

Innovative LED-Systeme für eine qualitativ hochwertige und ganzjährige Gewächshausproduktion in Berlin/Brandenburg

LED 4 Plant

Zuwendungsempfänger: FUTURLED GmbH, Holzhauser Straße, 139, 13509 Berlin, Arnold, Oliver, CEO, 030 57708920, o.arnold@futureled.de, www.futureled.de .

Projektkoordination: FUTURLED GmbH, Holzhauser Straße, 139, 13509 Berlin, Arnold, Oliver, CEO, 030 57708920, o.arnold@futureled.de, www.futureled.de .

Mitglieder der Operationellen Gruppe und assoziierte Partner:
Julius Kühn-Institut Berlin, Prof. Schulz, Hartwig; Tabbert, Jenny
Humboldt-Universität zu Berlin, Dr. Mewis, Inga; Müller, Marcus
Hoffnungsthaler Werkstätten gGmbH, Böttcher, Markus; Dallgow, Toni
Oderbruch Müller, Müller, Sebastian
Landwirtschaftsbetrieb Wandke (Kräuterlounge), Wandke, Christine
Lenné-Akademie e.V., Pluta, Hans-Jürgen

Projektlaufzeit – 31.12.2016 – 31.07.2020

Budget – 1.102.661,49 €

31.07.2020

Arnold, Franke, Prof. Dr. Schulz, Dr. Mewis



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raums



Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung in deutscher Sprache.....	1
2	Kurzfassung in englischer Sprache.....	1
3	Situation zu Projektbeginn	1
3.1	Ausgangssituation.....	1
3.2	Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens	5
3.2.1	Aufgabenstellung der FUTURELED GmbH	5
3.2.2	Aufgabenstellung des Julius Kühn-Institut Berlin	5
3.2.3	Aufgabenstellung der Humboldt-Universität zu Berlin.....	6
3.2.4	Aufgabenstellung der Hoffnungstaler Werkstätten gGmbH	6
3.2.5	Aufgabenstellung der Oderbruch Müller.....	6
3.2.6	Aufgabenstellung der Kräuterlounge Wandke.....	6
3.2.7	Aufgabenstellung der Lenné-Akademie e.V.....	6
4	Projektverlauf	6
4.1.1	Projektverlaufsplan	6
4.1.2	Projektbeginn – Zielfindungsphase	7
4.1.3	AP2 - Entwicklung und Realisierung	7
4.1.4	AP3 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität und Resistenz von Basilikumgenotypen	11
4.1.5	AP4 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität von exotischen Kräutern 13	
4.1.6	AP5 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf das Wachstum von Zierpflanzen ...	18
4.1.7	AP6 - Pflanzenphysiologische Untersuchungen unter verschiedenen Lichtbedingungen 21	
4.1.8	AP7 - Praxistest der Betriebe auf Rentabilität mit den LED-Lichtsystemen.....	22
4.1.9	AP8 - Öffentlichkeitsarbeit/Empfehlung, Organisation von Workshops, Publikationen	22
4.1.10	AP9 – Verlängerung des Projekts	23
4.1.11	AP10 - Abschließende Auswertung und Endbericht	24
5	Projektergebnisse	24
5.1	Ergebnisse	24
5.2	Diskussion der Ergebnisse	25
5.3	Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen.....	25
5.4	Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen.....	26
5.5	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	26
5.6	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen 27	

5.7	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen	27
6	Zusammenarbeit der operationellen Gruppe	28
7	Kommunikations- und Disseminationskonzept	29
8	Literaturverzeichnis	31
9	Anhang.....	32
9.1	Verwendung der Zuwendung	32
9.2	Nutzung des Innovationsdienstleisters (IDL)	32
9.3	Nachweis der Veröffentlichungen.....	33
9.4	Practice abstracts.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Spektraler Vergleich	2
Abbildung 2:	Gegenüberstellung der Spektren	2
Abbildung 3:	Funktionsmusterintegration OG-Partner Hoffnungstaler Werkstätten gGmbH... 8	
Abbildung 4:	Schema finale Konstruktion vertikales Anbausystem	9
Abbildung 5:	Kultivierungstest automatisierte Bewässerung & Tankwagen FUTURELED	10
Abbildung 6:	Teilausschnitt des Versuchsdesigns	13
Abbildung 7:	Kurkuma im Betrieb Wandke	14
Abbildung 8:	Kurkuma UV-Treatment Klimakammer JKI	14
Abbildung 9:	Kurkumapflanzen im Gewächshaus des JKI.	15
Abbildung 10:	SUNtech-Spektrum.....	16
Abbildung 11:	Thymian-Versuch.....	17
Abbildung 12:	Thymian-Versuch.....	17
Abbildung 13:	Wasabi in vitro Etablierungsversuch HU	18
Abbildung 14:	Wuchsschablonen I. new guinea	19
Abbildung 15:	Reichblütigkeitsschablone I. new guinea.....	20
Abbildung 16:	Wuchsschablone S. scutellarioides.....	20
Abbildung 17:	Farbfächer zur Einordnung der inneren und äußeren Ausfärbung	20
Abbildung 18:	Wuchsschablone E. pulcherrima.....	20
Abbildung 19:	Ausfärbungsfächer E. pulcherrima	21
Abbildung 20:	Studentisches Praktikum unter Leitung von Frau Dr. Mewis (HU)	23
Abbildung 21:	Versuchsbesichtigung am JKI durch „LED Grow Lights“	23

1 Kurzfassung in deutscher Sprache

Für die in der Region Berlin/Brandenburg produzierenden gärtnerischen Betriebe ist der konkurrenzfähige und nachhaltige Anbau von Kräutern und Zierpflanzen eine besondere Herausforderung: Das kontinentale Klima mit kalten/dunklen Wintern und warmen Sommern macht nur den geschützten Anbau rentabel, gleichzeitig muss, aufgrund der nördlichen Lage der Region, eine Assimilationsbelichtung sicherstellen, dass die Photoperiode ausreichend verlängert wird. Dies gelang in der Vergangenheit nur mittels der verbrauchsintensiven Natriumdampflampen, die den Deckungsbeitrag der angebauten Kulturen senkte. Die Verwendung von LED-Systemen zur Assimilationsbelichtung, und deren Einsatz auf mehreren vertikalen Ebenen, haben einen entscheidenden Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit des Brandenburger Gartenbaus, dies zeigte der vorliegende Bericht des durchgeführten Projekts. Durch die Verwendung von spezifischen Lichtrezepten kann überdies die Qualität der produzierten Pflanzen inhaltstofflich und qualitativ positiv beeinflusst werden. Hierdurch werden die regionalen Produkte des Brandenburger Gartenbaus gestärkt.

2 Kurzfassung in englischer Sprache

The competitive and sustainable cultivation of herbs and ornamentals is a special challenge for the horticultural businesses producing in the Berlin/Brandenburg region: The continental climate with cold winters and warm summers makes only protected cultivation profitable. At the same time, due to the northern location of the region, assimilation lighting must ensure that the photoperiod is sufficiently extended. In the past, this was only possible with the help of high energy consumption HPS lamps, which further reduced the margin of the cultivated crops. The use of LED systems for assimilation lighting and their application on several vertical levels have a decisive influence on the competitiveness of Brandenburg's horticulture. By using specific light recipes, the quality of the plants produced was positively influenced in terms of ingredients and quality. This outcome strengthens the regional products of Brandenburg's horticultural industry.

3 Situation zu Projektbeginn

3.1 Ausgangssituation

Die LED-Technologie ermöglicht in der Assimilationsbelichtung völlig neue Wege der ökonomischen und ökologischen gärtnerischen Produktion. Dies ist nicht nur auf einen im Vergleich um 30 bis 50 % reduzierten Energieverbrauch zurückzuführen, sondern auch auf das deutlich kühler emittierte Licht, dass eine verringerte Nähe zu den zu belichtenden Kulturen ermöglicht (VAN IEPEREN, W.; TROUWBORST, G. 2007). Technisch lassen sich auf diese Weise Mehrebenen-Kultivierungssysteme realisieren. Hinzu kommt, dass verschiedene LED-Typen existieren, die präzise, unterschiedliche Wellenlängen emittieren können. Hierdurch wird die Konstruktion von LED-Systemen möglich, die steuerbar in verschiedenen Wellenlängenbereichen Licht emittieren können. Die wissenschaftliche Untersuchung von verschiedenen Lichtrezepten wird hierdurch möglich. Beispielhaft lässt sich die Morphogenese, das Blühverhalten oder die Anreicherung von Sekundärmetaboliten in den Pflanzen auf diese Weise gezielt beeinflussen (MASSA ET AL. 2008). Das vorliegende EIP-Projekt hat sich die Ermittlung solcher optimierten Lichtrezepte, deren Wirkung und den Tests von Mehrebenenkultivierungssystemen für die

wichtigsten regionalen Kulturen in der Kräuter- und Zierpflanzenproduktion in Brandenburg gesetzt.

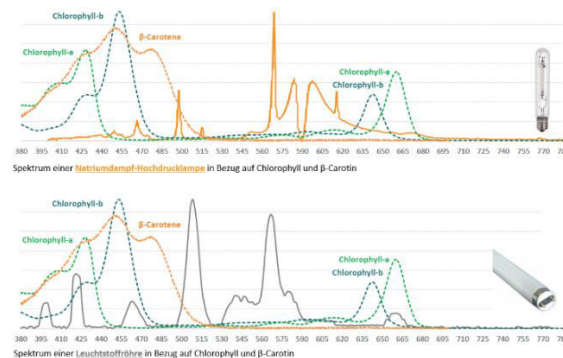


Abbildung 1: Spektraler Vergleich

Während in vielen Ländern Sonnenlicht kein im Mangel befindlicher Wachstumsfaktor ist, gilt dies nicht für das durch kontinentales Klima und nördliche Lage geprägte Brandenburg, das mindestens halbjährlich nur eine eingeschränkte Nutzung des Sonnenlichts ermöglicht. Eine weitere Besonderheit Brandenburgs ist die zentrale Lage der zu versorgenden Metropolregion Berlin, deren Markt nach einer ganzjährigen Versorgung mit gärtnerischen Produkten verlangt, bei gleichzeitiger hoher Nachfragevolatilität bezüglich einzelner gärtnerischer Produkte. Die Konkurrenzfähigkeit regionaler Produkte ist damit an eine schnelle Anpassung des Produktportfolios durch die gärtnerischen Produzenten geknüpft. Die wirtschaftliche Bedeutung von regional produzierten Exoten ist hoch. Beispielhaft ist die Nachfrage nach frischen Rhizomen von *Curcuma longa* (Kurkuma). Eine optimierte Produktion gärtnerischer Produkte mittels LED-Belichtungssystemen, sollte neben den ökonomischen Faktoren der Produktion, eine qualitative Verbesserung der pflanzlichen Produkte erzielen und gleichzeitig die Flexibilität des regionalen Produzenten gegenüber Nachfrageveränderungen stärken.

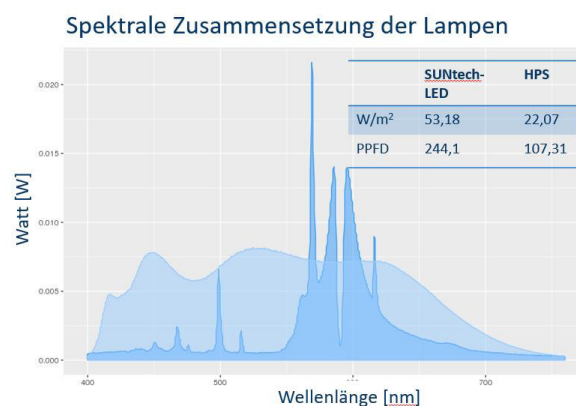


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Spektren

Ziel des EIP-Vorhabens „LED 4 Plant“ und der gegründeten Operationellen Gruppe (OG) war es, gemeinsam eine technische Alternative für die konventionelle Belichtung von Kulturen im Brandenburger Gartenbau zu entwickeln, zu validieren, zu etablieren und die Vorteile eines veränderten Vorgehens zu kommunizieren, um den Brandenburger Gartenbau im Bereich der Kräuter-, Exoten- und Zierpflanzenproduktion regional zu stärken und eine ökologisch-ökonomische Alternative aufzuzeigen.

Aktuell finden hauptsächlich HPS¹ bzw. NDL²-Belichtungssysteme Anwendung im Brandenburger Gartenbau, die deutlich energieeffizientere LED-Technologie hat bisher noch keinen umfangreichen Einzug in Brandenburger Gewächshäuser gefunden. Hintergrund ist, neben einer unberechtigten Skepsis der LED-Technologie gegenüber, vor allem die Unklarheit in Bezug auf die verschiedenen einsetzbaren Lichtspektren, die die LED-Technologie ermöglicht. Mit Beginn des EIP-Projekts „LED 4 Plant“ waren LED-Belichtungsverfahren zwar bekannt, aber noch nicht effektiv regional getestet worden. Selbst in der OG bestanden zunächst irrationale Vorstellungen über die Leistungsfähigkeit von LED-Belichtungslösungen und deren Effizienz. International kann die LED-Technologie als wichtiger neuer Baustein der Assimilationsbelichtung im Gartenbau betrachtet werden, der, trotz höherer Investitionskosten, in immer mehr Bereiche Einzug hält. Vor allem aber ermöglichen die Bauart und Bauform bedingten Möglichkeiten der Herstellung von LED-Belichtungssystemen die effektive Nutzung der Vertikalen im Gartenbau und damit die Erschließung neuer günstiger Produktionsflächen ohne bauliche Maßnahmen. Dieser Trend wird in seiner umfassendsten Form als Vertical Farming bezeichnet und beschreibt den Einsatz gartenbaulicher Produktionsmethoden durch Nutzung der Vertikalen, die durch neue produktionstechnische Verfahren und im Kontext verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen neugedacht werden.

Im EIP-Projekt „LED 4 Plant“ wurde die Etablierung von Pflanzenanzuchtsregalen und deren Test in Produktionsbetrieben angestrebt. Dieser ersten vertikalen Gartenbau-Anwendung in Brandenburg sollten Versuche mit in ihrem Spektrum steuerbaren LED-Belichtungsfunktionsmustern vorausgehen, um optimale Spektren zu ermitteln, die sich für den regionalen Einsatz im Brandenburger Gartenbau eignen würden. Hierzu wurden Kulturen und Betriebe ausgewählt, die einen besonderen Bedarf an wissenschaftlicher Forschung benötigten. Der innovative Kern ist neben dem Einsparpotential der verwendeten LED-Technologie, vor allem in der Spezifizierung optimaler Lichtspektren zu sehen, die durch die LED-Belichtungsmuster der FUTURELED GmbH eine kulturspezifische Anpassung des verwendeten Lichtspektrums ermöglichten. Diese Lichtspektren umfassten darüber hinaus auch den ultravioletten Lichtspektラルbereich zwischen 310 und 365 nm, so dass die spezifische Wirkung von UV³-Lichtbanden untersucht werden konnte. Dem UV-Bereich wird eine besondere Qualitätswirkung auf Pflanzen in gartenbaulicher Kultur zu gesprochen, die durch die exakte Steuerung in der LED-Belichtung zu einem gezielt einsetzbaren Steuerungsfaktor für die belichteten Kulturen wird. Des Weiteren wurde in einem weiteren Versuchsetting die phytopathologisch, kurative Wirkung des UV-Spektrums auf die Kultur von *Ocimum basilicum* (Basilikum) Sorten untersucht (siehe Abschnitt 4.1.4 AP3 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität und Resistenz von Basilikumgenotypen), die über eine qualitätsverbessernde Wirkung hinaus eine qualitative Kultivierung auch unter ökologischen Anbaubedingungen ermöglichen soll. Dabei kamen de-

¹ Internationale Bezeichnung/Abkürzung der High-Pressure-Sodium Technologie, die baugleich der NDL ist.

² Abkürzung für Natriumdampf Lampe

³ Ultraviolettstrahlung, kurz UV, ist elektromagnetische Strahlung im optischen Frequenzbereich mit kürzeren Wellenlängen als für das menschliche Auge wahrnehmbar.

nen in der OG organisierten Unternehmen, dem Verein, der Hochschule und dem Bundesinstitut unterschiedliche Aufgaben zu: Die Entwicklung und technische Realisierung der Funktionsmusters oblag der FUTURELED GmbH, das als Unternehmen zur Herstellung optoelektronischer Produkte auf die technische Qualitätsprüfung und Präzisionsbelichtung von PV⁴-Anlagen in besonderem Maße geeignet war diese zu entwickeln und zu fertigen. Die FUTURELED GmbH bündelte die benötigte konstruktive und elektronische Expertise sowie die Erfahrung aus einer erfolgreichen Realisierung verschiedener Beleuchtungskonzepte und übernahm die technische Entwicklung und Realisierung der Funktionsmuster der innovativen LED-Assimilationsbelichtung mit steuerbarem Spektrum und Tagesverlaufsprogrammierung sowie die Entwicklung und Realisierung der vertikalen Anbausysteme mit vollsteuerbarer LED-Technologie. Der Humboldt-Universität zu Berlin (HU) kam als beteiligter Hochschule, die Aufgabe zu, gemeinsam mit dem Julius Kühn-Institut (JKI), die Prüfung der Eignung der eingesetzten Lichtspektren und -intensitäten zur Erzielung verbesserter Anbaubedingungen der ausgewählten Kulturen nach wissenschaftlichen Standards durchzuführen. Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Betrachtungen der HU standen die gärtnerischen Zierkulturen und die phytopathologische Wirkung spezifischer UV-Belichtungsregime. Die wissenschaftliche Versuchsdurchführung und Begleitung in den Praxisbetrieben der OG war ebenso Aufgabe des JKI, welches darüber hinaus die Koordination und Durchführung eines Großteils der nasschemischen Analytik im Rahmen des Projektes durchführte. Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Betrachtungen des JKI standen die gärtnerischen Sonderkulturen zur Verwendung als Gewürz-, Aroma- und Lebensmittel. Der Betrieb Oderbruch Müller ist als Unternehmen auf die ökologische Produktion von Topfkräutern spezialisiert. Aufgrund der ökonomischen Bedeutung der Basilikum-Kultur in der Region, war es dem Betrieb ein besonderes Anliegen, die Wirkung eines UV-Belichtungsregimes in der Basilikumkultur zur Prävention, Eindämmung und Bekämpfung des pilzlichen Pathogens *Peronospora belbahrii* zu testen und die HU in der Durchführung wissenschaftlicher Versuche zu unterstützen. Der Betrieb Kräuter-Lounge Wandke produziert exotische oder phytotherapeutisch nutzbare Kräuter verschiedener Arten als Frischkräuter oder als vorverarbeitete Zutat für Speisen, Tees und Therapeutika. Der Betrieb half durch Unterstützung eines Teils der Versuche des JKI, diese so praxisnah als möglich zu gestalten. Die Hoffnungstaler Werkstätten gGmbH sind eine anerkannte Werkstatt für Menschen mit Behinderung. Sie ist Teil der Hoffnungstaler Stiftung Lobetal und verfügt über 850 angepasste Arbeitsplätze für Menschen mit Behinderungen. Ein wichtiger Teil des integrativen Konzepts der Hoffnungstaler Werkstätten ist die Einbindung der eingeschränkten Mitarbeiter in die Arbeitswelt. Unter anderem sind dies ein Zierpflanzenbetrieb, der als modern wirtschaftender Gartenbaubetrieb, verschiedene Großmärkte und Händler in der Region Berlin-Brandenburg direkt beliefert. Im Mittelpunkt der Aufgaben der Hoffnungstaler Werkstätten stand die qualitative Verbesserung zierpflanzlicher Kulturen mittels LED-Belichtung. Dabei trugen die Hoffnungstaler Werkstätten den Hauptteil der Zierpflanzenversuche, die durch die HU wissenschaftlich betreut wurden. Sinn und Zweck des Vereins Lenné-Akademie e.V. ist die

⁴ Abkürzung für Photovoltaik. Unter PV-Anlagen versteht Systeme, welche die direkte Umwandlung von Lichtenergie (Sonnenlicht) in elektrische Energie mittels Solarzellen ermöglichen.

Bildung. Die Akademie fördert die wissenschaftliche, künstlerische und praktische Ausbildung der verschiedenen Sparten der gärtnerischen Berufe. In diesem Sinne war die Lenné-Akademie im Bereich der Disseminationsstrategie des EIP-Vorhabens vor allem für die Vermittlung des generierten Wissens in die einschlägigen Fachberufe und deren Ausbildung in Berlin und Brandenburg verantwortlich.

3.2 Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens

Die Ermittlung geeigneter Lichtspektren, Belichtungsintensitäten und Belichtungszeiten, so genannter Lichtrezepte zu den untersuchten Kulturen, die für den Brandenburger Gartenbau auch zukünftig von Bedeutung sind, stand im Fokus der wissenschaftlichen Betrachtungen des Projekts. Realisiert wurden diese Untersuchungen mit LED-Belichtungssystemen, die als Funktionsmuster zu diesem Zweck entwickelt und hergestellt wurden und sich für den Einsatz in Gewächshäusern aller Bauarten und technischen Zustände gleichermaßen eignen sollten. Der Einsatz dieser Forschungsbelichtungssysteme ermöglichte die Ermittlung besonders förderlicher Lichtrezepte und deren Einsatz in den wichtigsten regionalen Kulturen. Die positiven Ergebnisse der Lichtstudien sollten neben befriedigenden Antworten auf die wissenschaftlichen Fragestellungen auch das Fachpublikum der Seminare, Workshops und der Praktiker überzeugen. Darauffolgend sollten die Potentiale des vertikalen Gartenbaus ermittelt werden und eine Aussage darüber getroffen werden, ob und wie sich die neue Technologie in der Belichtung verringernd auf den ökologischen Fußabdruck des Gartenbaus auswirkt. Um das Potential bewerten zu können wurden vertikale Anbauregalsysteme entwickelt, die neben der wissenschaftlichen Betrachtung auch eine Nutzung als Anzuchtstationen für die Anzucht von Jungpflanzen erfüllen sollten. Wie die LED-Belichtungssysteme wurden diese Regalsysteme von der FUTURELED GmbH entwickelt und gebaut, um im Anschluss durch die OG-Partner getestet und eingesetzt zu werden. Überdies wurden ökonomische Betrachtungen der Technologie in Bezug auf Auslichtung und im direkten Vergleich mit etablierten Technologien angestellt.

Aufgabenstellung der FUTURELED GmbH: Die FUTURELED GmbH erfüllte als Lead-Partner projektkoordinierende und formale Projektkoordination mit Einrichtung/Abwicklung der OG-Aktivitäten (z.B. Rechnungsprüfung, Kommunikation mit der ILB, Abrechnung) und war als entwickelndes Unternehmen für die Entwicklung und Realisierung der LED-Funktionsmuster sowie für die Entwicklung und Realisierung der vertikalen Anbausysteme zuständig. Darüber hinaus wurden alle Projektpartner im Bereich der Belichtungstechnologie durch die Mitarbeiter der FUTURELED GmbH geschult, um bereits früh im Projekt einen möglichst homogenen Wissensstand zu ermöglichen.

Aufgabenstellung des Julius Kühn-Institut Berlin: Das JKI zeichnet sich für die wissenschaftliche Gesamtleitung und die Betreuung der Versuche der Kräuterlounge Wandke und deren spätere vollständige Übernahme verantwortlich. Koordinierte und führte einen Großteil der analytischen Verfahren in Abstimmung mit der HU durch und führte lichttechnische Versuche an verschiedenen Kräuter-Kulturen unter Nutzung von Klimakammern und Gewächshäusern am Standort Berlin-Dahlem durch.

Aufgabenstellung der Humboldt-Universität zu Berlin: Die HU erfüllte die Aufgabe der wissenschaftlichen Koordination und betreute eigene Versuche zur Pathogenbekämpfung bzw. -Eindämmung mittels UV-Belichtung (Durchführung am JKI Berlin), betreute wissenschaftlich die Versuche der OG-Partner Oderbruch Müller und Hoffnungstaler Werkstätten gGmbH und führte eigene Versuche am Standort der HU in Berlin-Dahlem in den universitätseigenen Forschungsgewächshäusern durch.

Aufgabenstellung der Hoffnungstaler Werkstätten gGmbH: Die Hoffnungstaler Werkstätten führten alle Zierpflanzenversuche des Projekts in ihren Gewächshäusern durch, die hierfür technisch umgerüstet wurden. Die Mitarbeiter der Hoffnungstaler Werkstätten setzten dabei die Kultivierungsziele und realisierten die Versuchsbetreuung bis hin zur Unterstützung der Boniturarbeiten.

Aufgabenstellung der Oderbruch Müller: Das Unternehmen Oderbruch Müller führte einen Großteil der Versuche an Basilikum durch und unterstützte die wissenschaftlichen Untersuchungen sowohl der HU als auch des JKI.

Aufgabenstellung der Kräuterlounge Wandke: Unterstützung der Versuche zu Exoten und Kräutern des JKI Berlin, u.a. Vermehrung und Bereitstellung der *Curcuma longa* Rhizome zur Versuchsdurchführung.

Aufgabenstellung der Lenné-Akademie e.V.: Der Lenné-Akademie kam die Dissemination des Projektvorhabens zu.

4 Projektverlauf

Wie in Abschnitt 3.2 Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens dargestellt musste zur Realisierung der umfangreichen technischen und wissenschaftlichen Ziele des Vorhabens ein umfassender Projektverlaufsplan erstellt werden, der folgend chronologisch dargestellt und zusammenfassend erläutert wird. Hierin greifen die Arbeitspakete (AP) ineinander. In Teilen war ein Überlappung der AP nicht vermeidbar, so dass es zu zeitlichen Überschneidungen kam. Der ursprüngliche Projektstart verzögerte sich vom 31.12.2016 auf März 2017.

4.1.1 Projektverlaufsplan

AP	Aufgaben	Zeitraum
1	Koordination der OG und Projektabwicklung	03/2017 – 07/2020
2	Entwicklung der Funktionsmuster	03/2017 – 04/2020
3	Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität und Resistenz von Basilikumgenotypen	07/2017 – 09/2018
4	Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität von exotischen Kräutern	09/2018 – 01/2020
5	Testen verschiedener LED-Lichtregime auf das Wachstum von Zierpflanzen	02/2019 – 05/2020
6	Pflanzenphysiologische Untersuchungen unter verschiedenen Lichtbedingungen	02/2018 – 12/2019

7	Praxistest der Betriebe auf Rentabilität mit den LED-Lichtsystemen	02/2018 – 04/2020
8	Öffentlichkeitsarbeit/Empfehlung, Organisation von Workshops, Publikation	06/2017 – 04/2020
9	Verlängerung des Projekts	07/2020
10	Abschließende Auswertung & Endbericht	04/2020 – 07/2020

4.1.2 Projektbeginn – Zielfindungsphase

Mit Auftakt des Projekts mussten zunächst die diversen Ansprüche an die zu entwickelnden LED-Belichtungssysteme aggregiert werden, um die Entwicklung eines allen Ansprüchen genügenden technischen Funktionsmusters zu ermöglichen. Die zu überspannende Breite der technischen und wissenschaftlichen Ansprüche durch Betriebe und Wissenschaft stellte dabei eine besondere Herausforderung dar. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit sollten die zur Belichtung entwickelten LED-Funktionsmuster baugleich, sowohl den betriebstechnischen Ansprüchen, ohne bauliche Anpassungen der Betriebsstätten, als auch den wissenschaftlichen Ansprüchen an die Durchführung valider Versuche gerecht werden. Während dieser Funktionsdefinitionsphase sind verschiedene obligatorische technische Faktoren definiert worden, die durch die diversen baulichen und technischen Gegebenheiten in den OG-Betrieben vorgegeben wurden. Parallel wurde der einzusetzende spektrale Bereich der steuerbaren LED-Belichtungssysteme in Zusammenarbeit von Hersteller und wissenschaftlichen Partnern definiert. Der Entwicklungsaufwand der Funktionsmuster stellte sich auf diese Weise als besonders herausfordernd und umfangreich dar. Neben den eigentlichen Zielen einer möglichst breiten prozesstechnischen Anwendung wurde überdies auch ein energetisches Konzept durch die FUTURELED entwickelt, dass den Ansprüchen eines verbrauchsärmeren Einsatzes entsprach. Die Komplexität des Entwicklungsaufwands steigerte sich durch diese multifaktoriellen Voraussetzungen erheblich und die Phase musste mit einem deutlich höheren Zeitaufwand versehen werden. Nur durch den parallelen Wechsel in ein agiles Projektmanagement und den flexiblen Einsatz aller Projektressourcen vor allem des JKI, der HU, der Hoffungstaler Werkstätten sowie der FUTURELED konnten die Ziele dieser Projektphase erreicht werden.

4.1.3 AP2 - Entwicklung und Realisierung

4.1.3.1 AP2 a Entwicklung der LED-Belichtungssysteme

Nach Einigung aller versuchsdurchführenden Betriebe und wissenschaftlichen Einrichtungen wurde mit der Konstruktion und Entwicklung der LED-Funktionsmuster für die Belichtung von Pflanzen auf Kulturtischen begonnen im Rahmen des AP 2a „*Horizontale LED-System*“ durch die FUTURELED begonnen. Das LED-Belichtungssystem sollte die Wellenlängen 455, 470, 565, 660, 730 nm abdecken und durch weiße LEDs mit 3.000 – 5.000 K ergänzt werden. Im UV-Bereich sollte mit den Wellenlängen von 310 und 365 nm fakultativ eine Ergänzung im

nicht assimilationswirksam werdenden Wellenlängenbereich erfolgen, um die spezifische Wirkung auf Habitus, Sekundärmetabolitstoffwechsel und die Wirkung gegen pilzliche Pathogene untersuchen zu können. Die technische Optionalität dieser UV-Wellenlängenbereiche wurde zu Gunsten eines Systems aufgegeben, dass alle Wellenlängen vollsteuerbar macht. Hierzu konnte eine 10 Bit-Auflösung jeder Wellenlänge durch softwareseitig präzise Steuerung erreicht werden, so dass eine Dimmfunktion mit 1024 Einzelstufen pro Wellenlänge erreicht wurde und eine präzise Lichtrezeptentwicklung über eine Softwareoberfläche ermöglicht wurde. Zusätzlich konnte eine Ansteuerung in signifikant aufgelösten Belichtungssystemgruppen ermöglicht werden, so dass zentral verschiedene LED-Gruppen festgelegt werden konnten. Die Lichtquellenstabilität über die gesamte Laufzeit wurde als obligatorisch definiert und ein vollständig einsatzkompatibles Kühlungskonzept entwickelt, dass diesen Ansprüchen gerecht wurde. Hierzu wurden umfangreiche thermische Tests durchgeführt, um eine Kühlung auch unter kritischen Gewächshausbedingungen mit großen Temperaturamplituden zu ermöglichen. Weitere Optionen des Degradationsausgleichs wurden geprüft und integriert. Die HU führte bereits in dieser Phase Vorversuche in ihren Klimazellen mit den ersten Labormustern durch, die zu Testfallzwecken entwickelt wurden, um die Integrationsfähigkeit zu einem späteren Zeitpunkt sicherzustellen. Aufgrund dieser engen Kooperation konnten wichtige Prozessdaten ermittelt werden, die später in die Funktionsmusterentwicklung eingeflossen sind. Gleichzeitig dienten die Vorversuche der Kulturdatenermittlung und lichttechnischen Vermessung mittels hochauflösendem Spektrometer. Zusätzlich und ergänzend erfolgte die präzise Vermessung durch die FUTURELED mittels Radiospektrometer, bei denen die biologisch wirksame Bestrahlungsstärke in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pro Wellenlänge in verschiedenen Höhen sowie die zu erreichende Homogenität vermessen wurden. Die eingesetzte Messinstrumentvorrichtung wurde mobil geplant und realisiert, um vor Ort Messungen durchführen zu können. Die lichttechnischen Vermessungen erfolgten im Labor und wurden ergänzend zur HU mit Labormustern durchgeführt und entsprechende Parameter festgelegt. Vor Ort erfolgt die Messung auf den Flächen. Im Anschluss an die Testphase wurde mit der Fertigung der Funktionsmuster für den Einsatz in den Versuchen begonnen. Durch die Auslegung der Systeme konnte eine einfache technische Integration in alle Betriebe und wissenschaftliche Einrichtungen erfolgen.



Abbildung 3: Funktionsmusterintegration OG-Partner Hoffnungstaler Werkstätten gGmbH

4.1.3.2 AP2 b Entwicklung der Mehrebenenkultivierungssysteme

Mit der Entwicklung der Mehrebenenkultivierungssysteme mit LED-Belichtung und automatisierter Bewässerung wurde zeitlich versetzt nach der Entwicklung der LED-Belichtungssysteme und parallel zu deren Fertigung im Rahmen des AP 2b begonnen. Die Entwicklung der Mehrebenenkultivierungssysteme sollte die vertikale Kultivierung auf einer Grundfläche von 5 m² ermöglichen, die sich über mehrere höhenverstellbare Ebenen erhöhen lässt. Alle Ebenen des vertikalen Anbausystems sollten über vollsteuerbare (d.h. in LED-Spektrum und Lichtsumme) LED-Belichtungssysteme verfügen und eine automatisierte und softwaregesteuerte Bewässerung aller Ebenen verfügen. Für die verschiedenen Bewässerungsmodelle mussten umfangreiche Tests durchgeführt werden, um sowohl den versuchstechnischen Parametern als auch den Ansprüchen einer praxistauglichen Anwendung der Systeme gerecht zu werden. Die Bewässerungstests erfolgten in den Räumlichkeiten der FUTURELED und führten zu umfangreichen Ergebnissen, die für die Versuchsdurchführung und die spätere Anwendung unter Produktionsbedingungen entscheidend waren. Während der Tests konnte u.a. ermittelt werden, dass die Verwendung einer Tröpfchenbewässerung nicht prozesskonform einzubinden gewesen wäre. Ein wichtiger Meilenstein war die Integration eines exakt ansteuerbaren Anstaubewässerungssystems, welches die Kultivierung in Töpfen weiterhin ermöglichte und derart in die Prozesse der anwendenden Betriebe integriert werden konnte. Eine flexible Verrohrung ermöglichte darüber hinaus den technischen Betrieb der Regalsysteme in den Verbindern der Gewächshäuser. Zusätzlich wurde zur Absicherung einer gesteuerten Düngung der Versuche ein Tankwagensystem entwickelt, dass die präzise Düngung und das Vorhalten von Nährlösung ermöglichte.



Abbildung 4: Schema finale Konstruktion vertikales Anbausystem

Durch die bautechnische Diversität der verschiedenen Betriebsstätten im Rahmen des Vorhabens musste der ursprüngliche Plan der Schaffung eines Systems mit den Abmessungen 5 x 1 x 1,6 m (B x T x H) und vier höhenverstellbaren Regalebenen im Rahmen der Systemdefinition verworfen werden und Abmessungen identifiziert werden, die mit allen versuchsdurchführenden Betriebsstätten kompatibel sind. Im Rahmen der OG-Treffen wurde das CC-Containermaß⁵ als Basismaß aufgegriffen, weil dieses mit allen Wegbreiten der Gewächshausan-

⁵ Das dereinst in Dänemark als Standard etablierte Containersystem (Rollwagen-Konzept als Mehrwegladungsträgersystem) ist heute ein europäischer Standard und damit allen Gewächshausbauten kompatibel deren Neubau nach ca. 1985 liegt.

lagen kompatibel war. Gleichzeitig ist der Transport dieser Abmessungen leichter zu realisieren, weil sich das Maß auch für den Transport mit LKW eignet. Dies war insbesondere für den Transport der Regalsysteme von Anwender zu Anwender entscheidend.



Abbildung 5: Kultivierungstest automatisierte Bewässerung & Tankwagen FUTURELED

Die ursprüngliche Planung der Höhenverstellung der Regalebenen wurde zu Gunsten einer vollsteuerbaren LED-Belichtung auf allen Ebenen verworfen. Die Intensitätsregelung der in den Wellenlängen 365, 455, 660, 740 nm und weißen LED-Belichtungssysteme wurde durch umfangreiche Softwaresteuerung realisiert. Gleichzeitig wurde zur wissenschaftlichen Darstellung der Versuchsumfänge die Ansteuerung in einzeln aufgelösten Gruppen ermöglicht.

4.1.3.3 AP2 c Überarbeitung der Systeme

Die Entwicklung sowohl der LED-Belichtungssysteme mit vollsteuerbarem, einzelwellenlängenaufgelöstem Spektrum und Tagesverläufen als auch die Entwicklung der vertikalen Produktionssysteme konnte nur durch die Einbindung der gesamten OG und der Bedürfniserfassung der Partner erreicht werden. Wichtig war die frühe Einführung eines agilen Projektmanagements und der Durchsetzung eines Bottom-up-Prinzips in der Konstruktion der Systeme. Die Auflösung in abgegrenzte, detaillierte Teilprobleme mit deren Hilfe dann größere, darüber liegende Probleme gelöst werden können, hat sich als besonders hilfreich dargestellt. Die einzelnen Teillösungen wurden im Anschluss von „unten“ nach „oben“ zusammengesetzt, bis das Gesamtproblem gelöst war. Trotz der Einbindung aller Anwender und der Auflösung nach Bottom-up mussten die Funktionsmuster angepasst werden. Ursächlich war vor allem die schlechte Verfügbarkeit als auch die Qualität zugelieferter Bauteile. Konstruktive Anpassungen konnten deshalb nicht vermieden werden. Die retrospektive Betrachtung der durchgeführten Versuche, die Zusammenfassung der Lessons Learned, insbesondere der anwendenden Betriebe der OG, führte zur Entwicklung eines wassergekühlten LED-Systems zur Belichtung der Kulturen. Ziel dieser Entwicklung war es dem Bedarf eines nicht klimaverändernden Belichtungssystems nachzukommen und war direkte Folge der während besonders heißen Sommer 2018 und 2019 gemachten Erfahrungen. In den Sommermonaten erwärmten sich die Gewächshäuser einstrahlungsbedingt sehr stark. Es wurden Temperaturen von über 55 °C gemessen. Der Einsatz aller zur Verfügung stehenden Schattierungsmaßnahmen bei gleichzeitig hoher Luftfeuchtigkeit führt zu einer Verzögerung der Kulturen wie *Euphorbia pulcherrima*, so

dass ein Test mit wassergekühlten LED-Systemen durchgeführt werden sollte. Die aktiv luftgekühlten LED-Funktionsmuster konnten trotz Durchsatzsteigerung keine sichere Wärmeabfuhr mehr garantieren, sodass auf eine Belichtung unterhalb der Schattierung verzichtet werden musste. Das wassergekühlte LED-System wurde am 09.04.2020 im Betrieb Hoffnungstaler Werkstätten installiert. Getestet wurde mittels Solenostemon-Sorten, wichtigstes Ziel des Zierpflanzenversuchs war der Test der Entwärmungsleistung der wassergekühlten LED-Systeme zur Überprüfung des Einsatzes dieser Technologie im späten Frühjahr und den Sommermonaten mit stark durch Einstrahlung erwärmten Gewächshaus. Die Tests konnten mit dem gleichen Erfolg abgeschlossen werden, der sich auch mit der luftgekühlten Variante abschließen ließ, jedoch mit stark verringerter thermischer Last.



Abbildung 6: Wassergekühltes LED-System im Solenostemon-Versuch

4.1.4 AP3 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität und Resistenz von Basilikumgenotypen

Für die Kräutergärtnerei Oderbruch Müller, die nach ökologischen Grundsätzen wirtschaftet, ist *Ocimum basilicum* (Basilikum) eine der wichtigsten Kulturen und wird in verschiedenen Varietäten produziert; diese werden, ebenso wie andere Topfkräuter, als Frischware in der Region, dem Direktverkauf ab Hof und über Bio-Supermärkte vermarktet. Im Rahmen des AP3 wurde die Kultur, die Qualität und die Resistenz dieser wichtigen Topfkräuter unter LED-Assimilationsbelichtung betrachtet. Versuche hierzu wurden sowohl in der Gärtnerei selbst als auch an der HU und am JKI durchgeführt.

4.1.4.1 Einfluss von LED-Assimilationsbelichtung und Einsatz der UV-A/UV-B-Banden (HU)

Im Rahmen des AP3 wurden verschiedene spezifische energiesparende LED-Lampen im Vergleich im Gewächshaus durch die HU getestet, um eine mögliche Produktion auch in einer nicht lichtreichen Jahreszeit zu überprüfen. Zusätzlich wurde unter kontrollierten Bedingungen untersucht, ob der UV-A/UV-B-Bereich sich positiv auf die sekundären Inhaltsstoffe (ätherische Öle) auswirken könnte und die Pflanzenresistenz gegenüber dem Falschen Mehltau (*Peronospora belbahrii*) erhöhen kann. Der UV-A/UV-B-Bereich ist ein Novum in der Gartenbau-praxis. Des Weiteren wurde ein möglicher Anbau in vertikalen Regalsystem überprüft, um die

Produktion pro Quadratmeter Gewächshausfläche zu erhöhen. Untersucht wurden vier verschiedene relevante Sorten. Die Versuche erfolgten in drei aufeinander aufbauenden Stufen und beinhalteten verschiedene Belichtungsvarianten in verschiedenen Systemen. Zunächst wurden vier Lichtszenarien gegen eine Kontrolle unter Gewächshausbedingungen getestet. Es schlossen sich Versuche unter kontrollierten Bedingungen an, die die zuvor getesteten Lichtszenarien aufgriffen und um UV-A/B-Komponenten sowie die Untersuchung von gezielten Mehltau-Infektionen einschlossen. Abschließend erfolgte die Untersuchung im Rahmen der vertikalen Anbausysteme. Es erfolgte über alle Versuche sowohl eine umfangreiche Bonitur der Versuchsglieder, die in Teilen digital photometrisch erfolgte als auch phänotypisch entlang von Boniturschlüsseln. Zusätzlich erfolgte die Erfassung von Frisch- und Trockenmasse als auch die nasschemische Untersuchung sekundärer Inhaltstoffe. Zusammenfassend können die Versuche der HU als gelungen betrachtet werden. Die UV-Belichtung konnte den Befall mit Falschem Mehltau resistenzfördernd einschränken, aber nicht vollständig kurieren. Die Gehalte an Methyleugenol waren teilweise um das Doppelte erhöht in den Pflanzen ohne Zusatzlicht und Eugenol reduziert. Dies als problematisch zu betrachten, da Methyleugenol als mögliche kanzerogene Substanz eingestuft wurde. Andere aromagebende Substanzen waren in den Pflanzen der LED-Varianten deutlich höher als in Pflanzen ohne Zusatzlicht. Die Versuche im LED-Regalsystem zeigten, dass innerhalb von fünf Wochen Basilikum auch im Herbst die Marktreife erreichen kann. Hierin ist der erreichte Ertragsabstand zur Kontrolle zu betonen, der um 50 % niedriger lag, als der in der Belichtungsvariante. Die verwendeten LED-Funktionsmuster von FUTURELED erwiesen sich als hervorragend für die Kultivierung von Basilikum geeignet und schnitten zum Teil besser ab als die Natriumdampflampe. Der zusätzliche Anteil von UV-A und einer geringen Dosis von UV-B wirkte sich positiv auf das Wachstum und die Qualität, wie z. B. Gehalt an erwünschten ätherischen Ölen, von Basilikum aus und erhöhte etwas die Pflanzenresistenz gegenüber dem Falschen Mehltau.

4.1.4.2 Einfluss der Lichtintensität auf die Kultivierung von *Ocimum basilicum* (JKI)

Am 21.06.2018 wurde am JKI mit den Versuchen an *Ocimum basilicum* L. begonnen. Die Untersuchungen erfolgten in den Kulturräumen des JKI unter steuerbaren Klimabedingungen. Ziel des ersten Versuchs war die Ermittlung des Einflusses des neuartigen LED-Lichtspektrums auf die Produktivität von vier verschiedenen Basilikumkultivaren unter zwei verschiedenen Lichtintensitäten durch die wöchentliche Erfassung von verschiedenen Entwicklungsparametern der Basilikumpflanzen. Nach 40 Tagen Versuchslaufzeit konnte der Versuch am 31.07.2018 erfolgreich beendet werden. Das neuartige LED-System ermöglicht eine rasante natürliche Pflanzenentwicklung aller Basilikumsorten unter vollständigem Ausschluss des natürlichen Sonnenlichts. Alle vier Basilikumsorten entwickeln sich in Bezug auf Wuchshöhe, Blatt-, Stängel- und Blütenentwicklung deutlich schneller unter der hohen ($200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) als unter der niedrigen Lichtintensität ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Marktreife erreichen die Basilikumpflanzen innerhalb von 3,5 bis 4 Wochen unter der hohen Lichtintensität. Dieses frühe Erreichen der Marktfähigkeit entspricht in der Region Berlin und Brandenburg dem Anbau von Basilikum im Gewächshaus unter Optimalbedingungen im Sommer, und kann saisonbedingt bis

zu 7 Wochen dauern. Vergleichbare Entwicklungsstadien der getesteten Basilikumsorten werden unter der niedrigen Lichtintensität maximal eine Woche später erreicht. Die räumlichen Wiederholungen beweisen die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Das emittierte Lichtspektrum sowie die erreichbaren Lichtintensitäten des LED-Systems erweisen sich folglich als geeignetes Assimilationsbeleuchtungssystem im Gewächshausanbau sowie in geschlossenen Systemen unter Ausschluss des natürlichen Sonnenlichts.



Abbildung 7: Teilausschnitt des Versuchsdesigns

4.1.4.3 *Ocimum basilicum* L. UV-A und UV-B (JKI)

Parallel wurde der Einfluss von UV-A und UV-B auf die Pflanzentwicklung und die inhaltstoffliche Zusammensetzung der vier verschiedenen Basilikumkultivaren getestet. Im gleichen Kultivierungszeitraum konnten keine Unterschiede hinsichtlich Wuchshöhe, Blatt-, Stängel- und Blütenentwicklung zwischen den UV-Treatments festgestellt werden. Es konnten keine Unterschiede in Bezug auf ausgewählte wertgebende Pflanzeninhaltsstoffe zwischen beiden UV-Varianten detektiert werden. Im Vergleich zu dem parallel laufenden Versuch (gleicher Versuchsaufbau ohne UV-Strahlung) verlangsamt die hinzugefügte UV-Strahlung die Basilikumentwicklung bei gleichbleibender Lichtintensität um bis zu neun Tage.

4.1.5 AP4 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf die Qualität von exotischen Kräutern

Der Umfang der Versuche an exotischen Kräutern wurden vollständig am JKI durchgeführt. Im Landwirtschaftsbetrieb Wandke („Kräuterlounge“) in Altlandsberg bei Berlin werden frische Kräuter- und Gewürzpflanzen produziert und verkauft. Zum Sortiment gehört auch Kurkuma, *Curcuma longa* L., der im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Betrachtung dieses Arbeitspaketes stand. Beim OG-Partner Wandke werden die Kurkumapflanzen in einem unbeheizten Gewächshaus ohne Zusatzbelichtung in Bodenkultur angebaut. Im Spätherbst, unter abnehmenden Tageslängen und Außentemperaturen, kommt es zur Blattwelke aufgrund von Mangel dieser Wachstumsfaktoren. Die Rhizome der dormanten Pflanzen werden zu diesem Zeitpunkt geerntet. In Sri Lanka, dem Herkunftsland der kultivierten Sorte, ist die natürliche Vegetationsperiode deutlich länger und der Ertrag entsprechend höher. Dies ist auf die dort vorherrschenden klimatischen Bedingungen zurückzuführen, dass auch ein gleichmäßig hohes Lichtange-

bot im gesamten Jahresverlauf beinhaltet. Es ist deshalb naheliegend, dass im Gewächshausanbau von Kurkuma unter brandenburgischen Verhältnissen durch eine Anpassung der Belichtung das Ertragspotenzial gesteigert werden kann.



Abbildung 8: Kurkuma im Betrieb Wandke

4.1.5.1 Klimakammer-Versuch an Kurkuma-Varietät (*Curcuma longa* L.)

Im Rahmen des am 04.09.2018 startenden Klimakammerversuchs am JKI sollte der Einfluss von UV-Strahlung auf Wachstum und Entwicklung der Kurkumastaude (*Curcuma longa* L.) und auf die Curcuminoidzusammensetzung in den Kurkumarhizomen untersucht werden. Das Versuchssetting umfasste zwei unterschiedliche Lichtspektren ($200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm \text{UV}$) und zwei Erntetermine mit einem Gesamtprobenumfang von 84 Pflanzen. Durch den Einsatz der LED-Funktionsmuster in den Klimakammern sollten Klimaeinflüsse weitgehend egalisiert werden und die Wirkung der UV-Komponente auf die Curcuminoidzusammensetzung als wichtigem qualitätstreibendem Parameter in der Vermarktung regional produzierter Kurkumarhizome untersucht werden. Nach einer Kultivierungszeit von 168 Tagen wurde der Versuch am 19.02.2019 beendet. Die Ergebnisse lassen sich folgend zusammenfassen: Die UV-Strahlung minderte den Ertrag der oberirdischen Pflanzenteile und schränkte die Pflanzenentwicklung hinsichtlich Staudenhöhe und Blattentwicklung ein. Zwar blieb der prozentuale Anteil der wertgebenden Curcuminoiden in den Kurkumarhizomen unter beiden Versuchsbedingungen unverändert, jedoch führte die UV-Strahlung zu einem deutlich verminderten Rhizomertrag, so dass eine UV-Exposition nicht empfohlen werden kann. Die Kulturführung von Kurkuma ohne UV-Anteile erweist sich als deutlich ertragreicher. Die gewonnenen Erkenntnisse dieses Klimakammerversuchs stellten die Grundlage für den Gewächshausversuch (Siehe 4.1.5.2) dar.



Abbildung 9: Kurkuma UV-Treatment Klimakammer JKI

4.1.5.2 Langzeitversuch an Kurkuma-Varietät (*Curcuma longa* L.)

Der Versuch wurde vom 15.04.2019 bis 08.01.2020 in den Gewächshäusern des JKI durchgeführt. Die anschließende Probenaufbereitung und Analytik fanden zwischen dem 20.02.2020 und 14.04.2020 in den Laboren des Institutes für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz des JKI statt. In einem zweifaktoriellen Versuch (Abbildung 10) wurden zwei Lichtvarianten, mit Zusatzbelichtung (b) und ohne Zusatzbelichtung (c), und drei Erntetermine (212, 240 und 268 Tage nach Pflanzung) verglichen. Jede Behandlung wurde vier Mal wiederholt. Eine Wiederholung bestand aus einem Verbund von jeweils 18 - 21 Pflanzen. Die Wiederholungen wurden randomisiert im Gewächshaus angeordnet. Der Wachstumsverlauf von insgesamt 161 Pflanzen wurde über einen Zeitraum von 30 Wochen (11.06.19 bis 07.01.20) hinweg dokumentiert. Dabei wurden etwa alle zwei Wochen die Anzahl der Triebe pro Topf gezählt und die Höhe der einzelnen Austriebe gemessen. Um Randeffekte zu minimieren wurden die Töpfe anschließend randomisiert. Von diesen insgesamt 161 bonitierten Pflanzen wurden 144 Pflanzern geerntet und laboranalytisch untersucht. Die Ernte erfolgte an drei Terminen nach einer Kulturdauer von 212, 240 bzw. 268 Tagen, was einer Kulturdauer von etwa 7, 8 bzw. 9 Monaten entspricht. Pro Erntetermin wurden 48 Pflanzen geerntet, sechs Pflanzen aus jedem Verbund.



Abbildung 10: Kurkumapflanzen im Gewächshaus des JKI.

In der vorliegenden Arbeit wurde experimentell untersucht, ob beim Gewächshausanbau von *Curcuma longa* L. unter mitteleuropäischen Bedingungen Zusatzbelichtung zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode und zu einer Steigerung des Ertrags führt. Dabei wurde die ab Mitte Juni natürlich abnehmende Tageslänge und Lichtintensität sukzessive mit LED-Zusatzbelichtung mit Tageslichtspektrum und einer Intensität von ca. $560 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ausgeglichen. Ab Ende September wurden die Kurkumapflanzen in einem 12/12 h-Tag-Nacht-Rhythmus kultiviert, der dem ihrer geografischen Herkunft entspricht. Zusätzlich wurde der Effekt von Zusatzbelichtung auf die sekundären Inhaltsstoffe untersucht. Dazu wurden die in den Rhizomen enthaltenen Curcuminoiden mittels HPLC-Analyse quantifiziert. Die Curcuminoidbiosynthese ist mit der Rhizombiomasseproduktion gekoppelt. Daher verbessert Zusatzbelichtung nicht nur den Ertrag, sondern auch die Qualität der Rhizome. Bei der Belichtung sollte beachtet werden,

dass Kurkuma eine schattenliebende Art ist, die sensibel auf extrem hohe Lichtintensitäten und UV-Licht reagiert. Mit einer Lichtintensität von etwa 560 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ im Tageslichtspektrum und einer täglichen Belichtungsdauer von 12 h ab Mitte September wurden in diesem Versuch gute Ergebnisse erzielt. Die Rhizome enthielten zwischen 3,75-4,50 % Curcuminoiden. Der Curcuminoidgehalt bei den Pflanzen mit Zusatzbelichtung veränderte sich zwischen den drei Ernteterminen nicht signifikant, war jedoch nach neun Monaten signifikant höher als bei der Kontrolle.

4.1.5.3 Vergleich verschiedener Belichtungssysteme an Thymian (*Thymus vulgaris* L.)

Thymian, *Thymus vulgaris* L., wurde als ergänzende, weil als Halbstrauch verholzende aromatisierende und im brandenburgischen Klima schwer zu kultivierende Kulturpflanze für Vergleiche zur ökonomischen Betrachtung der neuen LED-Belichtungstechnologie mit Sonnenlichtspektrum (400 – 700 nm) herangezogen. Es wurde der Einfluss der Sonnenlichts-LEDs im direkten Vergleich mit verbreiteten Belichtungstechnologien im Gartenbau durchgeführt. In Konkurrenz wurden Natriumdampf-Leuchten (HPS) und Leuchtstoffröhren (LSR) in der Gewächshauskultivierung von Thymian im Herbst und Winter auf Ertrag und Qualität und Ermittlung der Wirtschaftlichkeit durch Erhebung des Stromverbrauchs getestet. Das SUNtech-Belichtungssystem weist ein verbessertes Emissionsspektrum im fotosynthetisch aktiven Wellenlängenbereich sowie erhöhte Emissionsintensitäten gegenüber gestellten Natriumdampflampen (HPS) und Leuchtstoffröhren (LSR) auf, wie aus dem Spektrum in Abbildung 11 hervorgeht.

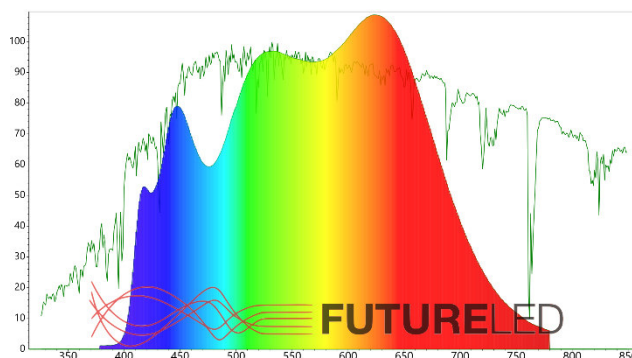


Abbildung 11: SUNtech-Spektrum

Mit dem Versuch der 3 Belichtungsarten in vier räumlichen Wiederholungen miteinander verglichen und mit einem Gesamtprobenumfang von 216 Stück durchgeführt wurde, konnte am 09.10.2018 begonnen werden. Abgeschlossen wurde Versuch am 12.02.2019.

Das SUNtech-Spektrum weist ein verbessertes Emissionsspektrum im fotosynthetisch aktiven Wellenlängenbereich sowie erhöhte Emissionsintensitäten als die gegenübergestellten HPS und LSR auf. Die Auswertung von Frisch- und Trockenmassegewichten der Thymianpflanzen ergab deutliche Ertragssteigerungen um Faktor 2 und 5 im Vergleich zur HPS und LSR. Dabei konnten keine morphologischen Unregelmäßigkeiten im Wuchs während der Versuchslaufzeit festgestellt werden. Die gesteigerte Produktivität ist auf die deutlich höhere Lichtintensität der LED-Funktionsmuster mit Sonnenlichtspektrum zurückzuführen. Die qualitative Beurteilung wurde in Bezug auf wertgebende ätherische Ölkomponenten von Blattextrakten des Thymians

durchgeführt und bleibt im Vergleich zur HPS unverändert. Nur drei von zehn Aromahauptkomponenten, namentlich Alpha-Pinen, Myrcen und Limonen, wurden vermehrt unter dem SUNtech-Spektrum synthetisiert. Im Vergleich zur LSR verdoppelten sich die Gehalte aller geruchs- und geschmacksgebender Ölkomponten unter dem SUNtech-System. Unter Einbeziehung des Stromverbrauchs erweist sich die SUNtech-LED als wirtschaftlichstes System: Die SUNtech-LED und die LSR verbrauchten während des Versuchszeitraums jeweils über 50 und 73 % weniger Strom als die HPS. Aufgrund der hohen Photonenflussdichte bei gleichzeitig geringerem Stromverbrauch weist die SUNtech-LED eine wesentlich verbesserte Photoneneffizienz auf. Basierend auf den erhaltenen Ergebnissen ist der Gewächshausanbau durch die entwickelten LEDs in Herbst und Winter deutlich rentabler als mit den herkömmlichen Assimilationsbeleuchtungssystemen. Die durch die SUNtech-LEDs erzielbaren Ertragssteigerungen können künftig zur Verkürzung der Kultivierungsdauer, zu früherer Marktfähigkeit, mehreren Ernten und höheren finanziellen Einnahmen in den Gartenbaubetrieben beitragen.

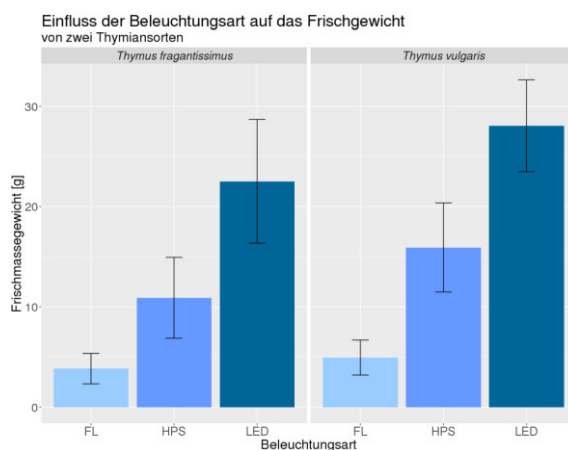


Abbildung 12: Thymian-Versuch

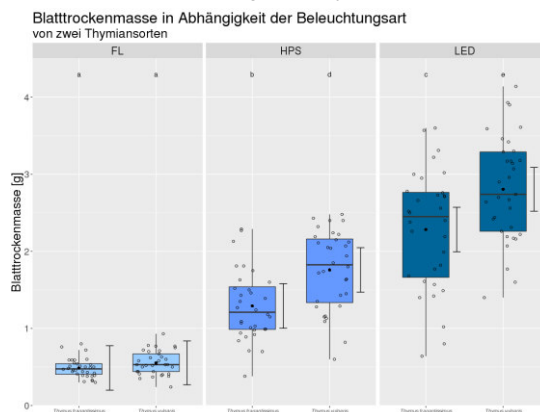


Abbildung 13: Thymian-Versuch

Eine Umrüstung auf LED-Technologie mit Sonnenlichtspektrum, wie dem vorliegenden SUNtech-Spektrum, wird aufgrund der hohen erreichbaren Lichtintensitäten und der spektralen Zusammensetzung des LED-Systems, der damit einhergehenden erhöhten gartenbaulichen Erträge und der im Minimum gleichbleibenden Produktqualität, der deutlichen Stromersparnisse und der gesunkenen Investitionskosten empfohlen.

4.1.5.4 Vergleich verschiedener Belichtungsregime mittels LED-Belichtung an Wasabi

Der echte Japanische Meerrettich, Wasabi (*Eutrema japonicum*), stellt für den Anbau im kontinentalen brandenburgischen Klima eine besondere Herausforderung dar, die, trotz des hohen Deckungsbeitrags der Kultur, einen außergewöhnlich hohen technischen Aufwand verursacht, der hohe Investitionskosten bedingt. Obwohl brandenburgische Produktionsstandorte aufgrund ihrer Nähe zu internationalen Flughäfen einen besonderen Vorteil beim Export von frischem Wasabi genießen würden, ist der technische Aufwand zur Herstellung geeigneter Wachstumsbedingungen sehr hoch. International erfolgreiche Anbauregionen zeichnen sich durch die Etablierung eigener Vermehrungslinien aus, so dass im Rahmen dieser Untersuchung durch die HU verschiedene Methoden der Vermehrung ebenso getestet wurden, wie Versuche der geschützten Kultivierung. Um eine valide Einschätzung über die Durchführbarkeit der geplanten Versuche zu ermöglichen wurde der aktuelle Stand der Technik in der Wasabi-Vermehrung und -Kultur recherchiert. Im Fokus standen die innovativsten und sichersten Kultivierungs- und Propagationsmethoden. Nach Abschluss der Recherchen konnten Jungpflanzen von *Wasabia japonica* 'Matsum' für die Kultivierungsversuche in Bewässerungsrinne und die Vermehrung mittels in vitro Kulturverfahren genutzt werden. Ohne die Etablierung einer stabilen, gesunden Vermehrung lässt sich für Wasabi kein ökonomisches Anbaukonzept erstellen, weil internationale keine Jungpflanzen gehandelt werden. Während der in vitro Vermehrung konnten Probleme mit dem Auftreten einer endogenen Bakteriose nicht überwunden werden, obwohl verschiedene Verfahren der Antibiotika-Anwendung getestet wurden. Zu Gunsten der weiteren Versuche wurde der Versuch der Etablierung einer Wasabi-Vermehrung aufgegeben.



Abbildung 14: Wasabi in vitro Etablierungsversuch HU

4.1.6 AP5 - Testen verschiedener LED-Lichtregime auf das Wachstum von Zierpflanzen

Die Durchführung der Versuche zu verschiedenen LED-Lichtregimen in der Zierpflanzenproduktion wurde in enger Kooperation von HU und Hoffnungstaler Werkstätten durchgeführt. Während die technische Installation der LED-Funktionsmuster gemeinsam von der FUTU-RELED, den technischen und gärtnerischen Mitarbeitern der Hoffnungstaler Werkstätten

durchgeführt wurde. Im Rahmen der Versuche wurde neben den Funktionsmustern zur Belichtung mittels verschiedener Lichtspektren auch solche LED-Systeme mit Sonnenlichtspektrum genutzt, welches als SUNtech-Spektrum bezeichnet wird. Als technische Besonderheit wurde im Rahmen der Projektverlängerung der Einsatz wassergekühlter LED-Systeme im Betrieb Hoffnungstaler Werkstätten getestet. Des Weiteren erfolgten die Tests der halbautomatisierten Bontur im Rahmen der Zierpflanzenversuche mittels Einsatzes eines Funktionsmusters gemeinsam mit der HU. Darüber hinaus konnten im Rahmen dieser Versuche die vertikalen Anbausysteme mit automatischer Bewässerung getestet werden.

Belichtungsversuche wurden an den folgenden Varietäten der Zierkulturen durchgeführt:

- *Begonia tuberhybrida* 'Illumination F1' (Knollenbegonie)
- *Impatiens new guinea* (Edellieschen)
- *Pelargonium zonale* (Stehende Geranie)
- *Euphorbia pulcherrima* (Weihnachtsstern)
- *Solenostemon scutellarioides* (Buntnessel)

Bei allen untersuchten Knollenbegonien-Sorten führte eine Zusatzbelichtung mit einer SUNtech-Tischbeleuchtung zu einer gesteigerten Pflanzenqualität. Die SUNtech-Zusatzbeleuchtung erlaubte eine Vermarktungsqualität zu erreichen, die auf Stützgitter, aufgrund eines kompakteren Wuchses mit stärkeren und standfesteren Trieben, vollständig verzichtet, während eine Vermarktung der Kontrolle nur mit einer solchen gelingen würde. Für die Edellieschen kann zusammengefasst festgestellt werden, dass bei der Lichtvariante UV+ bei allen Sorten gesunde und qualitativ hochwertige Pflanzen produziert wurden (siehe nachfolgende Tabelle). Sie stellt somit die optimale Lichtvariante dar. Einige Sorten erzielten auch in der Lichtvariante UV- höhere Pflanzenqualitäten.

Lichtvariante	Wellenlängen der verschiedenen Beleuchtungsvarianten [nm]							Lichtintensität [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$]	UV-Intensität [W/m^2]
UV+	365	455	470	510	660	730	WS	81	2,65
UV-		455	470	510	660	730	WS	81	0
UV-/rot-		455	470	510			WS	66	0
UV-/blau-				510	660	730	WS	46	0
Kontrolle	x	x	X	x	x	x	x	x	x

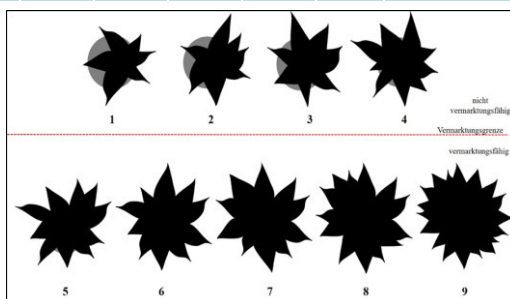


Abbildung 15: Wuchsschablonen I. new guinea

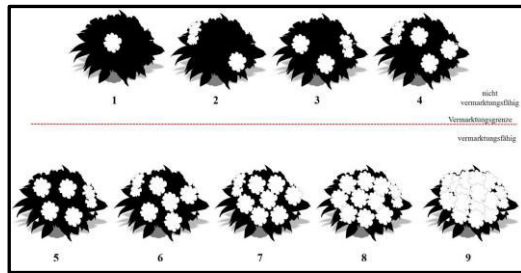


Abbildung 16: Reichblütigkeitsschablone I. new guinea

Noch erfolgreicher waren die Tests an *Solenostemon*; in diesen konnte die Kontrolle keinen vermarktungsfähigen Zustand erreichen, während alle Beleuchtungsvarianten erfolgreich die Vermarktung erreichten. Überdies wurde ein optimales Belichtungsrezept identifiziert.

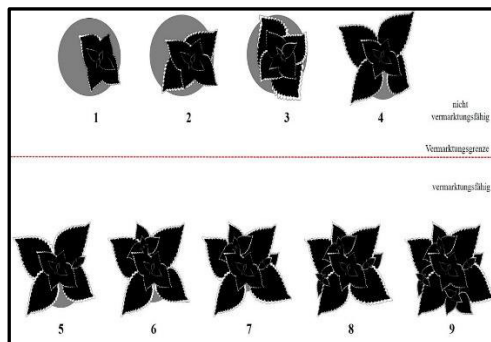


Abbildung 17: Wuchsschablone S. scutellarioides

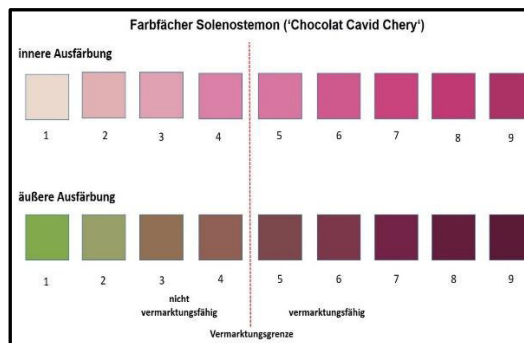


Abbildung 18: Farbfächer zur Einordnung der inneren und äußeren Ausfärbung

Auch in der wirtschaftlich wichtigen Produktion von *Euphorbia pulcherrima* (Weihnachtsstern) konnten Lichtrezepte besonderer sortenspezifischer Eignung identifiziert werden, deren Einsatz empfohlen werden kann.

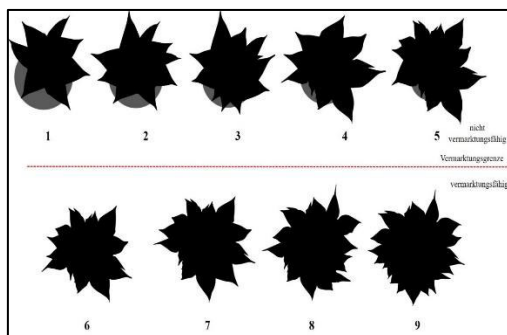


Abbildung 19: Wuchsschablone E. pulcherrima

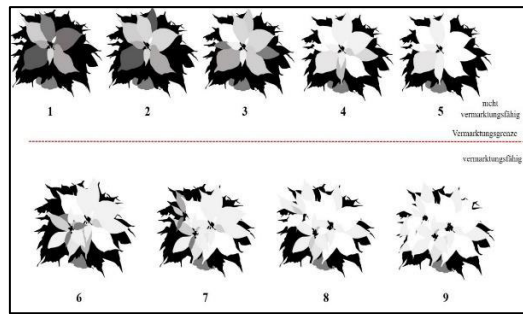


Abbildung 20: Ausfärbungsfächer *E. pulcherrima*

Die Ergebnisse der Versuche ergaben, dass durch eine Zusatzbelichtung mit einer LED-Tischbeleuchtung, im Vergleich zu der Kontrollvariante, eine gesteigerte Pflanzenqualität erzielt werden konnte. Mit einer LED-Zusatzbeleuchtung konnte die Kulturdauer unter Einsparung von Energie verkürzt werden (mindestens 2 Wochen für *Impatiens*, 1-2 Wochen für *Euphorbia* und *Solenostemon*). Beim Einsatz einer LED-Zusatzbeleuchtung anstelle von Natrium-Hochdrucklampen ist die Temperaturführung zu beachten, da LED-Lampen eine geringere Wärmeentwicklung aufweisen. Ebenfalls muss mit einer LED-Zusatzbeleuchtung die bisherige bedarfsgerechte Bewässerung und Düngung angepasst werden, da durch ein höheres Lichtangebot die Assimilationsrate der Pflanzen und damit verbunden der Biomassezuwachs gesteigert wird. Für eine Qualitätssteigerung der Pflanzen sowie zur Verkürzung der Kulturdauer ist der Einsatz der LED-Zusatzbeleuchtung für die Produktion zu empfehlen.

4.1.7 AP6 - Pflanzenphysiologische Untersuchungen unter verschiedenen Lichtbedingungen

Ziel des AP6 war die präzise Erfassung pflanzenphysiologischer Veränderungen unter den verschiedenen erzeugten spektralen Expositionen der Versuchspflanzen. Diese konnten mit umfangreichen Bonituren und nasschemischen Untersuchungen durch die HU und das JKI durchgeführt werden und sind unter den entsprechenden Kapiteln im Ergebnis beschrieben. Im Rahmen des AP6 entwickelte die HU in Kooperation mit der FUTURELED des Weiteren Verfahren der digitalen Photometrie zur dorsalen Erfassung von phänotypischen Boniturdaten. Diese Erfassung war ein wichtiger Bestandteil der projektierten Zielsetzung zur präzisen Vermessung der durch Belichtung erreichten phänotypischen Unterschiede, die habituell an den Versuchskulturen sichtbar werden sollten. Das Vorgehen sollte sowohl den Wissenschaftlern bei der Erfassung der habituellen Parameter der Veränderung neue statistisch/biometrische Optionen in der Auswertung ermöglichen, sondern auch nach Abschluss der wissenschaftlichen Arbeiten helfen, die Qualitätssicherung der versuchsdurchführenden Unternehmen durch Ableitung signifikanter Merkmale zu erleichtern, um diese in die Lage zu versetzen, entlang der metrischen Daten, die zur Präzisierung der Qualitätsattribute vorliegen, eine eigene Kompetenz in der Bewertung der lichtspektralen Wirkung zu entwickeln, die einen zukünftigen Einsatz der neuen Technologie sicherlich stark verbessert und einen Teil der Versuchsarbeit in die Hände der Anwender gelegt hätte. Eine weitere treibende Überlegung für die Entwicklungsaufnahme eines solchen metrischen Bonitursystems war die Etablierung von Versuchen mit größeren Versuchsumfängen und deren prozesstechnische Beherrschung

während der Auswertung. Während ein Teil der Versuche mittels digitaler photometrischer Vermessung erfasst werden konnte, wurden die meisten Versuche zusätzlich mittels klassischer Bonitur, nach zuvor definiertem Boniturschlüssel, per Hand bonitiert und ausgewertet. Die mittels des digitalen Bonitursystems generierten photometrischen Daten sollen im Anschluss verrechnet werden. Vor allem der Abgleich phäno- bzw. photometrischer und laboranalytischer Ergebnisse ermöglicht einen besonderen Einblick in die Wirkung der verschiedenen getesteten Lichtspektren und -Intensitäten und ist eine Bereicherung der wissenschaftlichen Erkenntnisse im Hinblick auf die Bewertung der verschiedenen Lichtrezepte. Die Erfassung und Durchführung mittels eines frühen Labormusters wurde durch Mitarbeiter der FUTU-RELED vor allem während Anbauversuchen im Rahmen der Bewässerungssystementwicklung im Zuge des AP2 b Entwicklung der Mehrebenenkultivierungssysteme durchgeführt und später im Rahmen der Zierpflanzenversuche beim OG-Partner Hoffnungstaler Werkstätten unter Mithilfe der HU entlang eines Funktionsmusters umfangreich erprobt. Zuvor waren bereits durch die HU umfangreiche Studien zur softwareseitigen Analyse photometrischer Daten angefertigt worden. Die stark vereinfachte photometrische Vermessung der Versuchspflanzen durch Halbautomatisierung und digitale Erfassung konnte trotz des entwicklungstechnischen Aufwands umgesetzt werden.

4.1.8 AP7 - Praxistest der Betriebe auf Rentabilität mit den LED-Lichtsystemen

Detaillierte Ausführungen dazu in den Abschnitten 4.1.5 und 4.1.6 zu den jeweils durchgeführten Versuchen.

4.1.9 AP8 - Öffentlichkeitsarbeit/Empfehlung, Organisation von Workshops, Publikationen

Die Öffentlichkeitsarbeit wurde als gemeinsame Aufgabe der OG aus verschiedenen Perspektiven bearbeitet und wahrgenommen. Beispielhaft ist die gemeinsame Präsentation auf der IPSC 2019 oder die Durchführung verschiedener „Tage der Offenen Tür“ durch die OG-Partner. Eine besondere Bedeutung wurde innerhalb des Projekts der didaktischen Dissemination zu gesprochen, dass von allen OG-Beteiligten getragen wurde und von der HU entwickelt wurde. Ziel war die Einbindung der praktischen und akademischen Lehre und die Teilhabe der Lernenden in die innovative Praxis des Vorhabens. In Kooperation mit der Lenné-Akademie, dem LAGF, der HU und FUTURELED gelang die Integration der innovativen Technologie in die Ausbildung durch das LAGF. Eine weiterführende Einbindung des Projekts erfolgte in die Lehre der HU über studentische Projekt tutorien verschiedener Art und das Angebot an die interessierten Studierenden an Workshops zum Thema Künstliche Belichtung teilzunehmen. Neben Veranstaltungen, die direkt in die Lehre einfließen, konnten Studenten auch an der wissenschaftlichen Arbeit teilnehmen. Dies geschah im Rahmen von Vermehrungspraktika, die am Albrecht Daniel Thaer-Institut der Lebenswissenschaftlichen Fakultät (HU) durchgeführt wurden, oder im Rahmen von Führungen zu den laufenden Versuchen in den wissenschaftlichen Einrichtungen. Eine Besonderheit war die Durchführung des projektspezifischen

Tutoriums „LED Grow Lights“, welches neben Studierenden der HU auch von Studierenden der Freien Universität Berlin und der Technischen Universität Berlin wahrgenommen wurde und während des Wintersemesters 2018/19 (15.10.2018 - 16.02.2019) durchgeführt wurde.



Abbildung 21: Studentisches Praktikum unter Leitung von Frau Dr. Mewis (HU)



Abbildung 22: Versuchsbesichtigung am JKI durch „LED Grow Lights“

Detailliertere Erläuterungen zur Disseminationsstrategie zu deren Umsetzung und Durchführung finden sich in Abschnitt 7 Kommunikations- und Disseminationskonzept auf Seite 29 des Abschlussberichts.

4.1.10 AP9 – Verlängerung des Projekts

Die OG konnte erfolgreich eine Mittelaufstockung und mit ihr eine Verlängerung des Projekts beantragen. Die umfangreichen Tests und Versuche wurden durch den überdurchschnittlich warmen Sommer des Jahres 2018 empfindlich gestört, weil sich die verwendeten Gewächshäuser nicht mehr im ausreichenden Maße kühlen ließen. Innenschattierungen und das kombinierte First-/Seitenwandlüften waren nicht mehr ausreichend, um eine Temperaturabsenkung zu erreichen. Zusätzlich mussten umfangreiche Änderungen an den Mehrebenenkultivierungssystemen vorgenommen werden, um Versuche mit diesen in allen Betrieben zu ermöglichen (Darlegung des betriebsbedingten Wechsels in der Konstruktion unter 4.1.3.2 AP2 b Entwicklung der Mehrebenenkultivierungssysteme).

4.1.11 AP10 - Abschließende Auswertung und Endbericht

Die abschließende Auswertung des Projekts und die Anfertigung des Endberichts erfolgte in Zusammenarbeit aller beteiligten OG-Mitglieder.

5 Projektergebnisse

5.1 Ergebnisse

Durch die Schaffung von Funktionsmustern, die ein besonders breites technisches Einsatzspektrum ermöglichten, gelang es sowohl für alle im Fokus stehenden Kulturen als auch für die ökonomische Beurteilung der Ergebnisse positive Erkenntnisse zur Anwendung der neuen Technologie im Gartenbau zu gewinnen. Dabei wurde die Innovationshürde der technischen Realisierung ebenso genommen, wie die Nachweisführung der Effektivität angepasster Lichtspektren zur Erzielung gesteigerter Qualitäten und der Verkürzung der Kulturdauer. Eine besondere Wirkung konnte hierin sowohl der verbesserten Assimilationsbelichtung zugeschrieben werden als auch der spezifischen Wirkung der eingesetzten UV-Spektren. Als wichtige zusätzliche Erkenntnis wurde die Wirkung des Tageslichtintegrals hervorgehoben, die vor allem auf den generierten Lessons Learned der Zusammenarbeit der produzierenden Betriebe mit der FUTURELED und JKI beruht. Die Erkenntnis der Wirkung der Lichtsumme, also der pflanzenphysiologisch nutzbaren Photonen im Laufe eines Tages, dem sog. Tageslichtintegral (ALBRIGHT ET AL. 2000), führt zur Entwicklung eines angepassten Funktionsmusters mit tageslichtoptimiertem Spektrum, dass in den durchgeführten Tests ebenfalls überzeugen konnte. Diese Erkenntnis, die durch Vergleichstests des JKI im wissenschaftlichen Vergleich validiert werden konnte, zeigte die besondere Eignung der Anwendung der LED-Technologie über die einzelaufgelöste, wellenlängenspezifische Wirkung eines kulturspezifischen Lichtspektrums hinaus und war in dieser Form zu Beginn des Projekts nicht erwartet worden. Durch die Verwendung einer tageslichtemittierenden LED-Technologie wird es zukünftig möglich sein deutlich günstigere und dennoch in ihrer Wirksamkeit überlegene Assimilationsbelichtungssysteme zu entwickeln, die über eine höhere energetische Wirksamkeit verfügen ohne dabei eine Verteuerung durch Einzelwellenlängensteuerung zu erfahren.

Durch die Entwicklung der Mehrebenenanbausysteme konnte die Funktion und Nutzbarkeit, dieser für den Gartenbau neuen Technologie, nachgewiesen werden. Insbesondere für die Wissenschaft ergaben sich durch die Nutzung der vertikalen Anbausysteme neue Möglichkeiten des Versuchsdesigns (u.a. durch Wiederholungszahlerhöhung auf gleicher Grundfläche). Gleichzeitig konnte durch die angepassten vielseitig kompatiblen Abmessungen eine Nutzung in Produktionsgewächshäusern erreicht werden. Eine besondere Chance liegt hier in der Nutzung von unproduktiven Flächen bspw. zur Jungpflanzenanzucht zwecks Portfoliodiversifizierung. Als besondere technische Innovation ist die automatische einzelebenenaufgelöste Bewässerung zu betrachten und die mittels speziell entwickelter Tankwagen in allen beteiligten Betrieben und wissenschaftlichen Einrichtungen realisierbar wurde. Hierdurch kann zukünftig eine stark automatisierte Anzucht und Kultur erfolgen, die allen produktionstechnischen Ansprüchen des modernen Gartenbaus gerecht wird.

Die besondere Wirkung von UV-Lichtbanden konnte in verschiedenen Versuchen nachgewiesen werden. Neben der qualitativen Wirkung konnten auch inhaltstoffliche Wirkungsweisen nachgewiesen werden. Als besondere Wirkung muss die hemmende Wirkung auf die Ausbreitung von Falschen Mehltau Pilzen betrachtet werden. Diese konnte durch die HU nachgewiesen werden. Diese nicht nur die Qualität beeinträchtigenden Pilze können bis zum Totalverlust einer Kultur beitragen und sind insbesondere in der ökologischen Topfkräuterproduktion ein besonderes Problem. Durch den Nachweis der Wirksamkeit können aufbauend auf den erzielten Ergebnissen neue lichtbasierte Eindämmungs- und Bekämpfungsstrategien entwickelt werden, die eine sichere Kulturführung auch im ökologischen Gartenbau ermöglichen.

Die als besonders deckungsbeitragsstarke Kultur von *Eutrema japonicum* (Wasabi) musste aufgrund einer besonders schwierigen Vermehrung, trotz des besonderen gartenbaulichen Werts für die Region, eingestellt werden. Für diese Kultur konnten entgegen der eigentlichen Planung keine Ergebnisse generiert werden.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Wie sich über alle durchgeführten Versuche gezeigt hat, ist das Potential einer zusätzlichen Belichtung mittels LED-Systemen im Bereich der Qualitätsverbesserung und der Erzielung früherer Vermarktungstermine besonders groß. Einen besonderen Anteil hieran trägt das verbesserte Spektrum, dass sich im Bereich der Verbesserung des Tageslichtintegrals vor allem im Bereich des Einsatzes des Sonnenlichtspektrums und der Nutzung von UV-Wellenlängen als förderlich herausgestellt hat. Auf diese Weise lassen sich Verluste, die durch die Eindeckung des genutzten Gewächshauses, die Bauart desselben oder auch durch Fremdbeschattungen, bspw. durch andere Gebäude oder schattenwerfende Bäume, ganzjährig ausgleichen und eine überdurchschnittliche Assimilationsleistung der Pflanzen erzielen, die zu einer Verfrühung bei niedrigeren Energiekosten führt. Spezifische spektrumsbezogene bzw. wellenlängenspezifische Wirkungen konnten mittels des Einsatzes der LED-Belichtungssystem-Funktionsmuster mit vollständiger wellenlängenspezifischer Steuerung nachgewiesen werden. Es gelang die Kulturen qualitativ zu verbessern ohne auf weitere Wachstumsfaktoren einzuwirken. Damit ist eine klare Wirkungsbeziehung zwischen verbessertem Lichtrezept und Qualität der produzierten Kulturen nachgewiesen worden. Zusätzlich konnten zielführende Lösungen für den Einsatz von LED-Belichtung auch unter besonders heißen Bedingungen in den Gewächshäusern aufgezeigt werden. Die Tests der vertikalen Anbausysteme waren ebenso erfolgreich, wie die Tests der horizontalen Belichtungssysteme. Die technische Integration gelang aufgrund der angepassten Abmessungen der vertikalen Anbausysteme. Obwohl die Produktion der untersuchten Kulturpflanzen in den Regalsystemen gelang, ist die Verwendung in der Produktion von Jungpflanzen oder die Kultur besonderer Varietäten für den Gartenbau zielführender. Der Stellflächengewinn lässt sich auf diese Weise effektiver nutzen und eine Diversifizierung des Produktportfolios hin zu differenzierten Angeboten erreichen.

5.3 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Zusammenfassend kann die Wirksamkeit von verbesserten Lichtrezepten als nachgewiesen und empfehlenswert betrachtet werden und dies über alle getesteten Kulturen. Für manche

Kulturen hat sich, insbesondere im Herbst/Winter, der Einsatz einer verbesserten Assimilationsbelichtung mittels Sonnenlichtspektrum als umfangreich qualitätssteigernd herausgestellt, so dass diese besondere Vorgehensweise mittels verbessertem Spektrum zwischen 400 – 700 nm Wellenlänge verstärkt untersucht wurde. Parallel wurden Lösungen für die Kühlung der LED-Systeme entwickelt und erprobt. Zusätzlich konnte ein System zur photometrischen Vermessung/Bonitur erprobt werden, um eine zukünftig stark vereinfachte metrische Auswertung mit Versuchen größerer Umfänge und der innerbetrieblichen Qualitätskontrolle zu ermöglichen.

5.4 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen

Ziel der Europäischen Innovationspartnerschaft "Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft" (EIP Agri) ist die Weiterentwicklung der Landwirtschaft bei verbessertem Umwelt- und Ressourcenschutz. Im Projekt „Led 4 Plant“ bezog sich die Innovationsleistung auf den Brandenburger Gartenbau und die Lösung der spezifischen Problematik eines vorherrschend ungünstigen Klimas in Kombination mit einem Lichtmangel über eine lange Phase der konkurrenzfähigen Produktionszeit des regionalen Gartenbaus. Durch den Einsatz der nachweislich energiesparenden LED-Belichtungstechnologie und den Einsatz spezifischer Lichtrezepte sowie der Erprobung vertikaler Anbausysteme gelang die Validierung über eine Vielzahl verschiedener ökonomisch wichtiger Kulturen und das der Einsatz, dieser regionalen innovativen Technologie, eine starke Verbesserung der Qualität der Produkte ermöglicht ohne die vorhandene Diversität der regionalen Produkte zu gefährden oder einzuschränken, sondern diese sogar dauerhaft zu erhöhen. Gleichzeitig konnte durch die gezielte Applikation von ultravioletten Lichtspektrern das Potential der LED-Technologie im Gartenbau zur Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln aufgezeigt werden. Die qualitätserhöhende und verfrühende Wirkung auf zahlreiche Zierpflanzenkulturen konnte aufgezeigt werden, so dass bei Einsatz der neuentwickelten Technologien im regionalen Gartenbau eine Konkurrenzfähigkeit gegenüber weittransportierten Waren erreicht wird.

5.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Durch die Breite der während der Projektlaufzeit durchgeführten Versuche, die sowohl die Kräuter-, Exoten- und Zierpflanzenproduktion umfassten als auch spezifische Fragen der Phytopathogenese von Schaderregern bzw. deren Bekämpfung beantworteten, konnte für die Praxis des regionalen Gartenbaus ein breites Erfahrungsprofil im Hinblick auf die Verwendung und den Einsatz von LED-Belichtungssystemen und die damit verbundenen Lichtrezepte erarbeitet werden. Gleichzeitig ist mit der Evaluation des Sonnenlichtspektrums auf LED-Basis ein innovatives Produkt entwickelt worden, dass durch seine breite Anwendbarkeit im Gartenbau und seine regionale Herstellung durch die FUTURELED GmbH nun dem Brandenburger Gartenbau als optimale Assimilationsbelichtung zur Verfügung steht. Die Sonnenlicht-LED-Belichtung wird ebenso, wie anpassbare LED-Belichtung mit Abschluss des Projekts aktiv in der Region vermarktet.

Die Bekämpfung des Falschen Mehltaus (*P. belahrii*) im Basilikum gelingt durch den Einsatz von UV-LED und stellt eine neue umweltverträgliche, proaktive Bekämpfungsstrategie des

pilzlichen Erregers dar, der zuvor vollständige Ernten gefährdet hat. Die HU setzt ihre Forschung mit LED-Systemen der FUTURELED GmbH, die für diesen Einsatz entsprechend angepasst wurden.

Mit Abschluss des Projekts konnte noch keine Anwendung in einem Brandenburger Unternehmen dauerhaft realisiert werden. Das Interesse an der Technologie einzelwellenlängenaufgelöster und steuerbarer LED-Systeme wird insbesondere von wissenschaftlichen Einrichtungen nachgefragt. Das Potential sonnenlichtemittierender Belichtungssysteme ist deutlich breiter und eine Anwendung wird durch verschiedene produzierende Unternehmen in Deutschland angestrebt.

5.6 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die Entwicklung der Funktionsmuster, sowohl der LED-Belichtungssysteme als auch der vertikalen Anbausysteme mit Belichtung und automatisierter Bewässerung, war an unterschiedlichen Stellen besonderen Herausforderungen ausgesetzt, die u.a. von Lieferengpässen in der Zulieferung als auch durch die außergewöhnlich warmen Jahre bedingt war. Durch das Zusammenwirken der OG-Partner konnten allerdings alle Hürden genommen werden.

Die in der Projektplanung definierten Ziele konnten erfolgreich erreicht werden. Bis auf eine Kultur (Abschnitt 4.1.5.4 Vergleich verschiedener Belichtungsregime mittels LED-Belichtung an Wasabi) konnten alle Kulturen wissenschaftlichen Tests mit verbessertem Spektrum unterzogen werden. Zusätzlich konnten die vertikalen Anbausysteme erfolgreich getestet werden.

Nicht erreicht werden konnte eine permanente Aufrechterhaltung der Dissemination der Ergebnisse des Vorhabens. Neben den umfangreich erzeugten wissenschaftlichen Ergebnissen konnten die geplanten Workshops zur Erläuterung der im Vorhaben erreichten Ergebnisse aufgrund der ausbrechenden Corona-Pandemie 2020 nicht umgesetzt werden. Der Projektplan umfasste keinen Pandemieplan, der das Auftreten einer eingeschränkten Dissemination zu gelassen hätte.

5.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

Die wissenschaftliche Fortführung lichtspezifischer Versuche wird sowohl an der HU als auch am JKI fortgeführt werden. Die HU verfügt bereits über ein umfangreiches Set-up von verschiedenen lichttechnischen Systemen mit denen die physiologischen Versuche fortgeführt werden sollen. Insbesondere die Wirkung ultravioletten Lichts wird ein wichtiger Teil der Forschung von Frau Dr. Mewis am Fachgebiet Biosystemtechnik der HU bleiben, denn neben den phytopathologischen Wirkmechanismen sind sekundärmetabolitanreichernde Effekte wichtiger Teil der zukünftigen Forschung. Das JKI Berlin ist als Institut für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz in besonderer Mitwirkung der Forschung an Arzneipflanzen und wird zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Arzneipflanzenbaus seine Forschung im Bereich photophysilogischer Wirkungen fortführen. In den Gartenbauwissenschaften wird in der nächsten Dekade kein Weg an photophysilogischen Untersuchungen

vorbeiführen, so dass auch die FUTURELED GmbH mit der Weiterentwicklung der Funktionsmuster zu Serienmodellen insbesondere im Bereich des wissenschaftsgetriebenen Bedarfs einen Markt bedienen möchte. Die entwickelten Mehrebenensysteme sind in Deutschland einzigartig und adressieren ebenfalls vor allem die Wissenschaft. Alle beteiligten Forschungseinrichtungen konnten diese als geeignet für die Erhöhung der Versuchsgliedzahl auf gleicher Fläche einstufen, so dass auch hierin ein Marktpotential identifiziert wurde, das zukünftig bedient werden soll.

Der Übertrag in die gartenbauliche Praxis ist mit besonderen Herausforderungen verbunden, weil zunächst ein Verständnis für die neue Technologie hergestellt werden muss. Insbesondere die Wirkung von spezifischen Lichtrezepten setzt eine umfangreiche Kommunikation der Vorteile voraus, um eine Akzeptanz zu erzeugen. Der besonderen Wirkung kulturspezifischer Lichtrezepte müssen die Mehrkosten, die mit einer zu Lichtrezepten befähigten LED-Belichtungsanlage verbunden sind, entgegengehalten werden, die sich für viele kleine Betriebe nur bedingt darstellen lassen.

6 Zusammenarbeit der operationellen Gruppe

Die Aufstellung der OG wurde durch frühe Beteiligung der Lenné-Akademie erreicht, die sich in der initialen Phase des Projekts, um die Beteiligung eines breiten Betriebsbilds bemühte. Nach Abschluss der Konsolidierungsphase der OG konnte eine die verschiedenen Produktionsbereiche umfassende und umfänglich wissenschaftlich aufgestellte OG gegründet werden, die eine repräsentative Gruppe des Brandenburger Gartenbaus darstellte. Als Lead-Partner wurde die FUTURELED GmbH durch die OG-Partner bestimmt, welche den größten Teil der technischen Innovation und der Projektkoordination sicherstellte.

Aufgrund der Diversität und Interdisziplinarität der OG mit einem hohen Anteil von KMU, großen öffentlichen Einrichtungen, wie der HU, dem Bundesforschungsinstitut JKI, sowie einem optoelektronischen Unternehmen, wie der FUTURELED GmbH im Lead, musste mit Beginn des Projekts ein Projektmanagementsystem etabliert werden, das sowohl der Diversität als auch der Innovationshöhe des Projekts gerecht wurde und dabei durchlässig genug war, um das innovative Potential aller beteiligten Akteure sicherzustellen. Der herausfordernden Aufgabe stellte sich das Projektmanagement mittels progressiver Elaboration, bei der der Plan kontinuierlich und ständig modifiziert, detailliert und verbessert wurde. Dies führte schnell zu Erfolgen trotz besonderer Probleme in der Zulieferung von technischen Bauteilen. Der spezifische Entwicklungsauftrag war die Schaffung eines betrieblich leicht zu integrierenden, 7 Wellenlängen einzeln steuerbaren und programmierbaren Funktionsmusters, das moderne gartenbauwissenschaftliche Forschung erlaubte und dabei Wellenlängen integrierte, die bisher nicht am Markt verfügbar waren, wie die realisierten ultravioletten Wellenlängen. Die Abstimmung der Durchführung der geplanten Versuche war dabei nicht nur zwischen den wissenschaftlichen Partnern notwendig, sondern auch zwischen den beteiligten Praxis-Partnern der OG. Trotz des planerischen Mehraufwands und häufiger, teils spontaner Absprachen, kann das Format der OG als gelungen betrachtet werden, konnten doch auf diese Weise Versuche mit einem kombinierten Mehrwert aus wissenschaftlichem Anspruch und der Ableitung praxis-

relevanter Erkenntnisse gewonnen werden. Dennoch waren, insbesondere in der Versuchsdurchführung, teils umfangreiche koordinative Herausforderungen zu lösen. Als ursächlich sind hier die Unterschiede in der gartenbautechnischen Ausstattung der verschiedenen großen und ausgestatteten Betriebe zu nennen. In Teilen musste deshalb von der ursprünglichen Planung abgewichen werden, um die Versuche dennoch realisieren zu können. Nur durch die enge Zusammenarbeit der OG-Partner konnten diese, teils logistischen, teils durch die technische Ausstattung bedingten Probleme erfolgreich überwunden werden. Hervorzuheben ist hierbei vor allem die planerische Flexibilität aller versuchsbeteiligten OG-Partner, die eine fehlerfrei Kompensation ermöglichte und die durch die rechtzeitige Meldung von Problemen und das gegenseitige Verständnis für die Gegebenheiten des jeweils anderen OG-Partners eine tatsächliche Zusammenarbeit nach dem Prinzip des Bottom-up ermöglichte. Beispielhaft hierfür war die Kooperation der wissenschaftlichen Partner der HU und des JKI, die eine Aufteilung der analytischen Kapazitäten ermöglichte, oder auch die Zurverfügungstellung von Versuchsraum durch den Praxispartner Hoffnungstaler Werkstätten gegenüber dem Betrieb Oderbruch Müller zur Durchführung von Basilikum-Versuchen. Es war diese gegenseitige, flexible Unterstützung, die die OG trotz herausfordernder Probleme, die u.a. durch die überdurchschnittlich warmen Sommer 2018 und 2019 verursacht wurden, erfolgreich machten.

Eine zukünftige Kooperation ist zwischen den wissenschaftlichen Partnern HU und JKI sowie der FUTURELED vorgesehen, in der es um die technische Unterstützung weiterer Belichtungsversuche gehen wird. Verschiedene Vorhaben und Planungen sind hier bereits auf den Weg gebracht. Überdies werden die FUTURELED und die Hoffnungsthaler Werkstätten ihre Kooperation fortsetzen. Die Kooperation mit dem EIP-Projekt „Trees4Streets“ wurde im Rahmen verschiedener Anknüpfungspunkte wiederholt angestrebt. Allerdings konnten die zunächst als Anknüpfungspunkte identifizierten Themen nicht belastet werden, so dass sich hier keine Zusammenarbeit ergab. Kooperationen mit anderen OGs ergaben sich aufgrund des spezifischen Vorhabens und dem starken gartenbaulichen Bezug der entwickelten Anwendungen nicht.

7 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Im Mittelpunkt des Kommunikations- und Disseminationskonzepts der OG standen die technischen Entwicklungsarbeiten, die durch eine gartenbauliche Prozessanwendbarkeit der Versuchsdurchführenden Betriebe und Einrichtungen, die Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse sicherstellen sollten. Durch die Parallelität von Entwicklung, technischer Umsetzung und Generierung validierter Erfolge musste die Dissemination der innovativen Leistungen des Vorhabens sukzessive erfolgen. Die Verwend- und Nutzbarkeit, ohne umfangreiche Änderungen der gartenbaulichen Produktionsprozesse standen dabei ebenso im Mittelpunkt, wie die, mit der Anwendung erzielten Vorteile, für die Produktion gärtnerischer Kulturen in Brandenburg. Beispielhaft ist die gezielte Entwicklung eines Funktionsmusters, das als Nachrüstsatz für die weit verbreitete HPS-Belichtung fungiert und aufgrund ähnlicher Abmessungen und Gewichte, die Einführung und/oder den Wechsel auf eine LED-Belichtung in gärtnerischen Betrieben problemlos ermöglicht. Die Präsentation der entwickelten Funktionsmuster in den Ausbildungsgewächshäusern der Lehranstalt für Gartenbau und Floristik e.V. (LAGF) erlaubte den

Auszubildenden einen Einblick in die neue Technologie. Gleichzeitig konnte die einfache Integration der LED-Systeme in eine weitere Produktionsstätte außerhalb der OG nachgewiesen werden. Durch die Sicherstellung der Kompatibilität mit dem genutzten Stand der Technik im Bereich der Gewächshaustechnik gelang die Versuchsdurchführung in den technisch verschieden ausgestatteten Betrieben. Im Ergebnis konnte die Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse sichergestellt und präsentiert werden. Als weiterer wichtiger Meilenstein des Disseminationskonzepts muss die Evaluierung und Etablierung der vertikalen Mehrebenenbausysteme angesehen werden, die möglich wurde, weil durch Aufgreifen bestehender gartenbaulicher Standards, wie dem europaweit etablierten CC-Container-Formats, eine breitere Anwendung in den Betrieben ermöglicht wurde. Auf diese Weise konnten die erzielten technischen Innovationen in Anwendung präsentiert werden und die Übertragbarkeit direkt veranschaulicht werden. Beispielhaft für dieses Konzept der Nutzbarkeit ist die direkte Beachtung der Wegbreiten in modernen Gewächshausanlagen, die auf den Transport der pflanzlichen Waren mit CC-Containern zu geschnitten sind; gleichzeitig kann das Außenmaß eine Aufstellung in Lagerbereichen ermöglichen, so dass eine Anwendung sichergestellt ist, ohne dass umfangreiche technische Anpassungen vorgenommen werden müssen. Hierdurch konnten die laufenden Innovationen einem interessierten Publikum und Fachpublikum im Rahmen der Tage der Offenen Tür in den Hoffungstaler Werkstätten und im Rahmen einer institutsinternen Veranstaltung des JKI präsentiert werden. Die HU präsentierte Ihre laufenden Versuche den Ministerialmitarbeitern des brandenburgischen MLUL. Adressiert wurden sowohl die Praxis als auch die Wissenschaft, denn durch die erfolgreiche Entwicklung eines multispektralsteuerbaren LED-Belichtungssystems konnten sowohl wissenschaftliche Einrichtungen als auch Praxisbetriebe adressiert werden. Durch das angepasste auf bestehenden Normen aufbauende Design der verwendeten Versuchsmuster, waren viele der präsentierten Anwendungsfälle bezüglich der Integration selbsterklärend. Vor allem wurde die bestehende Prozessintegrationshürde für die Praxis reduziert, weil sich die Integrationsfrage auf die Prozesssteuerung reduzierte und keine (bau-)technischen Anpassungen notwendig sind. Alle Gespräche konnten gezielt geführt werden und die Betonung der Ergebnisse war entscheidend. Insbesondere für Betriebe mit kleinen Flächen konnte dargestellt werden, wie sich innovative Prozesse in die Produktion integrieren lassen.

Obwohl Wege der technischen Integration und der Senkung von Kosten aufgezeigt wurden, stieß das Disseminationskonzept insbesondere in der Praxis auf Grenzen. Die Zurückhaltung in der Adaption solcher Prozesse ist wahrscheinlich auf die Komplexität der verwendbaren „Lichtrezepte“ zurückzuführen. Einem breiten wissenschaftlichen Auditorium wurde durch die Ausstellung und Ergebnispräsentation auf der *2nd International Plant Spectroscopy Conference* (IPSC) 2019 in Berlin ein Ausblick ermöglicht. Eine weitere Präsentation der Ergebnisse erfolgte bei der Deutschen Saatgutveredelung AG in Zusammenarbeit des JKI und der FUTURELED. Das Feedback aus der Wissenschaftscommunity stellte sich insgesamt als deutlich umfangreicher dar, als aus der anwendenden Praxis. Um diesen Sachstand aufzulösen sollten im April/Mai bei Vorlage umfangreicherer wissenschaftlicher Ergebnisse und mit Erstellung der Praxisleitfäden zwei Workshops für die Kräuter- und Zierpflanzenproduktion veranstaltet werden in die die Praxispartner der OG mit eingebunden worden wären, die aber

aufgrund der Corona-Krise nicht durchgeführt werden konnten. Die anstatt angebotenen Online-Seminare wurden nicht oder nur begrenzt wahrgenommen. Im Bereich der gartenbaulichen Praxis werden Online-Seminare bisher nur wenig genutzt und wenig angenommen.

8 Literaturverzeichnis

ALBRIGHT, L. D.; BOTH, A.-J.; CHIU, A. J. Controlling greenhouse light to a consistent daily integral. *Transactions of the ASAE*, 2000, 43. Jg., Nr. 2, S. 421.

MASSA, G. D., et al. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 2008, 43. Jg., Nr. 7, S. 1951-1956.

VAN IEPEREN, W.; TROUWBORST, G. The application of LEDs as assimilation light source in greenhouse horticulture: a simulation study. In: *International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007* 801. 2007. S. 1407-1414.

Innovative LED-Systeme für eine qualitativ hochwertige und ganzjährige Gewächshausproduktion in Berlin/Brandenburg

LED 4 Plant

Zuwendungsempfänger: FUTURLED GmbH, Holzhauser Straße, 139, 13509 Berlin, Arnold, Oliver, CEO, 030 57708920, o.arnold@futureled.de, www.futureled.de .

Projektkoordination: FUTURLED GmbH, Holzhauser Straße, 139, 13509 Berlin, Arnold, Oliver, CEO, 030 57708920, o.arnold@futureled.de, www.futureled.de .

Mitglieder der Operationellen Gruppe und assoziierte Partner:
Julius Kühn-Institut Berlin, Prof. Schulz, Hartwig; Tabbert, Jenny
Humboldt-Universität zu Berlin, Dr. Mewis, Inga; Müller, Marcus
Hoffnungsthaler Werkstätten gGmbH, Böttcher, Markus; Dallgow, Toni
Oderbruch Müller, Müller, Sebastian
Landwirtschaftsbetrieb Wandke (Kräuterlounge), Wandke, Christine
Lenné-Akademie e.V., Pluta, Hans-Jürgen

Projektlaufzeit – 31.12.2016 – 31.07.2020

Budget – 1.102.661,49 €

21.10.2020

Arnold, Franke, Prof. Dr. Schulz, Dr. Mewis



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raums



Inhaltsverzeichnis

1	LED-Belichtungssysteme	1
1.1	Wie sehen die funktionsfähigen Prototypen der LED-Belichtungssysteme aus (Bauplan/Zeichnung) und was zeichnet sie aus?	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.2	Entwicklung und Funktionen.....	1
1.3	Bauplan der LED-Funktionsmuster.....	2
1.4	Fotografische Dokumentation der Entwicklung der Funktionsmuster.....	3
2	Mehrebenenkultivierungssystem	4
2.1	Fotografische Dokumentation der Mehrebenenkultivierungssysteme	6
2.2	Entwicklung und Funktionen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
3	Kosten-Nutzen-Analyse	7
4	Ergebnisse der Untersuchung von <i>Mentha x piperita</i>	7
5	Online-Seminare.....	7
6	Seminar-Unterlagen	7
7	Demonstrationsflächen.....	8
8	Übertragbarkeit	9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Explosionszeichnung Funktionsmuster LED-Belichtung.....	2
Abbildung 2: Konstruktionsteil Ausschnitt Definitionsgrundlage	4
Abbildung 3: Mehrebenenkultivierungssystem - Entwässerung	5
Abbildung 4: Tankwagen CAD-Entwicklungszeichnung.....	5
Abbildung 5: Tankwagen CAD-Simulation	6
Abbildung 6: Mehrebenenkultivierungssystem Darstellung Magentventile.....	6
Abbildung 7: Teststand der FUTURLED im Lichtfunktionstest mit Tomaten	8
Abbildung 8: Teststand mit SUNtech-Spektrum am Beispiel Tomate.....	9

1 LED-Belichtungssysteme

1.1 Entwicklung und Funktionen

Die funktionsfähigen Prototypen, die im Rahmen des EIP-Projekts LED 4 Plants AP 2a „*Horizontale LED-System*“ durch die FUTURELED entwickelt wurden zeichnen sich durch eine umfassende Kompatibilität mit der im Gartenbau verwendeten Technik aus. Dabei wurden zwei wichtige Anpassungskriterien identifiziert.

Zum einen die Kompatibilität mit der im Gartenbau in den Gewächshäusern möglichen technischen Eigenschaften und der sinnvollen Einbringung in diese, ohne das technische Anpassungen vorgenommen werden müssen. Hierzu wurden maximale Gewichte eines Belichtungssystems bestimmt, so wie maximale Anschlussleistungen. Des Weiteren Belastungen im Gartenbau ermittelt, die in anderen Beleuchtungsszenarien nicht auftreten. Hier war vor allem eine hohe Staub- und Nässetoleranz zu realisieren. Die entwickelten Funktionsmuster mussten daher nach IP65 staub- und feuchtigkeitsgeschützt werden. Auf diese Weise wurde die sichere Einbringung in die Gewächshäuser (GWH) und die Integration in die GWH-Technik realisiert.

Des Weiteren mussten die entwickelten Funktionsmuster den Ansprüchen der Wissenschaftler und der gärtnerischen Fachkräfte hinsichtlich der physiologischen Wirkung der Belichtung gerecht werden. Maßgeblich waren für die FUTURELED hierin vor allem die wissenschaftlichen Partner deren Publikationsfähigkeit gesichert werden sollte. Das erste Funktionsmustersystem wurde deshalb auf das Emittieren von 8 verschiedenen Wellenlängen ausgelegt, so dass unterschiedlichste Lichtszenarien simuliert werden konnten. Als wichtige Besonderheit ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung einer umfassenden Steuerungssoftware durch die FUTURELED zu nennen, die die exakte Ansteuerung und Programmierung verschiedener Lichtszenarien ermöglichte. Darüber hinaus ist in den Gesprächen mit den Praxispartnern der OG die Frage nach einer einfach nutzbareren Assimilationsbelichtung

Die FUTURELED führte umfassende Tests der technischen Eigenschaften durch, hierzu wurde u.a. ein Teststand aufgebaut, der die Verwendung im Gewächshaus entsprechend verschiedener Parameter simulieren konnte.

1.2 Bauplan der LED-Funktionsmuster

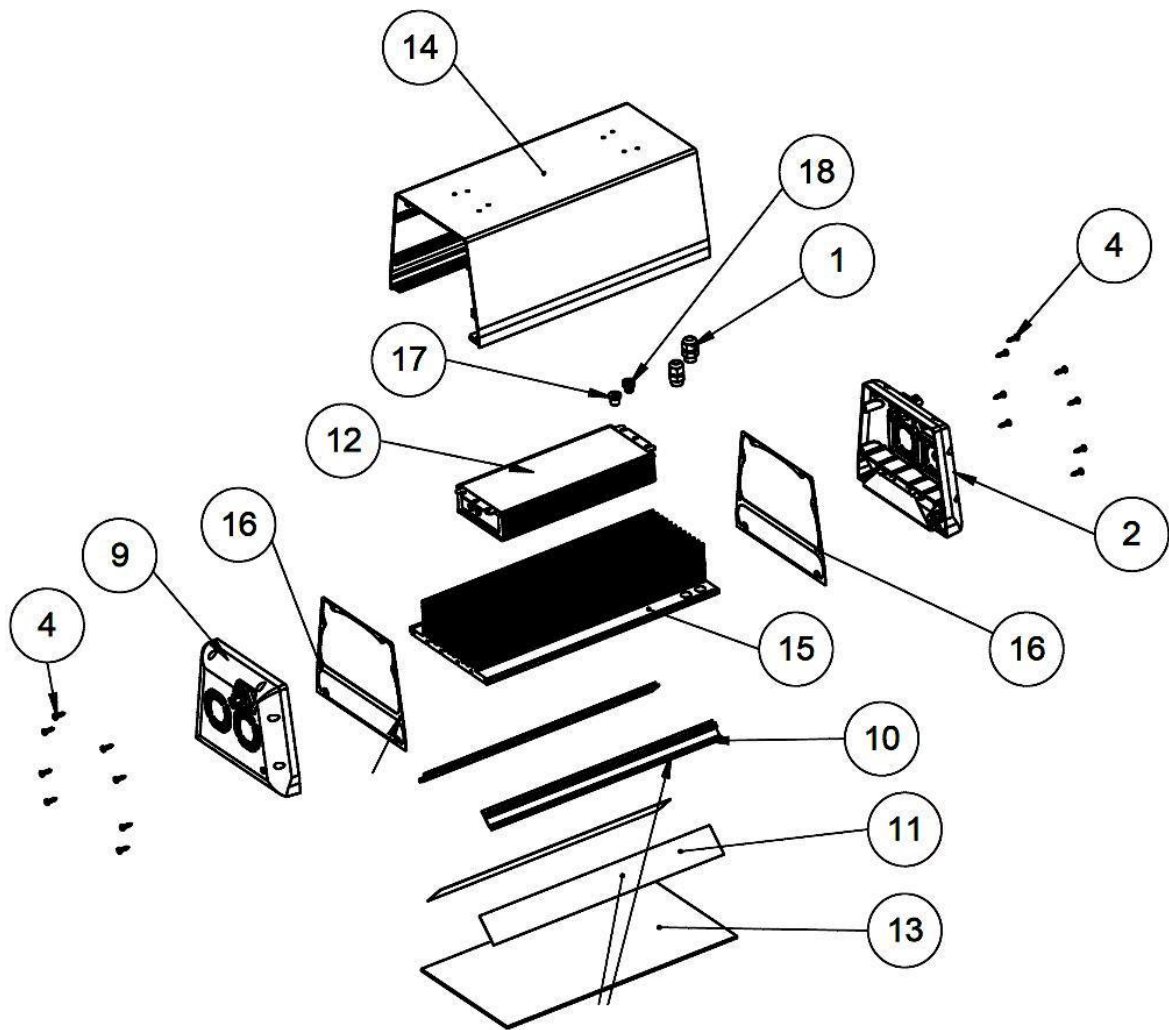


Abbildung 1: Explosionszeichnung Funktionsmuster LED-Beleuchtung

1.3 Fotografische Dokumentation der Entwicklung der Funktionsmuster



2 Mehrebenenkultivierungssystem

Das Mehrebenenkultivierungssystem ist auf Basis des gewonnenen Erfahrungsschatzes des laufenden Projekts entstanden. Mit der Entwicklung der Mehrebenenkultivierungssysteme mit LED-Belichtung und automatisierter Bewässerung wurde folglich später im Projekt begonnen. Die FUTURELED ist als Unternehmen auf die Entwicklung von Belichtungs- und Beleuchtungssystemen auf Basis spezieller LED-Technologie spezialisiert, so dass das erweiterte Anforderungsprofil mit der Entwicklung der Funktionsmuster zunächst durch hausinterne Testfälle evaluiert werden musste. Die dabei generierten Lessons Learned wurden genutzt, um eine technische Kompatibilität mit allen OG-Partnern herzustellen. In der Folge finden Sie Beispiele dieses Konstruktionswegs.

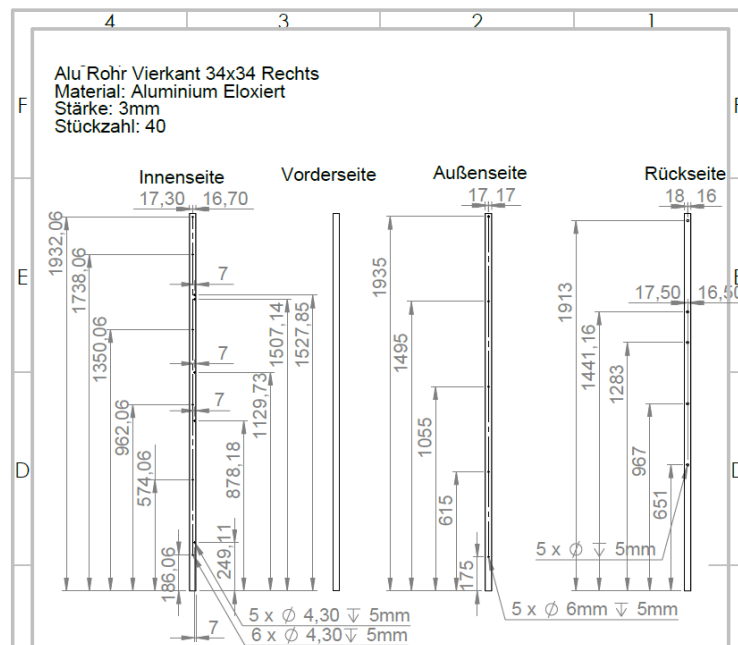


Abbildung 2: Konstruktionsteil Ausschnitt Definitionsgrundlage

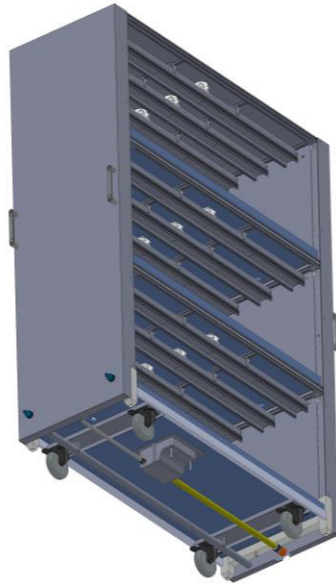


Abbildung 3: Mehrebenenkultivierungssystem - Entwässerung

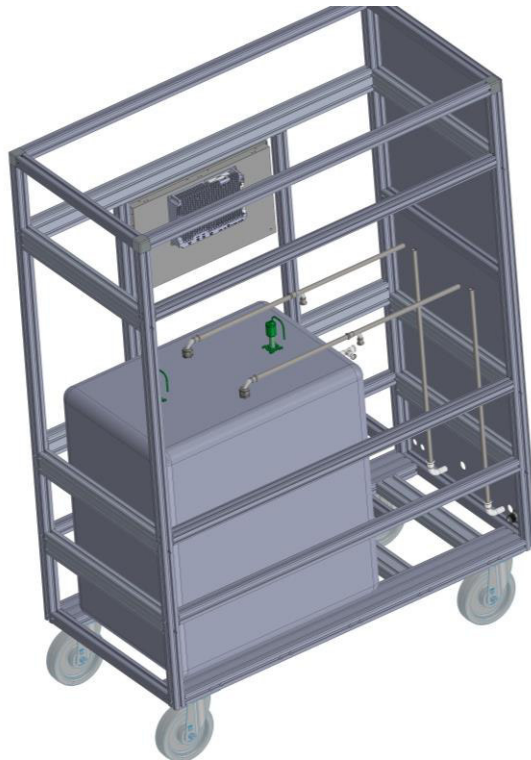


Abbildung 4: Tankwagen CAD-Entwicklungszeichnung

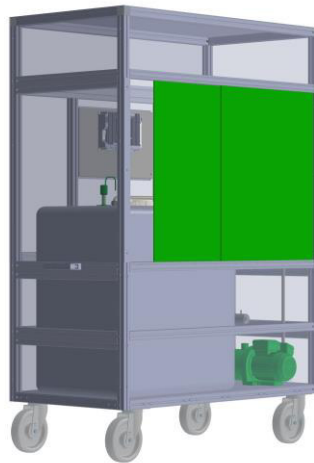


Abbildung 5: Tankwagen CAD-Simulation

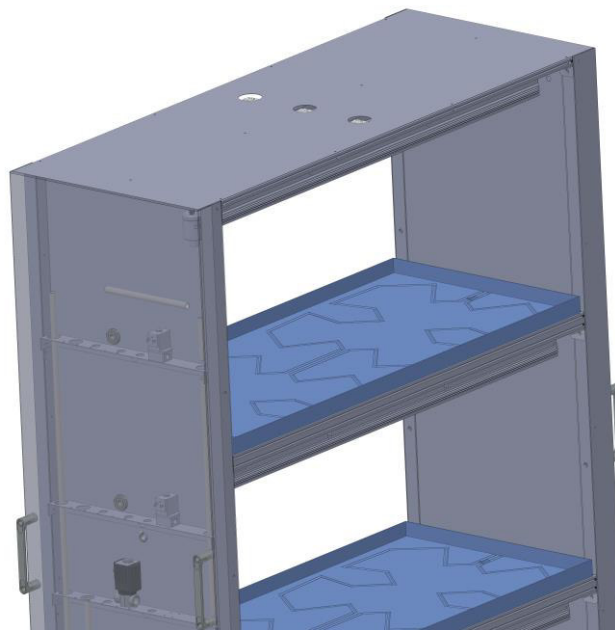


Abbildung 6: Mehrebenenkultivierungssystem Darstellung Magentventile

2.1 Fotografische Dokumentation der Mehrebenenkultivierungssysteme





3 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analysen sind im Rahmen der einzelnen Versuchsdurchführungen miteingefasst worden und liegen der FUTURELED im Moment nicht vor. Die Erfassung der Betriebsdaten oblag den wissenschaftlichen Partnern, die diese in ihre „Practice abstracts“ einfließen ließen.

Die FUTURELED hat die OG-Partner dazu aufgefordert alle „Practice abstracts“ in letzter Fassung an die FUTURELED zu übermitteln.

4 Ergebnisse der Untersuchung von *Mentha x piperita*

Die Ergebnisse lagen während der Berichtserstellung seitens des OG-Partners Julius Kühn-Institut Berlin noch nicht in berichtsfähiger Form vor und werden nachgereicht.

5 Online-Seminare

Die Online-Seminare wurden auf der Webseite der FUTURELED als spezifische Seminare der Erfahrungen aus dem EIP--Projekt angeboten und durch den OG-Partner Julius Kühn-Institut Berlin ebenfalls auf der OG-Webseite präsentiert. Die Anfragen wurden durch telefonische Vereinbarung terminiert und durch verschiedene Mitarbeiter der FUTURELED und den OG-Partnern in einem Online-Seminar dargestellt. Keine der durchgeführten Online-Seminare beinhaltet eine Zustimmung nach DSGVO und es wurden keine Teilnehmerlisten erstellt. Leider war der Zuspruch zu den Seminaren nicht von großem Umfang.

6 Seminar-Unterlagen

Einen umfassenden Überblick über die von der FUTURELED erstellten Seminar-Unterlagen zu Verwendung und Einsatz einer LED-Belichtung im Gartenbau zur Erzielung verbesserter Erträge wurde diesem Schreiben beigelegt und den Seminar-Teilnehmern im Anschluss per PDF zur Verfügung gestellt.

Das angehängte Dokument umfasst alle belichtungsrelevanten Daten für zahlreiche Kulturen des Gartenbaus.

7 Demonstrationsflächen

Ständige Demonstrationsflächen wurden im Rahmen des Projekts ausschließlich von der FUTURELED betrieben. Hierfür wurde ein Teststand, dass für die Funktionsmustererprobung entwickelt wurde genutzt und im Ausstellungsraum der FUTURELED mit verschiedenen beispielhaften Kulturen betrieben.

Die permanente Ausstellung der FUTURELED wurde unter anderem in die didaktischen Konzepte der verschiedenen gelaufenen Veranstaltungen der Humboldt-Universität zu Berlin eingebunden.

Alle von der OG wahrgenommenen öffentlichen Auftritte wurden mit Ausstellungsstücken der verwendeten Technik und wenn möglich im Rahmen des Projekts kultivierten Pflanzen präsentiert. Beispielhaft sind die „Tage der Offenen Tür“ durch die OG-Partner.



Abbildung 7: Teststand der FUTURLED im Lichtfunktionstest mit Tomaten



Abbildung 8: Teststand mit SUNtech-Spektrum am Beispiel Tomate

8 Übertragbarkeit

In umfassenden Testfällen erprobte die FUTURELED den Einsatz der Belichtungssysteme an unterschiedlichen Kulturen, zu diesen zählten u.a. verschiedene Salat-Varietäten, Tomaten (wie in Abb. 7 & 8 dokumentiert) und Kräuter. Diese Versuche erfolgten ausschließlich zur Erfahrungssteigerung der Mitarbeiter der FUTURELED im Umgang mit Belichtungssystemen für gartenbauliche Anwendungen. Die Übertragbarkeit war aus diesen Ergebnissen sicherlich gegeben. Aus den im Abschlussbericht dargelegten Gründen konzentrierte sich die FUTURELED dabei vor allem auf die entwickelten Assimilationsbelichtungssysteme, die in gemeinsamer Einschätzung mit den Praxispartnern der OG auch auf andere Kulturen übertragen werden können. Für eine ökonomische Einschätzung eines Brandenburger Ingwer-Anbaus unter Assimilationsbelichtung liegen keine ausreichenden Daten vor.

Innovative LED-Systeme für eine qualitativ hochwertige und ganzjährige Gewächshausproduktion in Berlin/Brandenburg

LED 4 Plant

Zuwendungsempfänger: FUTURLED GmbH, Holzhauser Straße, 139, 13509 Berlin, Arnold, Oliver, CEO, 030 57708920, o.arnold@futureled.de, www.futureled.de .

Projektkoordination: FUTURLED GmbH, Holzhauser Straße, 139, 13509 Berlin, Arnold, Oliver, CEO, 030 57708920, o.arnold@futureled.de, www.futureled.de .

Mitglieder der Operationellen Gruppe und assoziierte Partner:
Julius Kühn-Institut Berlin, Prof. Schulz, Hartwig; Tabbert, Jenny
Humboldt-Universität zu Berlin, Dr. Mewis, Inga; Müller, Marcus
Hoffnungsthaler Werkstätten gGmbH, Böttcher, Markus; Dallgow, Toni
Oderbruch Müller, Müller, Sebastian
Landwirtschaftsbetrieb Wandke (Kräuterlounge), Wandke, Christine
Lenné-Akademie e.V., Pluta, Hans-Jürgen

Projektlaufzeit – 31.12.2016 – 31.07.2020

Budget – 1.102.661,49 €

21.10.2020

Arnold, Franke, Prof. Dr. Schulz, Dr. Mewis



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raums



Inhaltsverzeichnis

1	Kosten-Nutzen-Analyse	2
1.1	Erfahrungen im OG-Betrieb Hoffnungstaler Werkstätten	2
1.2	TASPO-Artikel der Humboldt-Universität zu Berlin	3
1.2.1	Einleitung	3
1.2.2	Ergebnisse	3
1.2.3	Empfehlungen für die Praxis	4
1.3	Kosten-Nutzen-effektive Erkenntnisse in der Kräuter-Produktion (JKI)	5
1.3.1	Kosten-Nutzen-Betrachtung für <i>Ocimum basilicum</i> (Basilikum)	5
1.3.2	Kosten-Nutzen-Betrachtung für <i>Thymus vulgaris</i>	6
1.4	Kosten-Nutzen-Rechnung der FUTURELED GmbH	7

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Energiekosten-Berechnung Basilikum JKI	6
Abbildung 2:	Stromverbrauch und Effizienz im Rahmen Thymian-Versuch	7
Abbildung 3:	Kostenbewertung LED-Assimilationsbelichtung	1

1 Kosten-Nutzen-Analyse

Im Rahmen des Arbeitspaketes 7 (AP) „*Praxistest der Betriebe auf Rentabilität mit den LED-Lichtsystemen*“ wurde entlang der durchgeführten Versuche bei den Praxispartnern eine Rentabilitätsanalyse der eingesetzten LED-Technologien und Mehrebenenanbausysteme durchgeführt.

In Zusammenarbeit der OG-Partner wurden dabei unterschiedliche Fokusse gelegt, um den Betrieben und ihren Kulturen bestmöglich zu entsprechen. Die Bedingungen in den Betrieben variierten sehr stark und sind deshalb nicht im Rahmen einer Rentabilitätsanalyse abbildbar gewesen.

Als besondere Herausforderung erwies sich die Ermittlung des Verbrauchs ergänzender Produktionsmittel, wie Erden oder gärtnerischen Substraten, die Aufwendungsveränderung von Düngemitteln, der benötigte Mehraufwand im Bereich der Heizlasten oder die Veränderung im Bereich der Nutzung von Pflanzenschutzmitteln. Keiner der OG-Partner Gartenbau-Betriebe oder wissenschaftlichen Einrichtungen war in der Lage den Mehraufwand versuchsspezifisch exakt zu messen.

1.1 Erfahrungen im OG-Betrieb Hoffnungstaler Werkstätten

Im Betrieb des OG-Partners Hoffnungstaler Werkstätten wird die gesamte Bewässerung über eine Zisterne realisiert, so dass sich ein Mehrbedarf nicht spezifisch ermitteln ließ, sondern nur eine Veränderung des Gießzyklus ermitteln ließ, die während der Versuchsdurchführung nicht notwendig wurde.

Im Rahmen der Versuche in den Mehrebenenkultivierungssystemen wurden die Gießzyklen entsprechend des Bedarfs reguliert. Dabei wurde das speziell entwickelte Tankwagensystem der FUTURELED GmbH genutzt und bestmöglich geeignete Gießzyklen eingesetzt. Für die verwendeten Jungpflanzenstadien lagen keine Verbrauchswerte vor. Die Kultivierung der Jungpflanzen erfolgt auch so im Betrieb auf Sicht, um eventuellen Schädigungen rechtzeitig vorbeugen zu können.

Das Mehrebenenkultivierungssystem lässt sich zur generativen und vegetativen Anzucht von Jungpflanzen gleichermaßen nutzen. Auf diese Weise ist ein breites Einsatzspektrum in den Betrieben gesichert. Zierpflanzen werden sowohl, wenn F1-Hybriden vorliegen, aus Saatgut und damit generativ kultiviert, als auch als vegetative Stecklinge. Im Rahmen einer Nutzen-Analyse wurde das System als besonders geeignet bewertet, um eine flexible und unabhängige Zierpflanzenanzucht zu ermöglichen.

Der Preisvorteil bei Anzucht aus Saatgut liegt durchschnittlich bei über 300 %/Pflanze, wie von der gärtnerischen Leitung mitgeteilt, lässt sich aber nicht auf alle Kulturen anwenden. So ist die Abhängigkeit von vegetativ vermehrtem Pflanzmaterial besonders groß. Als Beispiel kann hier die Kultur des umfänglich betrachteten Weihnachtssterns (*Euphorbia pulcherrima*) heran-

gezogen werden. Diese starken Trends unterworfenen, ökonomisch wichtigen Kultur, ist ausschließlich als Steckling zu beziehen, um sortenechte markterfolgreiche Pflanzen produzieren zu können.

Als besonderer ökonomischer Erfolg muss die steuerbare Belichtung im Mehrebenenkultivierungssystem herausgestellt werden, die eine habituelle Veränderung bei den Jungpflanzen induzieren konnte, die in der qualitativen Wirkung mit der chemischen Stauche-Mittel gleichzusetzen ist. Der kompakte Wuchs ist direkt ökonomisch wirksam, denn die Stellflächen können mit einer höheren Pflanzenzahl belegt werden. Darüber hinaus werden kompakte Pflanzen stärker nachgefragt. Das verbesserte Vermarktungspotential einer chemiefrei gestauchten Zierpflanze wurde im Rahmen des Projekts nicht ermittelt, muss aber hoch eingeschätzt werden.

Das Mehrebenenkultivierungssystem ermöglichte neben der variablen Jungpflanzenanzucht nicht nur hohe Jungpflanzen-Durchsätze, sondern auch eine Verwertung zur Qualitätssteigerung im Abschluss der Kultur zur Förderung der Ausfärbung.

Von dieser berichten MEWIS und MÜLLER in ihrer Veröffentlichung in der Fachzeitschrift TASPO, die nachstehend wiedergegeben wird. Die Versuche hierzu wurden in Kooperation mit dem OG-Partner Hoffnungsthaler Werkstätten erreicht.

1.2 TASPO-Artikel der Humboldt-Universität zu Berlin

1.2.1 Einleitung

Derzeit wird in vielen Berliner und Brandenburger Gewächshäusern auf eine ganzjährige Produktion von Zierpflanzen verzichtet. Lichtspektren gängiger künstlicher Beleuchtungssysteme wie Natrium-Hochdrucklampen oder Leuchtstoffröhren unterstützen das Pflanzenwachstum nicht optimal, haben einen geringen Wirkungsgrad, sind nicht dimmbar, einzelne Wellenlängen sind nicht ansteuerbar und erhöhte Stromkosten verhindern ein wirtschaftliches Betreiben. Innovative Lichtsysteme, die das Sonnenlicht optimal adaptieren und zusätzlich den punktuellen Einsatz von LED im UV-A-Bereich ermöglichen, sollen zur Kultivierung von *Euphorbia pulcherrima*, *Impatiens new guinea* und *Solenostemon scutellarioides* genutzt werden. Ziel ist die Produktion von Weihnachtssternen, Edellieschen bzw. Buntnesseln mit einer höheren Pflanzenqualität bei gleichzeitig verkürzter Kulturdauer sowie geringerem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. So wurde der Einfluss von spezifischen Lichtspektren und -intensitäten auf die Pflanzenqualität der drei Kulturen untersucht.

1.2.2 Ergebnisse

Impatiens

Für die Edellieschen-Sorten 'DL Bicolor Lilac' 'GL Red' und 'GL Dark Red' zeigte die Lichtvariante UV- die höchste Note mit 9 für die Reichblütigkeit und die Homogenität. Für alle Sorten konnte die Lichtvariante UV+ mit Noten von 7,8 – 9 für die Reichblütigkeit und mit Noten von 6,9 -8,9 für die Homogenität überzeugen.

Die Lichtvariante UV+ zeigte mit 7,4 – 8,9 generell die höchsten Noten im Gesamteindruck für alle Sorten. Nur für die Sorten 'DL Bicolor Lilac' und 'DL Bicolor Orange' konnte mit der Lichtvariante UV- die Höchstnote 9 für den Gesamteindruck erzielt werden. Bei der Sorte 'GL Red' konnten die Lichtvarianten UV-/rot- mit einer Note von 7,9 und die Lichtvariante UV-/blau- mit der einer Note von 8,0 für den Gesamteindruck überzeugen. Bei der Kontrollvariante waren die Pflanzen zum Zeitpunkt der Bonitur nicht vermarktungsfähig und erreichten erst zwei Wochen später die Vermarktungsfähigkeit.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der Lichtvariante UV+ bei allen Sorten gesunde und qualitativ hochwertige Pflanzen produziert wurden. Sie stellt somit die optimale Lichtvariante (gerade, wenn nur ein Lichtregime gefahren werden kann) dar. Einige Sorten erzielten auch in der Lichtvariante UV- höhere Pflanzenqualitäten.

Solenostemon

Die höchste Note für die innere und äußere Ausfärbung erzielte die Lichtvariante UV-(100%) mit 7,5 und 7,3. Bei Homogenität der Pflanzen zeigen alle Lichtvarianten einen höheren und breiteren Wuchs sowie eine höhere Seitentriebszahl als die Kontrolle. Die Lichtvariante UV-/rot- erreichte neben der höchsten Homogenität mit 7,2 auch den besten Gesamteindruck mit 7,1. In der Kontrolle waren die Pflanzen nicht vermarktungsfähig (Note zum Gesamteindruck 4,2).

Euphorbia

Die Frisch- und Trockengewichte aller Sorten konnten mit Zusatzbeleuchtung im Vergleich zur Kontrolle gesteigert werden. Bei den Weihnachtssternsorten zeigte die Lichtvariante UV+/rot- mit 6,2 die höchsten Noten im Gesamteindruck für die Sorten 'Christmas Eve' und 'Chr. Feelings Merlot', mit 5,3 für 'Chr. Beauty Queen' und 6,3 für 'Chr. Sensation'. Bei allen Sorten in der Kontrollvariante waren die Pflanzen nicht vermarktungsfähig (Note zum Gesamteindruck nicht über 4,4).

1.2.3 Empfehlungen für die Praxis

Die Ergebnisse der Versuche ergaben, dass durch eine Zusatzbelichtung mit einer LED-Tischbeleuchtung, im Vergleich zu der Kontrollvariante, eine gesteigerte Pflanzenqualität erzielt werden konnte. Mit einer LED-Zusatzbeleuchtung konnte die Kulturdauer verkürzt werden (mindestens 2 Wochen für Impatiens, 1-2 Wochen für Euphorbia und Solenostemon). Beim Einsatz einer LED-Zusatzbeleuchtung anstelle von Natrium-Hochdrucklampen ist die Temperaturführung zu beachten, da LED-Lampen eine geringere Wärmeentwicklung aufweisen. Ebenfalls muss mit einer LED-Zusatzbeleuchtung die bisherige bedarfsgerechte Bewässerung und Düngung angepasst werden, da durch ein höheres Lichtangebot die Assimilationsrate der Pflanzen und damit verbunden der Biomassezuwachs gesteigert wird. Für eine Qualitätssteigerung der Pflanzen sowie zur Verkürzung der Kulturdauer ist der Einsatz der LED-Zusatzbeleuchtung für die Produktion zu empfehlen.

Auch konnte festgestellt werden, dass eine kombinierte Kultivierung (zunächst ohne und im Anschluss mit Zusatzbeleuchtung) eine interessante Anbaualternative darstellen kann. Vorteile sind eine kürzere Beleuchtungsdauer und damit verringerte Stromkosten sowie eine kürzere Standzeit der Kulturen unter Licht (optimale Ausnutzung der Lampenkapazität für verschiedene Kulturen) mit gleichzeitig hohen Pflanzenqualitäten. Vorversuche an *Solenostemon* zeigten durchgehend einen guten Gesamteindruck der Pflanzen. Auch die Nutzung von LED-Regalsystemen stellt eine gute Möglichkeit dar die Produktion zu optimieren. Vorversuche an *Euphorbia* zeigten, dass der Gesamteindruck der Pflanzen gesteigert werden konnte.

1.3 Kosten-Nutzen-effektive Erkenntnisse in der Kräuter-Produktion (JKI)

Über den erfolgreichen und wachstumssteigernden Einsatz der Sonnenlicht-LED-Systeme die von der FUTURELED GmbH im Rahmen des Projekts entwickelt wurden und im EIP-Projekt entwickelt wurden, berichtete Jenny Tabbert vom OG-Partner Julius Kühn-Institut Berlin auf dem Bernburger Winterseminar. Über den erfolgreichen, vor allem aber ertragssteigernden Einsatz berichtete Frau Paul als Referentin der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) in der TASPO. Der Artikel wurde diesem Dokument beigelegt.

1.3.1 Kosten-Nutzen-Betrachtung für *Ocimum basilicum* (Basilikum)

Bezogen auf die Versuche an *Ocimum basilicum* (Basilikum) am Julius Kühn-Institut hieß dies, dass bis zum Erreichen der Marktreife (nach 4 Wochen) rund 72 kWh unter der geringen Lichtintensität verbraucht wurden. Das entspricht umgerechnet einem Preis von rund 19,7 Cent - entsprechend des Stromtarifs des OG-Betriebes Müller im Oderbruch von 0,273 Cent pro kWh. Auf unserer Versuchsfläche von knapp über einem Quadratmeter könnte unser Praxispartner aus dem Oderbruch 49 Töpfe im Vierecksverbund bzw. 56 Töpfe im Dreiecksverbund aufstellen, und das würde gerade einmal einen Aufpreis von 0,4 bzw. 0,35 Cent pro 13er-Topf bedeuten. Unter der erhöhten Lichtintensität werden mehr Kilowattstunden Energie benötigt, also rund 158 kWh bis zur Marktreife (nach 3,5 Wochen) verbraucht, was umgerechnet einen Aufpreis von 0,88 bzw. 0,77 Cent pro 13er-Topf bedeutet.

Da der Praxispartner saisonbedingt 4 bis 7 Wochen bis zum Erreichen der Marktreife benötigt, könnte der Betrieb deutlich mehr Ernten pro Jahr durch Nutzung der Beleuchtungssysteme erzielen.

Wie viele LED-Beleuchtungssysteme der Betrieb für seine Anbauflächen bräuchte, wann sich die Investitionskosten amortisieren würden, und welche Heizkosten in den ungünstigen Jahreszeiten anfallen würden ist unbekannt, da diese Daten in der Projektlaufzeit nicht vorlagen. Diese ließen sich auch nicht ermitteln. Der Betrieb Müller verwendet als ökologisch wirtschaftender Betrieb eine Hackschnitzelheizung, die nur bei Frostgefahr in den Gewächshäusern gefahren wird, um den Verbrauch an Hackschnitzeln so gering als möglich zu halten. Der Betrieb nutzt keine optimalen Heiztemperaturen zur Kultivierung im Winter, so dass über die Wintermonate eine deutlich längere Kultivierungszeit benötigt wird, um die Kräuter bis zur Vermarktungsreife zu kultivieren.

Energiekosten der Beleuchtungssysteme

	kWh	Cent/kWh	Töpfe [n]	Cent/Topf*	
PPFD 100	72,20	19,7	49	0,40	PPFD 100 ist preisgünstig
			56	0,35	
PPFD 200	158,44	43,3	49	0,88	PPFD 200 ist teurer; aber ½ Woche schneller marktreif
			56	0,77	
UV-A	179,49	49,0	49	1,00	UV-Anteile am preisintensivsten; aber qualitätssteigernd (vgl. Ergebnis)
			56	0,88	
UV-B	181,05	49,4	49	1,01	
			56	0,88	

*exklusive Heizkosten

Abbildung 1: Energiekosten-Berechnung Basilikum JKI

1.3.2 Kosten-Nutzen-Betrachtung für *Thymus vulgaris*

Für die Versuchsdauer von 126 Tagen (bzw. 18 Wochen oder 2,5 Monaten) von Anfang Oktober bis Mitte Februar wurde für die Natriumdampfdrucklampen ein Gesamtstromverbrauch von gerundet 960 kWh / m² im Gewächshaus ermittelt. Die LEDs verbrauchten im gleichen Zeitraum nur rund 450 kWh / m², was einer Stromeinsparung von über 50% entspricht. Die angefallenen Heizkosten für die Kultivierung des Thymians konnten durch die gegebene Haustechnik am JKI nicht ermittelt werden. Beim Praxispartner Kräuterlounge, bei dem der Versuch zu Beginn geplant war aber aus sicherheitstechnischen Gründen nicht durchgeführt werden konnte, wäre eine Erfassung von Heizkosten auch nicht möglich gewesen, da die Kräuterlounge über ein Kaltgewächshaus ohne Klimasteuerung verfügt.

Neben der fehlenden Datengrundlage war eine umfangreiche Kosten-Nutzen-Analyse in der gegebenen Projektlaufzeit zumindest seitens des JKI auch aufgrund des hohen Arbeitsaufkommens am JKI (Vorbereitung und Durchführung von Versuchen der Humboldt-Universität und der Kräuterlounge, dazugehörige laboranalytische Untersuchungen, Auswertung und Veröffentlichung der Ergebnisse) nicht leistbar.

Die kosten-Nutzen-technischen Vorteile des Vorgehens wurden umfangreich und medienwirksam auf dem Bernburger Winterseminar dargelegt. Die umfassend vertretende Praxis verschiedenster deutscher Kräuterproduzenten konnte sich über die Vorteile auch am

Stand des JKI informieren, dass hierzu auch ein Belichtungssystem aus den Versuchen präsentierte.

Stromverbrauch und Effizienz



Leuchtsystem	Stromleistung pro Quadratmeter [W m ⁻²]	Gesamtstromverbrauch [kWh m ⁻²]	Stromeinsparung im Vergleich zur HPS [%]	Photoneneffizienz [μmol J ⁻¹]	Thymianproduktion [g kWh ⁻¹ m ⁻²]
HPS	585	959.5	0.0	0.27	0.60
LED	256	454.6	52.6	1.02	2.22
FL	147	258.7	73.0	0.41	0.69

- **Stromersparnis**
- **Erhöhte Photoneneffizienz**
- **Gesteigerte Thymianproduktion**

Abbildung 2: Stromverbrauch und Effizienz im Rahmen Thymian-Versuch

1.4 Kosten-Nutzen-Rechnung der FUTURELED GmbH

Die FUTURELED GmbH möchte der erfolgreich entwickelten LED-Technologie zum Durchbruch verhelfen und hat umfassende Berechnungen zu verschiedenen Einsatzzwecken im gartenbaulichen Bereich entwickelt, die sich vor allem auf den stromelektrischen Verbrauch richten. Nutzerinterviews im Rahmen der eigenen Marktrecherchen ergaben, dass der elektrische Verbrauch das entscheidendste Kriterium für eine Anwendung im Gartenbau darstellt. Die umfassende spektrale Wirkung war hierin weniger entscheidend. Die Mehrkosten für ein spektral-steuerbares Lichtsystem, ist trotz des effektiven Einsatzes, wie beispielsweise im Zierpflanzenbau durch HU und Hoffnungstaler Werkstätten umfassend bewiesen, nicht von großem Interesse.

Eine beispielhafte Amortisationsrechnung für ein Sonnenlicht-emittierendes Assimilationssystem wurde diesem Dokument beigelegt.

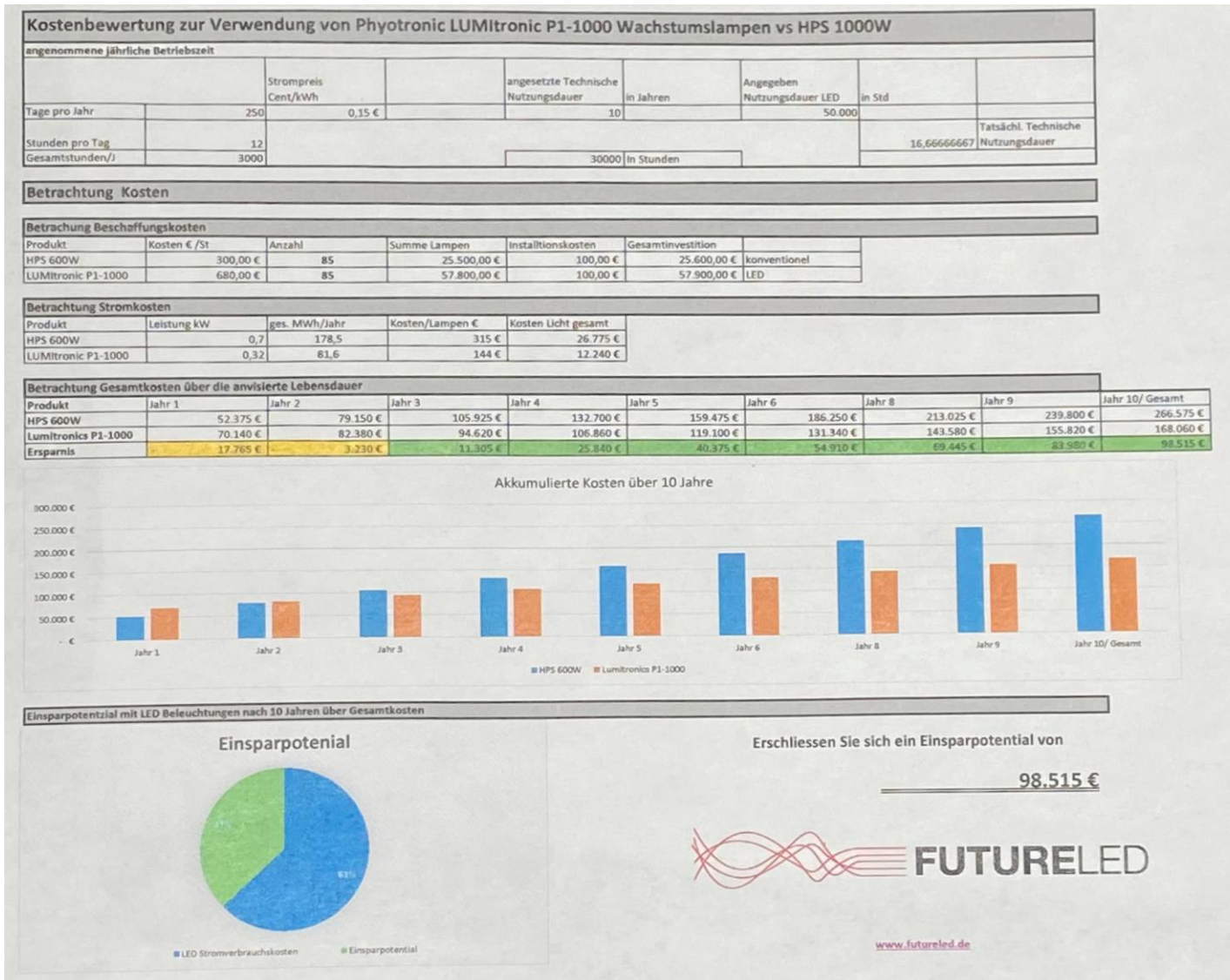


Abbildung 3: Kostenbewertung LED-Assimilationsbelichtung