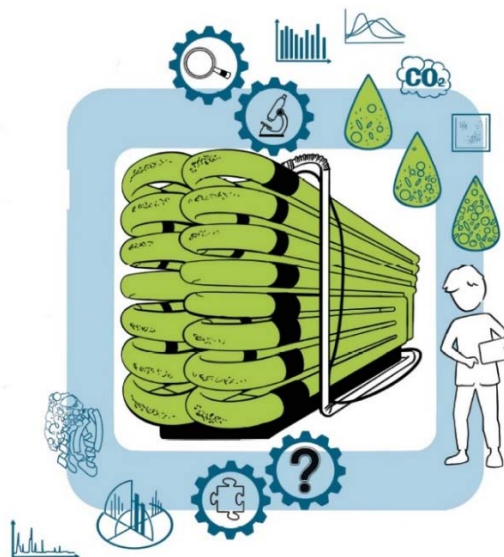




# Abschlussbericht

## ALGAE-MODULE 4.0

Verfahrensentwicklung zum Aufbau einer modularen Produktionsanlage  
für algenbasierte Lebensmittel



### Sachbericht - Teil 1 – Kurzbericht

Berichtszeitraum: 01.07.2022 – 30.06.2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegen bei den Autoren

## I. Aufgabenstellung und wissenschaftlich/technischer Stand

Mikroalgen sind ein vielversprechender, alternativer, gesunder und vielseitig einsetzbarer Rohstoff für die Lebensmittelindustrie. Der breite Einsatz von algenbasierten Produkten in der deutschen Lebensmittelwirtschaft wird vor allem durch die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Produkte in ausreichender Quantität limitiert. Dieser Umstand geht vor allem auf die geringen Produktionskapazitäten in Deutschland aber auch auf fehlende Qualitätskriterien in der Produktion und der Produktanalyse zurück. Derzeit werden Mikroalgen vor allem in Form von Pulvern oder Tabletten als Nahrungsergänzungsmittel am Markt angeboten. Die produzierten Biomassen haben ihren Ursprung im Wesentlichen aus dem asiatischen Raum und schwanken stark in Ihrer Qualität, sowohl hinsichtlich der Verunreinigung mit Fremdalgen, als auch der Schwermetallbelastung durch unzureichende Wasserqualität. Die Trocknung von Mikroalgen-Biomasse erfolgt im Wesentlichen aus dem Bedarf für den Transport und der Lagerfähigkeit der Produkte, reduziert allerdings die ernährungsphysiologischen Eigenschaften erheblich. Zudem können die internationalen Lieferketten nicht in jedem Fall gesichert werden. Um eine nachhaltige Integration von Mikroalgen als Rohstoff für die Lebensmittelindustrie zu etablieren, bedarf es dem Aufbau lokaler Produktionskapazität an qualitätsgesicherter Biomasse. Um regionale Wertschöpfungsketten mit hochwertigen Produkten zu versorgen und den ernährungsphysiologischen Mehrwert frischer Mikroalgen für innovative Produkte zu erschließen, erfordert es der Entwicklung von modularen Produktionseinheiten und qualitätsgesicherten Prozessen, idealerweise im Sinne einer Bioraffinerie (Multi-Produkt-Prozesse). Das Vorhaben ALGAE-MODULE 4.0 arbeitete aus diesem Grund an den folgenden technischen und wissenschaftlichen Zielstellungen:

- Aufbau einer Best-Practice Prozesskette zur modularen Produktion und Produktaufbereitung frischer Mikroalgenbiomasse
- Prozessintensivierung durch kontinuierliche Prozesse und Prozessanalytik
- Untersuchung der spektralen Licht-Bedingungen auf die Produktqualität
- Ressourceneffiziente Produktion durch die Nutzung von Abwärme-Strömen multispektraler LED-Lichtquellen
- Etablierung von Echtzeit-Qualitätsanalysen für Mikroalgen-Feuchtbiomasse auf Basis der industrietauglichen Nahinfrarot-Spektroskopie
- Entwicklung optischer Echtzeit-Tools für eine robuste Biomasse-Bestimmung von Feuchtbiomasse

- Schonende Aufarbeitungstechnologien für potenzielle Bioraffinerie-Prozesse
- Verarbeitung frischer Mikroalgen-Biomasse in Form von Nassextrusion

## II. Ablauf des Projektes

Das NewFoodSystems Vorhaben ALGAE-MODULE 4.0 brachte die Expertise von 9 Projektpartnern entlang der Wertschöpfungskette der Mikroalgenproduktion (PUEVIT GmbH, Algenium GmbH & Co. KG), der technischen Ausstattung in Bezug auf Licht- (DH Licht GmbH) sowie Regelungs- und Kommunikationstechnik (Experior MicroTech GmbH), innovativer Aufbereitungsverfahren (ELEA Technology GmbH), der optischen Prozessanalytik (Bruker Optik GmbH), der Lebensmittelverarbeitung (endori food GmbH & Co. KG) sowie der universitären Forschung im Bereich Downstream Processing (TU Berlin) bzw. Prozessentwicklung und -optimierung (TU Dresden). Das Verbundvorhaben wurde von der TU Dresden, Institut für Naturstofftechnik, koordiniert und erfolgte im Zeitraum vom 01.07.2022 – 30.06.2024. Das Projekt ALGAE-MODULE 4.0 fokussiert sich dabei auf zwei Beispielprozesse – die Produktion des in Deutschland als Nahrungsmittel zugelassenen Cyanobakteriums *Limnospira platensis* (Spirulina) sowie der nicht-konventionellen Mikroalge *Chlorella zofingiensis*, die ein großes Potenzial als Rohstoff für Lebensmittelanwendungen aufweist. *L. platensis* dient dabei vor allem als nachhaltige Proteinressource sowie als Quelle des natürlichen, blauen Phycobili-Pigmentes Phycocyanin. *C. zofingiensis* ist vor allem für seinen hohen Fettgehalt sowie für die Synthese bioaktiver Carotenoide, u.a. Astaxanthin und Canthaxin, bekannt.

## III. Wesentliche Ergebnisse von ALGAE-MODULE 4.0

Für die Untersuchung der Biomassezusammensetzung in Abhängigkeit der spektralen Lichtbedingungen wurde durch die Projektpartner DH Licht GmbH und die TU Dresden ein Screening-Setup (9 parallele Kulturen) etabliert, das eine Variation der Lichtbedingungen auf 8 Kanälen erlaubt. Die experimentellen Analysen zeigten, dass ein Breitbandlichtspektrum (Weißlicht) das Biomassewachstum bis 30% im Vergleich zu monochromatischen Bedingungen steigert. Die Wertstoffproduktion kann vor allem durch die Exposition von grünem Licht (primäre Pigmente) bzw. blauem Licht (sekundäre Carotenoide) stimuliert werden. Für die gezielte Akkumulation von Wertstoffen eignet sich demnach eine 2-Phasen Prozessstrategie. Die prozessbegleitende Analytik wurde auf zwei Ebenen untersucht. Die Algenium GmbH & Co. KG entwickelte ein multispektrales

Sensorsystem, das neben der Anregung im UV- und Weißlichtbereich, die Streulichtsignale von 410 – 940 nm ermöglicht. Der Plug & Play Sensor liefert optische Echtzeitdaten mit deren Hilfe sowohl die Biomassekonzentration ( $0,4 - 2,0 \text{ g L}^{-1}$ ) als auch Kontaminationen erkannt werden können. Ein weiterer optischer Multiparameter-Bypass-Sensor wurde durch die TU Dresden etabliert. Dieser kann als Bypass in verschiedene Kultivierungssysteme integriert werden und wurde für *C. zofingiensis* sowohl für quantitative als auch qualitative Messaufgaben trainiert. Eine umfangreiche Datenakquise sowie Modelltraining wurde für die Analyse von Biomass slurries der beiden Mikroalgen mittels NIR durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Analyse der makromolekularen biochemischen Zusammensetzung mit Slurry-Proben (ca.  $10 \text{ g L}^{-1}$ ) möglich ist. Eine quantitative Aussage zur Biomassequalität (Fett-, Protein-, Kohlenhydrat-, Mineralstoff-, Wassergehalt) ist nach ca. 5-minütiger NIR-Analyse möglich. Dies entspricht einer Reduktion des Arbeitsaufwandes von 5 Tagen Nasschemie auf 5 Minuten optische Analyse. Die kontinuierliche Kultivierung verspricht eine Verbesserung der Prozessstabilität und -produktivität. Für beide Mikroalgen konnten durch eine kontinuierliche Prozessführung die Raum-Zeit-Ausbeute um ca. 25 – 30% im Vergleich zur Satzkultivierung gesteigert werden. Durch konstante Produktionsbedingungen im Fließgleichgewicht wird zudem eine konstante Biomassequalität sichergestellt. Am Aufbau der Demonstrator-Anlage im 200 L Maßstab waren alle Projektpartner beteiligt. Die DH Licht GmbH konzeptionierte und fertigte wassergekühlte LED-Röhren, die eine Rückgewinnung der LED-Abwärme ermöglichen. Die spektral dimmbaren Lichtquellen ermöglichten zudem eine modelbasierte Anpassung der Lichtintensität und des -spektrums für die jeweiligen Prozessphasen. Dadurch konnte u.a. die Biomasseproduktivität von *C. zofingiensis* im Vergleich zum Stand der Technik um den Faktor 5 gesteigert werden. Das Automatisierungs- und Monitoringkonzept (Datenerfassung und Cloud-basierte Darstellung) wurde durch die Experior MicroTech GmbH umgesetzt. Dies umfasst die Entwicklung einer Präzisionssensoreinheit, v.a. Temperatursensoren, zur Optimierung der Energieflüsse innerhalb des Systems, sowie die Konzeptionierung und Fertigung einer integrierten Steuereinheit zur prozessgesteuerten Lichtbereitstellung mittels DALI-Schnittstelle.

Im Bereich der Aufarbeitungstechnik (Downstream Processing) erarbeitete die TU Berlin ein Konzept für ein Mehrphasenextraktionssystem, um eine Fraktionierung der Frischbiomasse zu ermöglichen. Dabei wurden Mikro- und Makroemulsionen sowie die Cloud-Point-Extraktion mit verschiedenen Lösungsmittelsystemen für hydrophile und

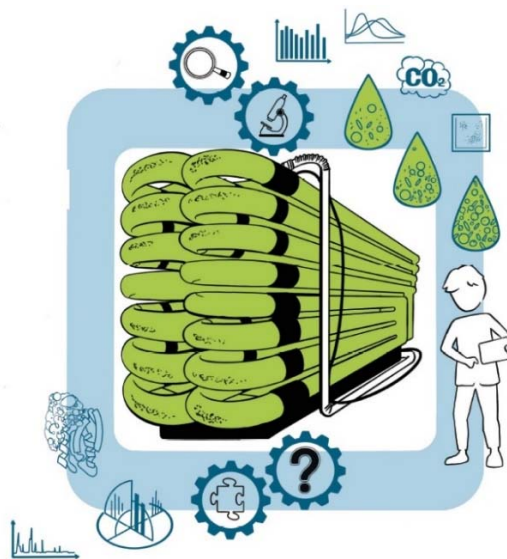
hydrophobe Fraktionen betrachtet. Aus den Untersuchungen ging hervor, dass der Mengeneinsatz von Tensiden und Salzen im großtechnischen Einsatz nicht rentabel ist. Für potentielle Skalierungsschritte bietet sich vor allem eine Downstream-Strategie aus konventionellen Lösungsmitteln und Makroemulsionen an. Die Fraktionierung der Frischbiomasse kann dabei durch einen nicht-disruptiven Zellaufschluss unterstützt werden. Dafür untersuchten die TU Berlin und die ELEA Technology GmbH die Wirksamkeit von gepulsten elektrischen Feldern (PEF) zur Polarisierung der Zellmembranen und der Extraktion von Wertstoffkomponenten aus der Frischbiomasse. Vergleichende Untersuchungen zum standardisierten Ultraschall-Zellaufschluss zeigten, dass die PEF-Behandlung bei vergleichbarem Leistungseintrag (kJ/L) eine höhere Reinheit der Biomasseextrakte aufweist. Eine abschließende Nassextrusion von Frischbiomasse wurde von der endori food GmbH & Co. KG erfolgreich getestet. Im Zuge des Projektes wurden zahlreiche öffentlichkeitswirksame Aktivitäten durchgeführt, u.a. die Teilnahme an beiden NewFoodSystems Days, die Präsentation des Projekts auf der Bundesgartenschau 2023, regionalen Wissenstransferveranstaltungen sowie die Teilnahme an nationalen und internationalen Konferenzen. Aus dem Projekt ALGAE-MODULE 4.0 gingen bis zum Berichtstermin 3 peer-review Publikationen sowie eine Patentanmeldung hervor.



# Abschlussbericht

## ALGAE-MODULE 4.0

Verfahrensentwicklung zum Aufbau einer modularen Produktionsanlage  
für algenbasierte Lebensmittel



### Sachbericht - Teil 2

<b>Förderkennzeichen:</b>	<b>031B1218C</b>
<b>Ausführende Stelle:</b>	DH Licht GmbH Robert-Bosch-Straße 35 42489 Wülfrath
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.07.2022 – 30.06.2024
<b>Durchgeführte Teilprojekte</b>	TP1-1, TP1-3, TP1-6
<b>Projektleiter und Koordinator</b>	Dr. Oliver S. Dörr

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

## Inhaltsverzeichnis

I.	Aufgabenstellung und Ausgangssituation.....	2
II.	Wesentliche wissenschaftliche und technische Ergebnisse .....	3
	TP1-1: Kultivierung unter Variation des Lichtspektrums.....	3
	TP1-3: Automatisierung und Energierückgewinnungskonzept.....	5
	TP1-6: Aufbau & Betrieb Pilotanlage.....	6
III.	Verwendung der Zuwendung und wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises & Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	8
IV.	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse und Fortschritt auf dem Gebiet ....	9
V.	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	10
VI.	Veröffentlichungen & Öffentlichkeitsarbeit .....	10

## I. Aufgabenstellung und Ausgangssituation

Mikroalgen sind ein vielversprechender, alternativer, gesunder und vielseitig einsetzbarer Rohstoff für die Lebensmittelindustrie. Der breite Einsatz von algenbasierten Produkten in der deutschen Lebensmittelwirtschaft wird vor allem durch die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Produkte in ausreichender Quantität limitiert. Dieser Umstand geht vor allem auf die geringen Produktionskapazitäten in Deutschland aber auch auf fehlende Qualitätskriterien in der Produktion und der Produktanalyse zurück. Derzeit werden Mikroalgen vor allem in Form von Pulvern oder Tabletten als Nahrungsergänzungsmittel am Markt angeboten. Die produzierten Biomassen haben ihren Ursprung im Wesentlichen aus dem asiatischen Raum und schwanken stark in Ihrer Qualität, sowohl hinsichtlich der Verunreinigung mit Fremdalgen als auch der Schwermetallbelastung durch unzureichende Wasserqualität. Die Trocknung von Mikroalgen-Biomasse erfolgt im Wesentlichen aus dem Bedarf für den Transport und der Lagerfähigkeit der Produkte, reduziert allerdings die ernährungsphysiologischen Eigenschaften erheblich. Zudem können die internationalen Lieferketten nicht in jedem Fall gesichert werden.

Um eine nachhaltige Integration von Mikroalgen als Rohstoff für die Lebensmittelindustrie zu etablieren, bedarf es dem Aufbau lokaler Produktionskapazität an qualitätsgesicherter Biomasse. Um regionale Wertschöpfungsketten mit hochwertigen Produkten zu versorgen und den ernährungsphysiologischen Mehrwert frischer Mikroalgen für innovative Produkte zu erschließen, erfordert es die Entwicklung von modularen Produktionseinheiten und qualitätsgesicherten Prozessen, idealerweise im Sinne einer Bio-raffinerie (Multi-Produkt-Prozesse). Das Vorhaben ALGAE-MODULE 4.0 arbeitete aus diesem Grund an den folgenden technischen und wissenschaftlichen Zielstellungen:

- Aufbau einer Best-Practice Prozesskette zur modularen Produktion und Produktaufbereitung frischer Mikroalgenbiomasse
- Prozessintensivierung durch kontinuierliche Prozesse und Prozessanalytik
- Untersuchung der spektralen Licht-Bedingungen auf die Produktqualität
- Ressourceneffiziente Produktion durch die Nutzung von Abwärme-Strömen multispektraler LED-Lichtquellen
- Etablierung von Echtzeit-Qualitätsanalysen für Mikroalgen-Feuchtbiomasse auf Basis der industrietauglichen Nahinfrarot-Spektroskopie

- Entwicklung optischer Echtzeit-Tools für eine robuste Biomasse-Bestimmung von Feuchtbiomasse
- Schonende Aufarbeitungstechnologien für potenzielle Bioraffinerie-Prozesse
- Verarbeitung frischer Mikroalgen-Biomasse in Form von Nassextrusion

## II. Wesentliche wissenschaftliche und technische Ergebnisse

### **TP1-1: Kultivierung unter Variation des Lichtspektrums**

Im Rahmen des Arbeitspakets TP-1 wurden Lichtplanungen für die entwickelte Screening-Plattform erarbeitet. Ziel dieser Planungen war es, die notwendige Lichtintensität als auch Homogenität in dem Versuch zu optimieren. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden Lichtverteilungsberechnungen erstellt.

Es wurden im Anschluss zwei speziell für das Projekt angepasste passiv gekühlte Leuchtensysteme konstruiert, die den spezifischen Projektanforderungen entsprachen. Die Leuchten können mit acht unabhängigen Lichtkanälen spektral verändert werden und sind über Bluetooth mit mobilen Endgeräten steuerbar. Hierfür wurde eine App-basierte Bedienoberfläche (siehe Abb. 1) implementiert, die eine einfache Steuerung der Lichtparameter ermöglichte. Die erforderliche Steuerungstechnik wurde dabei in die Gehäuse der Vorschaltgeräte integriert, sodass eine reibungslose und anwenderfreundliche Bedienung gewährleistet wurde.

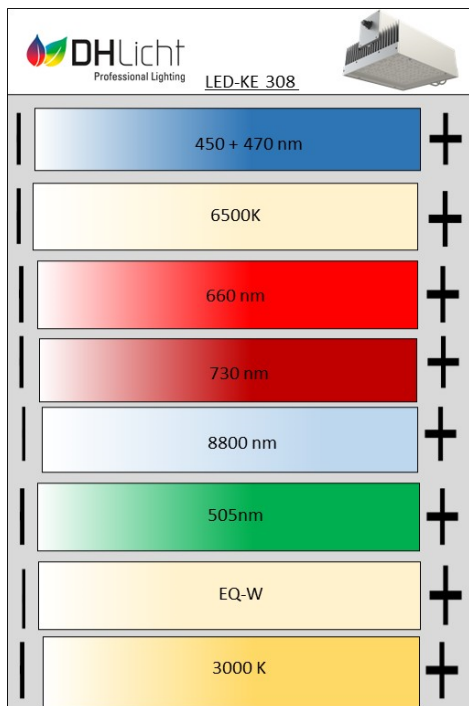


Abb. 1: App-basierte Oberfläche zur Steuerung mittels Bluetooth der acht-Kanalleuchten für TP1-1

Im dritten Quartal 2022 erfolgte der Versand der Leuchten an den Einsatzort. Seitdem befinden sich die Systeme im laufenden Betrieb und wurden unter realen Bedingungen getestet (Abb. 2). Die praktischen Erkenntnisse aus diesem Einsatz lieferten wesentliche Erkenntnisse für die weiteren Projektteile.

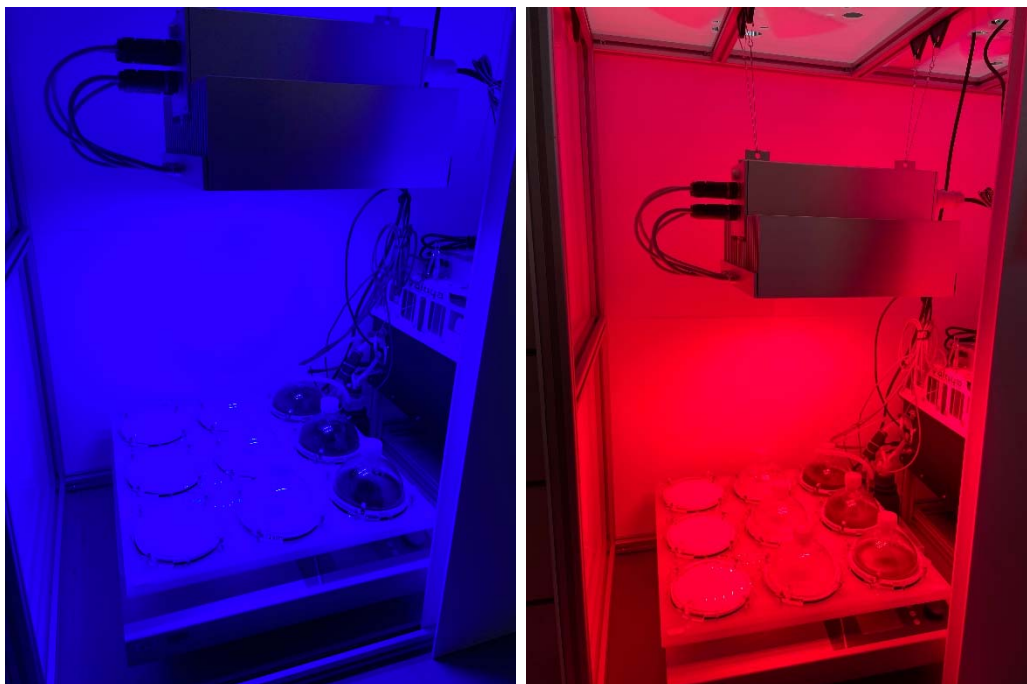


Abb. 2: Screening-Plattform mit spektral regelbaren LED-Leuchten (Eingestelltes Spektrum Blau 450+ 470 nm & Rot 660 nm) für TP1-1, Foto: TU Dresden

### **TP1-3: Automatisierung und Energierückgewinnungskonzept**

Im Jahr 2022 lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung und technischen Vorbereitung für die Konstruktion und Installation der wasserkühlbaren LED-Leuchten im Rahmen des TP1-3. In enger Abstimmung mit den Projektpartnern, insbesondere der Technischen Universität Dresden und Cultinova, wurden umfassende Konzepte für die Integration der Leuchten am Photobioreaktor erarbeitet.

In einem ersten Schritt wurden Pläne zur Installation von insgesamt zehn LED-Leuchten direkt am Reaktor der TU Dresden erstellt. Um einen unterbrechungsfreien Betrieb sicherzustellen, verblieben weitere zwei Leuchten am Standort Wülfrath. Diese dienten parallel zur Testung und waren im Bedarfsfall als Ersatz für die am Reaktor installierten Leuchten verfügbar.

Um die notwendige Kühlleistung zu definieren und die verfügbare Wärmemenge zu analysieren, wurden thermodynamische Berechnungen durchgeführt.

Im vierten Quartal 2022 begann die Produktion der wasserkühlbaren LED-Leuchten. Anschließend wurde in Wülfrath ein Testaufbau inklusive der Wasserkühlungsinfrastruktur errichtet. Dieser Prototyp ermöglichte eine umfassende Testung des Kühlkonzepts, der elektrischen Anschlüsse und der DALI-Steuerung, die eine zentrale Regulierung der Beleuchtung ermöglichte. Darüber hinaus wurde ein Montagegestell konstruiert, das das Gewicht der Leuchten (ca. 16 kg pro Leuchte) zuverlässig trug und eine einfache, sichere Installation im Photobioreaktor ermöglichte. Die Wasseranschlüsse wurden geprüft und hinsichtlich Dichtigkeit und Kühleffizienz optimiert, um die Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit des Systems sicherzustellen.

Die Produktion der wasserkühlbaren Leuchten wurde planmäßig im ersten Quartal 2023 abgeschlossen. Die wasserkühlbaren Leuchten hatten eine Anschlussleistung von etwa 7200 W, wobei bis zu 4320 W dieser Leistung über einen Wärmeaustauscher zur Mikroalgenkultivierung im Reaktor genutzt werden konnten. Die verbleibende überschüssige Wärme wurde durch eine Wasserkühlung abgeführt, sodass die Leuchten auf einer geeigneten Betriebstemperatur gehalten wurden, was die Langlebigkeit und Effizienz der LEDs sicherstellte.

Die LED-Leuchten wurden erfolgreich in das entwickelte Montagegestell integriert. Der Testaufbau, inklusive der Wasserkühlung, wurde umfassend validiert (Abb. 3).



Abb. 3: Musteraufbau wasserkühlbare LED-Leuchten (ohne Anschluss und Wasserkühlung)

### **TP1-6: Aufbau & Betrieb Pilotanlage**

Im Sommer 2023 erfolgte die Installation der wasserkühlbaren LED-Leuchten am Photobioreaktor der TU Dresden. Neben den Leuchten wurden auch die Wasserkühlung und alle elektrischen Anschlüsse und Steuerungselemente installiert und in Betrieb genommen. Für die Installation war ein Schaltschrank notwendig, der u.a. die Steuerungselektronik enthielt. Die Inbetriebnahme verlief erfolgreich, und das System war sofort einsatzbereit (siehe Abb. 4).

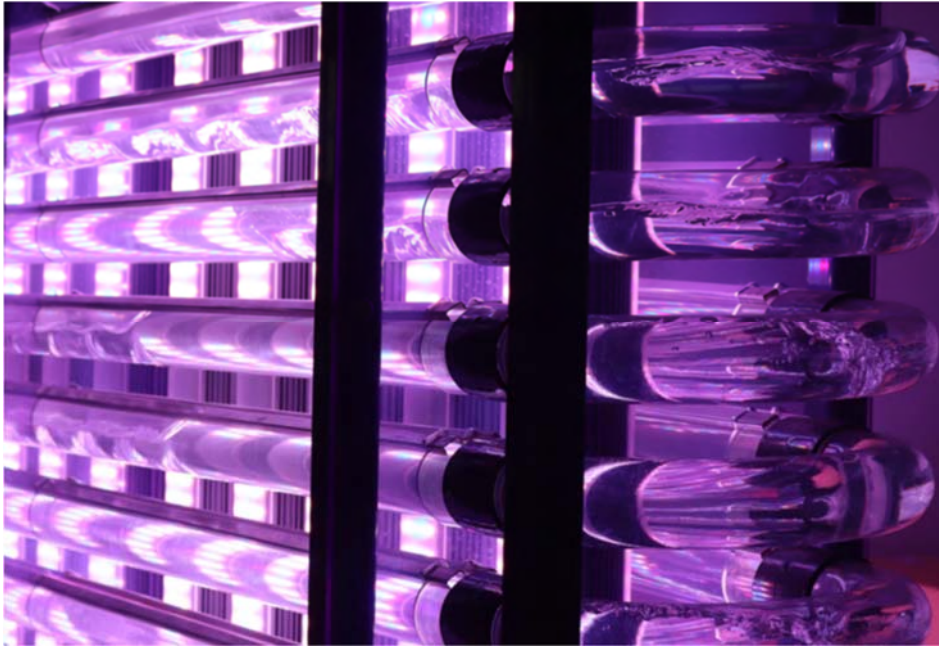


Abb. 4: Installierte, wasserkühlbare LED-Leuchten

Ein zentrales Ergebnis der Installationsphase war die Sicherstellung einer stabilen und optimalen Betriebstemperatur der Leuchten. Bei einer Vollastleistung von rund 7200 W wurde durch die Wasserkühlung die gesamte entstehende Wärmeenergie abgeführt, sodass die Temperatur der LED-Leuchten auf maximal 40 °C begrenzt blieb. Diese Kühltechnik bewahrte die Leuchten vor Überhitzung und gewährleistete so ihre Effizienz und Langlebigkeit im Dauerbetrieb.

Die Feinabstimmung der Installation und der spektralen Steuerung wurde in enger Zusammenarbeit mit der TU Dresden und dem Projektpartner Cultinova durchgeführt, der die spektrale Steuerung der Leuchten übernahm. Durch den Wärmeaustausch konnten bis zu 4320 W an thermischer Energie zur Unterstützung des Mikroalgenkultivierungsprozesses zurückgewonnen werden. Die tatsächlich rückgewonnene Wärmemenge wurde im weiteren Projektverlauf durch Untersuchungen der TU Dresden quantifiziert, um eine genaue Berechnung der potenziellen Energieeinsparungen vorzunehmen.

III. Verwendung der Zuwendung und wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises & Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

#### Personalkosten:

Zur Realisierung der geleisteten Arbeitspakete waren Personalkosten notwendig. Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter hat die Projektleitung übernommen und koordinierte das Forschungsvorhaben. Er war zudem auch für die wissenschaftliche Evaluierung, sowie lichttechnische Planung und Berechnung verantwortlich. Hauptaufgaben:

- Evaluierung und Planung der Belichtung der Screening-Plattform und des Algenreaktors mit luftgekühlten bzw. wassergekühlten LED-Leuchten
- Erstellung von verschiedenen lichttechnischen Plänen zur Abschätzung der Lichtverteilung
- Berechnung zu Energieeinsparungspotenzialen
- Auswertung der Ergebnisse

Ein Produktmanager war für die Umsetzung der Konstruktion sowie Entwicklung verantwortlich:

- Entwicklung und Design
- Überprüfung Konstruktiver Arbeiten

Technisches Personal war für die technische Umsetzung der Projektziele verantwortlich. Zu den wesentlichsten Aufgaben zählten:

- Konstruktion der luftgekühlten und wassergekühlten LED-Leuchten
- Programmierung und Adressierung der LED-Treiber
- Implementierung der Regelungstechnik
- Austestung der Funktionsfähigkeit der wasserkühlbaren LED-Leuchten

#### Materialkosten:

Für die Screening-Plattform wurden zwei spektral regelbare, luftgekühlte LED-Leuchten gebaut, die über eine Nutzeroberfläche per Bluetooth gesteuert wurden. Des Weiteren wurden wasserkühlbare Leuchten für die Belichtung des Mikroalgenreaktors konstruiert. Die Leuchten bestehen aus Kühlkörpern, LED-Platinen inkl.

verschiedenen LEDs, LED-Treibern und weiterer Regelungstechnik. Zur Montage der wassergekühlten LED-Leuchten wurde ein Stahl-Gestell konstruiert, das an die Maße der Pilotanlage angepasst werden musste. Für die Montage des Gestells und der LED-Leuchten wurde weiteres Verbrauchsmaterial wie Kabel, Schrauben, Dichtungsmaterialien benötigt. Materialien für den Wasseranschluss wie Leitungsrohre, Klemmen und Ventile waren zusätzlich notwendig.

#### Reisekosten:

Zur Durchführung der Arbeitspakete waren Arbeiten vor Ort an der TU Dresden erforderlich. Reisekosten fielen zudem für Projekttreffen in Dresden an.

#### IV. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse und Fortschritt auf dem Gebiet

Durch die Entwicklung eines für das Mikroalgenwachstum optimierten Lichtspektrums könnten marktfähige Produkte entstehen, die nach Projektende kommerziell vertrieben werden können. Diese im Projekt optimierten Lichtrezepte können zudem flexibel an verschiedene Mikroalgenpezies angepasst werden, was eine hohe wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit gewährleistet.

Ein wesentlicher technologischer Fortschritt liegt in der umfangreich getesteten Wasserkühlung für LED-Leuchten, die es ermöglicht, entstehende Wärme gezielt abzuführen und über einen geschlossenen Wasserkreislauf zur Energiegewinnung zu nutzen. Diese Technologie bietet nicht nur einen nachhaltigen Ansatz, sondern reduziert auch die Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant. Mittelfristig wird die Integration wasserkühlbarer LED-Leuchten in Klimakammern geprüft, um den Energiebedarf zu senken und die Konkurrenzfähigkeit der DH Licht GmbH durch energieeffiziente Lösungen zu stärken. Besonders in Anwendungen wie Vertical Farming, wo die gezielte Ableitung von Hitze eine entscheidende Rolle spielt, eröffnet der DH Licht GmbH große Marktpotenziale.

Langfristig kann die Kombination aus innovativer LED-Technologie und effizienter Wasserkühlung in zahlreichen renovierungsbedürftigen Klima- und Pflanzenwuchskammern in Mitteleuropa eingesetzt werden. Die Technologie kann gegenüber herkömmlichen Systemen mehr als 50 % der Energiekosten und CO<sub>2</sub>-

Emissionen einsparen. Dies unterstützt das Ziel, klimaschonende Lösungen für die Belichtung von Pflanzen und Mikroalgen in geschlossenen Systemen zu etablieren. Die Ergebnisse des Projekts schaffen eine starke Grundlage für Folgeprojekte, wie die Ausweitung auf Gewächshausanwendungen, und positionieren die DH Licht GmbH als Vorreiter im Bereich nachhaltiger Belichtungssysteme. Die Verwertbarkeit der Ergebnisse zeigt sich dabei sowohl in der direkten Markterschließung als auch in der langfristigen Weiterentwicklung innovativer, ressourcenschonender Technologien.

- V. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Projektvorhabens sind keine Ergebnisse bei anderen Stellen bekannt geworden.

#### VI. Veröffentlichungen & Öffentlichkeitsarbeit

Wissenschaftliche Veröffentlichungen seitens der DH Licht GmbH waren im Rahmen des Lichtfallen Projektes nicht vorgesehen. Das Projekt wurde der Öffentlichkeit unter folgenden Punkten vorgestellt:

- Ein kurzer Bericht über das Forschungsprojekt ALGAE-MODULE 4.0 wurde im DH Licht Katalog 2024 (S. 22-25) veröffentlicht.
- Auf der Internationalen Pflanzen Messe (IPM) 2024 wurde das Projekt gartenbaurelevanten Kunden auf dem DH Licht Messestand vorgestellt. Dort wurde ein kleiner Algenreaktor zur Demonstration des Forschungsprojektes gezeigt (Abb. 5).



Abb. 5: Algenreaktor (Demonstrator) auf dem Messestand der DH Licht GmbH auf der internationalen Pflanzenmesse 2024 in Essen