ratios“, *Ecological Engineering*, Bd. 51, S. 24–32, 2013, doi: 10.1016/j.ecoleng.2012.12.051.
- [5] C.-Y. Chen, Y.-C. Chen, H.-C. Huang, C.-C. Huang, W.-L. Lee, und J.-S. Chang, „Engineering strategies for enhancing the production of eicosapentaenoic acid (EPA) from an isolated microalga *Nannochloropsis oceanica* CY2“, *Bioresource technology*, Bd. 147, S. 160–167, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2013.08.051.
- [6] C.-Y. Chen, Y.-C. Chen, H.-C. Huang, S.-H. Ho, und J.-S. Chang, „Enhancing the production of eicosapentaenoic acid (EPA) from *Nannochloropsis oceanica* CY2 using innovative photobioreactors with optimal light source arrangements“, *Bioresource technology*, Bd. 191, S. 407–413, 2015, doi: 10.1016/j.biortech.2015.03.001.
- [7] DIN, „7027-1 Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Trübung: Teil 1: Quantitative Verfahren“, Bd. ICS 13.060.60, Nr. 7027–1:2016. November 2016.